



Sveučilište u Zagrebu

Sveučilište u Zagrebu  
Tekstilno-tehnološki fakultet

Maja Mahnić Naglić

# **DINAMIČKO PONAŠANJE ODJEĆE POD UTJECAJEM BIOMEHANIKE TIJELA**

DOKTORSKI RAD

Mentor: prof. dr. sc. Slavenka Petrak

Zagreb, 2024.







Sveučilište u Zagrebu

University of Zagreb  
Faculty of Textile Technology

Maja Mahnić Naglić

# **THE DYNAMIC CLOTHING BEHAVIOUR UNDER THE INFLUENCE OF BODY BIOMECHANICS**

DOCTORAL DISSERTATION

Supervisor: Prof. Ph.D. Slavenka Petrak

Zagreb, 2024



|                                                   |                                                                                          |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| <u>Znanstveno područje:</u>                       | <b>Tehničke znanosti</b>                                                                 |
| <u>Znanstveno polje:</u>                          | <b>Tekstilna tehnologija</b>                                                             |
| <u>Ustanova u kojoj je izrađen doktorski rad:</u> | <b>Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zavod za odjevnu tehnologiju</b> |
| <u>Mentorica:</u>                                 | <b>Prof. dr. sc. Slavenka Petrak</b>                                                     |
| <u>Broj stranica:</u>                             | <b>266</b>                                                                               |
| <u>Broj slika:</u>                                | <b>168</b>                                                                               |
| <u>Broj tablica:</u>                              | <b>86</b>                                                                                |
| <u>Broj matematičkih izraza:</u>                  | <b>146</b>                                                                               |
| <u>Broj literaturnih referenci:</u>               | <b>203</b>                                                                               |
| <u>Broj priloga:</u>                              | <b>6</b>                                                                                 |
| <u>Jezik sažetka:</u>                             | <b>hrvatski i engleski</b>                                                               |
| <u>Jezik teksta:</u>                              | <b>hrvatski</b>                                                                          |
| <u>Datum obrane:</u>                              | <b>28. svibnja 2024.</b>                                                                 |

Stručno povjerenstvo za ocjenu i obranu doktorskog rada, imenovano od strane Sveučilišta u Zagrebu Tekstilno-tehnološkog fakulteta na 6. redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća u akad. god. 2023./2024. održanoj 18. ožujka 2024. godine:

1. Prof. dr. sc. **Tanja Jurčević Lulić**, Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje, predsjednica Povjerenstva
2. Prof. dr. sc. **Slavenka Petrak**, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, članica Povjerenstva
3. Prof. dr. sc. **Anica Hursa Šajatović**, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, članica Povjerenstva

Rad je pohranjen u:

Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici Zagreb, *Ulica Hrvatske bratske zajednice 4, Zagreb*  
Knjižnici Sveučilišta u Zagrebu Tekstilno-tehnološkog fakulteta, *Prilaz baruna Filipovića 28a, Zagreb*

*„Do or do not, there is no try !“*

*Franck Oz*

Veliko hvala tvrtki Topomatika d.o.o. i dr.sc. Nenadu Drvaru na suradnji, ustupljenoj opremi, stručnoj pomoći i savjetima pri provođenju dijela istraživanja u okviru doktorskog rada.

Hvala prof. dr. sc. Editi Vujasinović i prof. dr. sc. Antoneti Tomljenović na suradnji, stručnoj pomoći i ustupanju laboratorijske opreme za provedbu dijelova istraživanja.

Hvala prof. dr. sc. Anici Hursa Šajatović i prof. dr. sc. Tanji Jurčević Lulić na suradnji, velikoj podršci i svim savjetima pri izradi doktorskog rada.

Posebno i najveće hvala mojoj mentorici prof. dr. sc. Slavenki Petrak. Hvala Vam na svim izgovorenim riječima, bilo ih je bezbroj. Hvala Vam na svim predivnim putovanjima, bile smo svugdje. Hvala Vam na svim druženjima, bilo je zabavno. Hvala Vam na svim prilikama, bilo je izazovno. Hvala Vam na svim izazovima, bilo je poučno. Hvala Vam na prekrasnoj suradnji, razumijevanju i podršci na koju uvijek mogu računati.

Hvala Vam što ste moja Mentorica.

*Cijeloj mojoj obitelji ...*

*... posebno mami Mirjani, bratu Dominiku,*

*mom Gogi i mom Atomu ...*

*Uz Vašu bezuvjetnu ljubav, podršku i razumijevanje,*

*lako je slijediti snove.*



Tema doktorskog rada „Dinamičko ponašanje odjeće pod utjecajem biomehanike tijela“ prihvaćena je na 10. redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća Sveučilišta u Zagrebu Tekstilno-tehnološkog fakulteta u akad. god. 2015./2016., održanoj 19. rujna 2016. te je odobrena od Senata Sveučilišta u Zagrebu na 5. redovitoj sjednici Senata u akad. god. 2016./2017. održanoj 12. prosinca 2016. godine.

\_\_\_\_\_

x



## SAŽETAK

Kontinuirani razvoj računalnih tehnologija i CAD sustava za 2D/3D projektiranje odjeće u posljednja tri desetljeća, doveli su do značajnog unapređenja i promjene u pristupu poslovnima konstrukcijske pripreme proizvodnje odjeće. Mogućnosti 3D simulacije odjeće i digitalne analize pristalosti računalnih prototipova značajno su utjecali na proces razvoja novih modela odjevnih predmeta i istraživanja koja povezuju svojstva tekstilnih materijala s konstrukcijom kroja i oblikovanjem modela, s ciljem postizanja bolje pristalosti i funkcionalnosti odjevnog predmeta.

U okviru doktorskog rada provedeno je opsežno istraživanje u području računalnog 2D/3D projektiranja odjeće, te je definirana nova metodologija za analizu dinamičkog ponašanja odjeće pod utjecajem biomehanike tijela, kroz sedam sustavno povezanih istraživačkih cjelina. Prva cjelina obuhvaća antropometrijsku analizu ženskog tijela u statičkim i dinamičkim uvjetima provedenu na uzorku od 126 ispitanica. Na temelju rezultata postavljena je metoda i razvijen algoritam za automatsku klasifikaciju tipova oblika i držanja skeniranih 3D modela prema definiranim numeričkim indikatorima, što predstavlja iskorak u odnosu na prethodna antropometrijska istraživanja u tom području.

Druga cjelina obuhvaća istraživanje i analizu karakteristika tijela s aspekta dinamičke antropometrije, pri čemu su prethodno definirani kinematički lanaci ciljano odabranih pokreta, značajnih za projektiranje funkcionalno oblikovane odjeće. Osim tehnologije 3D skeniranja tijela, u okviru istraživanja su ispitane mogućnosti snimanja i analize deformacija tijela u pokretu primjenom optičkog 3D mjernog sustava za dinamičku analizu deformacija Aramis. Sustav Aramis omogućava snimanje cjelovitog pokreta i analizu deformacija površine tijela u cijelom kinematičkom lancu, od početnog do krajnjeg položaja, što predstavlja puno širi i kompleksniji pristup analizi promjena tjelesnih mjera u pokretu, u odnosu na 3D skeniranje u karakterističnim tjelesnim položajima. U tom smislu, analizirane su zone najvećih deformacija površine tijela u pojedinom položaju te su uspoređene vrijednosti utvrđene na tri ispitanice različitih tipova tijela. Također su analizirane vrijednosti karakterističnih tjelesnih mjera na utvrđenim relevantnim zonama površine, te su rezultati analizirani u odnosu na rezultate analize promjena tjelesnih mjera na skeniranim 3D modelima u karakterističnih pet položaja tijela.

U trećoj cjelini istražene su mogućnosti prilagodbe i animacije parametarskog 3D modela tijela, povezivanjem sustava za 3D skeniranje i procesa animacije, s ciljem razvoja animiranih 3D modela tijela prilagođenih ciljanim antropometrijskim karakteristikama, koji su prikladni za

primjenu kod 3D simulacije odjeće i analize dinamičkog ponašanja računalnih prototipova na tijelu u pokretu. Pri tome je u okviru istraživanja razvijena metoda za prilagodbu kinematičkog kostura prema podacima utvrđenim 3D skeniranjem te je izvedena prilagodba tri računalna modela, prema ispitanicama različitih tipova tijela, koji su prema definiranim kinematičkim lancima animirani u pet pokreta.

U četvrtoj cjelini provedeno je istraživanje i analiza parametara fizikalnih i mehaničkih svojstava dva različita tekstilna materijala, koji su korišteni za 3D simulacije i razvoj računalnih prototipova, kao i izradu realnih prototipova modela odjevnih predmeta. Peta cjelina obuhvaća istraživanje i razvoj parametarskih krojeva pet modela odjevnih predmeta, koji na temelju povezivanja segmenata kroja i definiranih matematičkih izraza za prilagodbu dimenzija omogućuju automatsku prilagodbu prema zadanim mjerama ispitanica i tipovima tijela. U okviru istraživanja, razvijeno je 50 matematičkih izraza za prilagodbu dimenzija segmenata kroja, koji u obzir uzimaju karakteristike tri različita tipa ženskog tijela i definirane funkcionalne dodatke za postizanje primjerene pristalosti i funkcionalnosti modela odjevnog predmeta u dinamičkim uvjetima, definirane na temelju rezultata istraživanja antropometrijskih karakteristika različitih tipova tijela u pokretu.

Na temelju rezultata prethodnih cjelina istraživanja, razvijeni su 3D prototipovi modela odjeće i izvedene 3D simulacije na animiranim modelima tijela u pet definiranih pokreta te su analizirane deformacije površine odjevnih predmeta u odnosu na deformacije površine modela tijela u pojedinom pokretu. Sa svrhom verifikacije računalnih 3D prototipova kao i postavljene i provedene metodologije razvoja i analize računalnih 3D prototipova odjeće s aspekta dinamičke antropometrije, izrađeni su realni prototipovi modela odjevnih predmeta te je provedeno snimanje i analiza deformacija na ispitanicama tijekom izvođenja zadanih pokreta, primjenom sustava Aramis. Na temelju rezultata analize provedene na realnim prototipovima, ocjenjena je pristalost pojedinog odjevnog predmeta u dinamičkim uvjetima, te su rezultati analizirani su u odnosu na rezultate analize pristalosti računalnih 3D prototipova, čime je potvrđena primjenjivost postavljene metodologije razvoja računalnih prototipova i metode računalne analize dinamičke pristalosti na tijelu u pokretu.

***Ključne riječi:*** biomehanika tijela, dinamička antropometrija, 3D animacija, CAD sustavi, računalno projektiranje odjeće, 3D simulacija, svojstva tekstilnih materijala, dinamička pristalost odjeće

## EXTENDED ABSTRACT

The continuous development of computer technologies and CAD systems for 2D/3D clothing design in the last three decades have led to a significant improvement and change in the approach to the process of construction preparation in clothing production. The possibilities of 3D clothing simulation and digital fit analysis of the computer prototypes have significantly influenced the process of developing new models of clothing and research that connects the properties of textile materials with the model design and pattern construction, with the aim of achieving a better clothing fit and functionality.

Within the doctoral thesis, extensive research in the field of computer 2D/3D clothing construction and design was carried out. A new methodology for the analysis of the dynamic clothing behaviour under the influence of body biomechanics was defined and presented through seven systematically combined research units. The first part includes the anthropometric female body analysis in static and dynamic conditions, conducted on a sample of 126 subjects. Based on the results, a method and an algorithm for the automatic classification of female body shape and posture types based on scanned 3D models and defined numerical indicators were developed, which represents a step forward compared to previous research and classification methods in the field.

The second part includes the research and analysis of body characteristics from the aspect of dynamic anthropometry, for which kinematic chains of targeted movements, important for the functionally designed clothing were defined. In addition to the 3D body scanning technology, the possibilities of recording and analyzing body deformations in motion using the optical 3D measuring system for dynamic deformations Aramis were studied as part of the research. Primary use of Aramis measuring system is in the field of mechanical engineering and construction, and has not been used in human body anthropometry research so far. The Aramis system enables the recording of complete movement and the analysis of body surface deformations during the entire kinematic chain of movement, from the initial to the final position, which represents a much broader and more complex approach to the analysis of body measurements changes in motion compared to 3D scanning in characteristic body positions. In this sense, the body surface segments of the greatest deformations in a particular position were analyzed on a three test subjects of different body types. The values of the characteristic body measurements on the relevant surface segments were also analyzed in a relation to the results of the body measurements changes determined on the scanned 3D models in five characteristic body positions.

The third part includes research on the possibilities of customization and animation of parametric 3D body model, by connecting a 3D scanning system and the animation process, with the aim of developing animated 3D body models adjusted to targeted anthropometric characteristics and suitable for 3D clothing simulation and analysis of the dynamic behavior of computer prototypes on body in motion. A method and script files for adjustment of inner kinematic skeleton according to the 3D scanning data was developed, which enables the direct connection of the 3D scanning system and the animation process and significantly speeds up the long and complex process of developing animated models according to the targeted anthropometric characteristics. Three models were adjusted according to three test subjects of different body types and animated in five movements according to predefined kinematic chains.

The fourth part of the research includes the analysis of the physical and mechanical properties of two different textile materials, used for 3D simulations and the development of computer prototypes, as well as the production of real prototypes of clothing models. The fifth part includes the research and development of parametric garment patterns of five clothing models, which, based on the connection of pattern segments and defined mathematical expressions for dimensions adjustment, enable automatic customization according to different measurements and body types characteristics. As part of the research, 50 mathematical expressions were developed for the adjustment of pattern segments dimensions. Adjustment take into account the characteristics of three different types of the female body and defined functional ease in order to achieve an appropriate fit and functionality of the garment model in dynamic conditions, defined on the basis of the results of research on the anthropometric characteristics of different body types in motion, which, compared to the usual methods of clothing adjustments, represents a more complex and complete approach from the aspect of the functionality.

Based on the previous results, 3D simulations were performed on animated body models in five defined movements and surface deformations of clothing 3D prototypes were analyzed in relation to surface deformations of body models in individual movements. With the purpose of verification of clothing 3D prototypes, as well as the presented methodology of development and analysis of clothing 3D prototypes from the aspect of dynamic anthropometry, real clothing prototypes were made. Deformations of real prototypes were recorded and analyzed on test subjects during motion, using the Aramis 3D measuring system. Fit of a particular real clothing model prototype in dynamic conditions was evaluated based on the stretch deformations and proposed criteria of the reference stretch values determined according to the results of testing the tensile properties of particular textile material, using different evaluation methods. Also, the

results were analyzed in relation to the results of the computer 3D prototypes analysis, with the aim of verification of the proposed methodology for the development of clothing 3D prototypes and computer analysis of dynamic fit on 3D body models in motion. Overall research results confirmed hypothesis that based on the deformations geometry analysis of computer 3D clothing prototypes in interaction with a moving 3D body model, deformations of the real garment in dynamic conditions can be reliably evaluated.

**Keywords:** *body biomechanics, dynamic anthropometry, 3D animation, CAD systems, computer clothing construction and design, 3D simulation, properties of textile materials, clothing dynamic fit*



## SADRŽAJ

|               |                                                                                                           |           |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1.</b>     | <b>UVOD</b>                                                                                               | <b>1</b>  |
| <b>2.</b>     | <b>PREGLED TEMATIKE</b>                                                                                   | <b>5</b>  |
| <b>2.1.</b>   | <b>Biomehanika lokomocije</b>                                                                             | <b>6</b>  |
| <b>2.1.1.</b> | <b>Kinematika ljudskog kostura</b>                                                                        | <b>7</b>  |
| 2.1.1.1.      | Direktna i inverzna kinematika                                                                            | 9         |
| <b>2.1.2.</b> | <b>Mjerni sustavi za analizu kretanja ljudskog tijela</b>                                                 | <b>11</b> |
| 2.1.2.1.      | Analiza kretanja ljudskog tijela primjenom optičkog Motion Capture sustava                                | 12        |
| <b>2.2.</b>   | <b>Antropometrijska mjerenja</b>                                                                          | <b>16</b> |
| <b>2.2.1.</b> | <b>Vrste antropometrijskih mjerenja</b>                                                                   | <b>16</b> |
| <b>2.2.2.</b> | <b>Konstitucije i tipovi oblika i držanja ljudskog tijela</b>                                             | <b>17</b> |
| 2.2.2.1.      | Numeričke metode određivanja tipova oblika i držanja tijela                                               | 19        |
| <b>2.2.3.</b> | <b>3D skeniranje ljudskog tijela</b>                                                                      | <b>21</b> |
| 2.2.3.1.      | Vrste 3D skenera tijela                                                                                   | 22        |
| 2.2.3.2.      | Računalno utvrđivanje tjelesnih mjera i obrada skeniranih modela                                          | 24        |
| <b>2.2.4.</b> | <b>Primjena 3D skeniranja u dinamičkoj antropometriji</b>                                                 | <b>27</b> |
| <b>2.2.5.</b> | <b>4D skeniranje ljudskog tijela</b>                                                                      | <b>31</b> |
| <b>2.3.</b>   | <b>Računalni 3D modeli tijela</b>                                                                         | <b>33</b> |
| <b>2.3.1.</b> | <b>Parametarski modeli tijela i metode prilagodbe</b>                                                     | <b>33</b> |
| <b>2.3.2.</b> | <b>Računalna 3D animacija modela tijela</b>                                                               | <b>36</b> |
| 2.3.2.1.      | Vrste animiranih modela tijela                                                                            | 37        |
| 2.3.2.2.      | Tehnike 3D animacije                                                                                      | 39        |
| 2.3.2.3.      | CAD programi za 3D animaciju                                                                              | 40        |
| 2.3.2.4.      | Animacija skeniranih modela tijela                                                                        | 41        |
| 2.3.2.5.      | Parametarski 3D modeli tijela za animaciju                                                                | 42        |
| 2.3.2.6.      | Teorijske osnove afinih transformacija i primjena kod prilagodbe parametarskih modela tijela za animaciju | 46        |
| <b>2.4.</b>   | <b>3D simulacija tekstila i odjeće</b>                                                                    | <b>49</b> |
| <b>2.4.1.</b> | <b>Mehanička svojstva tekstilnih materijala</b>                                                           | <b>50</b> |



|          |                                                                                                                                 |     |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.4.2.   | <b>Objektivno vrednovanje mehaničkih svojstava tekstilnih materijala za primjenu kod 3D simulacije odjeće</b>                   | 53  |
| 2.4.2.1. | Utvrđivanje parametara mehaničkih svojstava primjenom sustava Kawabata Evaluation System, KES-FB                                | 54  |
| 2.4.2.2. | Utvrđivanje parametara fizikalnih i mehaničkih svojstava primjenom Fabric Kit mjernog sustava                                   | 58  |
| 2.4.3.   | <b>Digitalizacija tekstilnih materijala primjenom AI tehnologije</b>                                                            | 61  |
| 2.4.4.   | <b>Kompleksne deformacije tekstilnih materijala</b>                                                                             | 62  |
| 2.4.4.1. | 3D simulacija i analiza kompleksnih deformacija                                                                                 | 63  |
| 2.5.     | <b>Računalno 3D projektiranje odjeće</b>                                                                                        | 65  |
| 2.5.1.   | <b>CAD sustavi za računalno projektiranje odjeće</b>                                                                            | 66  |
| 2.5.2.   | <b>Računalna konstrukcija krojeva</b>                                                                                           | 69  |
| 2.5.3.   | <b>Procjena pristalosti računalnih 3D prototipova odjeće</b>                                                                    | 71  |
| 2.5.4.   | <b>Računalno 3D projektiranje odjeće s aspekta dinamičke antropometrije</b>                                                     | 72  |
| 2.5.4.1. | Optički sustav za analizu 3D deformacija Aramis                                                                                 | 79  |
| 3.       | <b>METODOLOGIJA</b>                                                                                                             | 83  |
| 3.1.     | <b>Antropometrijska mjerenja i analiza tipova oblika i držanja ženskog tijela primjenom 3D skenera</b>                          | 86  |
| 3.1.1.   | <b>3D skeniranje i analiza strukture uzorka ispitanica na temelju glavnih tjelesnih mjera</b>                                   | 86  |
| 3.1.2.   | <b>Analiza oblika tijela u frontalnoj ravnini</b>                                                                               | 86  |
| 3.1.2.1. | Klaster analiza prema definiranim indikatorima oblika tijela                                                                    | 88  |
| 3.1.3.   | <b>Analiza držanja tijela u sagitalnoj ravnini</b>                                                                              | 91  |
| 3.1.3.1. | Klaster analiza prema definiranim indikatorima držanja tijela                                                                   | 93  |
| 3.1.4.   | <b>Razvoj algoritma za automatsku klasifikaciju skeniranih modela prema definiranim tipovima oblika i držanja tijela</b>        | 98  |
| 3.2.     | <b>Istraživanje i analiza karakteristika dinamičke antropometrije tijela primjenom različitih 3D mjernih sustava</b>            | 98  |
| 3.2.1.   | <b>Uzorak ispitanica za analizu karakteristika dinamičke antropometrije tijela</b>                                              | 99  |
| 3.2.2.   | <b>Istraživanje i analiza promjena tjelesnih mjera u karakterističnim položajima tijela primjenom 3D skenera</b>                | 100 |
| 3.2.3.   | <b>Snimanje pokreta tijela ispitanica različitih tipova tijela primjenom optičkog mjernog sustava za analizu 3D deformacija</b> | 103 |
| 3.2.3.1. | Definiranje pokreta za snimanje i analizu deformacija tijela                                                                    | 104 |

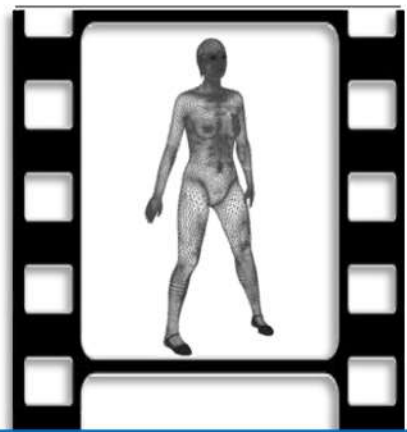


|               |                                                                                                                                |     |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.2.3.2.      | Kreiranje 3D površina i definiranje parametara površinske geometrije za analizu deformacija tijela                             | 109 |
| <b>3.2.4.</b> | <b>Analiza deformacija i promjena tjelesnih mjera ovisno o pokretu</b>                                                         | 110 |
| 3.2.4.1.      | Analize deformacija i promjena tjelesnih mjera kod pokreta ruku – položaji P1, P2 i P3                                         | 112 |
| 3.2.4.2.      | Analiza deformacija i promjena tjelesnih mjera pri savijanju tijela u položaj pretklona - položaj P4                           | 115 |
| 3.2.4.3.      | Analiza deformacija i promjena tjelesnih mjera pri spuštanju tijela u položaj čučnja – položaj P5                              | 117 |
| <b>3.3.</b>   | <b>Razvoj animiranih 3D modela tijela prilagođenih prema tri ispitanice različitih tipova</b>                                  | 117 |
| <b>3.3.1.</b> | <b>Prilagodba SMPL modela tijela prema skeniranim 3D modelima za tri ispitanice</b>                                            | 118 |
| 3.3.1.1.      | Prilagodba postavki operativnog sustava i učitavanje SMPL modela u program za prilagodbu i animaciju                           | 118 |
| 3.3.1.2.      | Prilagodba SMPL modela za tri ispitanice na temelju skeniranih 3D modela kao predložaka                                        | 118 |
| <b>3.3.2.</b> | <b>Razvoj unutarnjeg kinematičkog modela na temelju podataka utvrđenih 3D skeniranjem</b>                                      | 119 |
| 3.3.2.1.      | Analiza kinematičkih parametara skeniranih modela tijela primjenom programa Anthroscan                                         | 119 |
| 3.3.2.2.      | Razvoj skript datoteka za automatsku prilagodbu kinematičkih parametara unutarnjeg modela prema ciljanim tjelesnim dimenzijama | 122 |
| <b>3.3.3.</b> | <b>Animacija prilagođenih modela tijela u zadanih pet pokreta</b>                                                              | 123 |
| <b>3.4.</b>   | <b>Ispitivanje i analiza svojstava tekstilnih materijala za 3D simulaciju</b>                                                  | 123 |
| <b>3.4.1.</b> | <b>Utvrđivanje strukturnih karakteristika i fizikalnih parametara tekstilnih materijala</b>                                    | 124 |
| <b>3.4.2.</b> | <b>Ispitivanje parametara mehaničkih svojstava primjenom KES-FB sustava</b>                                                    | 127 |
| <b>3.4.3.</b> | <b>Ispitivanje prekidne sile i prekidnog istezanja metodom trake</b>                                                           | 127 |
| <b>3.4.4.</b> | <b>Ispitivanje parametara vlačnih svojstava prilagođenom metodom prema Fabric Kit mjernom sustavu</b>                          | 128 |
| <b>3.4.5.</b> | <b>Digitalizacija tekstilnih materijala preko SEDDI Textura AI aplikacije</b>                                                  | 129 |
| <b>3.5.</b>   | <b>Računalna konstrukcija i razvoj parametarskih krojeva modela odjevnih predmeta</b>                                          | 129 |
| <b>3.5.1.</b> | <b>Računalna konstrukcija i modeliranje krojeva pet modela ženskih odjevnih predmeta</b>                                       | 133 |

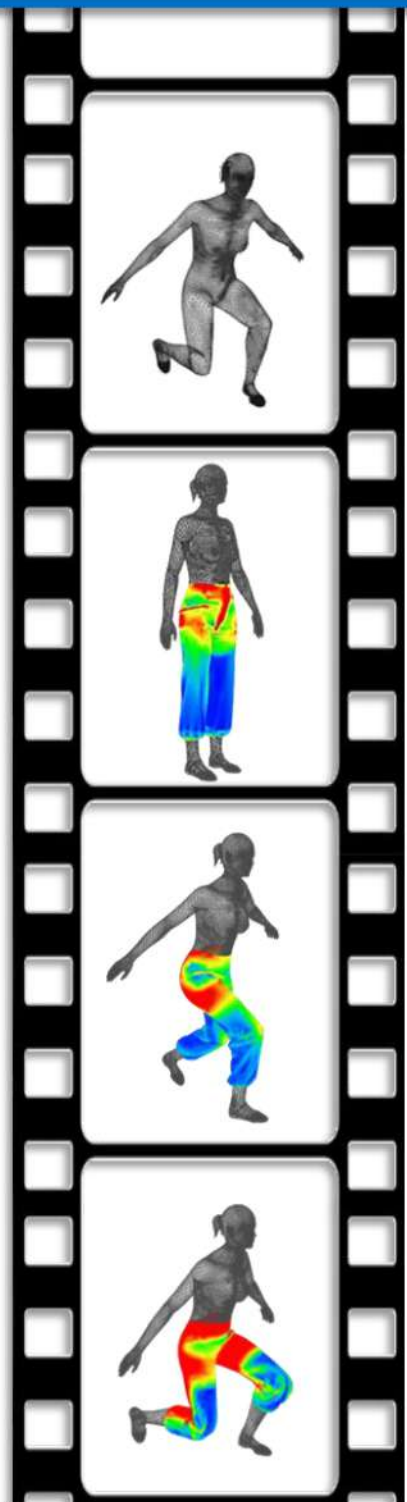
|          |                                                                                                                                                                                                                      |     |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.5.2.   | <b>Razvoj parametarskih krojeva za automatsku prilagodbu prema individualnim mjerama ispitanica različitih tipova tijela</b>                                                                                         | 137 |
| 3.5.2.1. | Definiranje osnovnih elemenata, fiksni točaka, osi i mjera na krojnim dijelovima – korak 1                                                                                                                           | 137 |
| 3.5.2.2. | Povezivanje mjera na krojnim dijelovima – korak 2                                                                                                                                                                    | 139 |
| 3.5.2.3. | Definiranje matematičkih izraza za prilagodbu pojedine mjere – korak 3                                                                                                                                               | 140 |
| 3.5.2.4. | Definiranje matematičkih izraza za prilagodbu modela funkcionalnog radnog kombinezona K3 prema utvrđenim karakteristikama i promjenama tjelesnih mjera različitih tipova tijela u pokretu                            | 143 |
| 3.5.3.   | <b>Prilagodba parametarskih krojeva prema individualnim mjerama za tri ispitanice različitih tipova tijela</b>                                                                                                       | 146 |
| 3.5.4.   | <b>Izrada realnih prototipova modela odjevnih predmeta prilagođenih za tri ispitanice</b>                                                                                                                            | 146 |
| 3.6.     | <b>Istraživanje i razvoj računalnih prototipova modela odjevnih predmeta</b>                                                                                                                                         | 146 |
| 3.6.1.   | Definiranje parametara 3D simulacije i pojedinačnih krojnih dijelova                                                                                                                                                 | 147 |
| 3.6.2.   | Definiranje vrijednosti parametara mehaničkih svojstava tekstilnih materijala za 3D simulaciju modela odjevnih predmeta na temelju rezultata utvrđenih različitim sustavima za vrednovanje                           | 147 |
| 3.6.3.   | Izvođenje 3D simulacija i analiza računalnih 3D prototipova modela odjevnih predmeta                                                                                                                                 | 149 |
| 3.7.     | <b>Ispitivanje dinamičke pristalosti računalnih 3D prototipova modela odjevnih predmeta prilagođenih antropometrijskim karakteristikama ispitanica različitih tipova tijela u karakterističnim položajima tijela</b> | 150 |
| 3.7.1.   | Analiza deformacija realnih prototipova modela odjevnih predmeta u karakterističnim položajima tijela                                                                                                                | 151 |
| 4.       | <b>REZULTATI I RASPRAVA</b>                                                                                                                                                                                          | 153 |
| 4.1.     | <b>Rezultati antropometrijskih mjerenja i analize tipova oblika i držanja ženskog tijela primjenom 3D skenera</b>                                                                                                    | 154 |
| 4.1.1.   | Rezultati analize strukture uzorka ispitanica na temelju glavnih tjelesnih mjera                                                                                                                                     | 154 |
| 4.1.2.   | Rezultati analize oblika tijela u frontalnoj ravnini                                                                                                                                                                 | 155 |
| 4.1.3.   | Rezultati analize držanja tijela u sagitalnoj ravnini                                                                                                                                                                | 158 |
| 4.1.4.   | Algoritam za automatsku klasifikaciju skeniranih 3D modela prema tipovima oblika i držanja tijela                                                                                                                    | 165 |
| 4.2.     | <b>Rezultati analize karakteristika dinamičke antropometrije tijela primjenom različitih 3D mjernih sustava</b>                                                                                                      | 166 |
| 4.2.1.   | Rezultati analize promjena tjelesnih mjera u karakterističnim položajima tijela primjenom 3D skenera                                                                                                                 | 167 |

|               |                                                                                                                                     |            |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>4.2.2.</b> | <b>Rezultati analize deformacija i promjena tjelesnih mjera ovisno o pokretu primjenom sustava ARAMIS</b>                           | <b>169</b> |
| 4.2.2.1.      | Rezultati analize deformacija i promjena tjelesnih mjera kod pokreta ruku – položaji P1, P2 i P3                                    | 169        |
| 4.2.2.2.      | Rezultati analize deformacija i promjena tjelesnih mjera pri savijanju tijela u položaj pretklona - položaj P4                      | 174        |
| 4.2.2.3.      | Rezultati analize deformacija i promjena tjelesnih mjera pri spuštanju tijela u položaj čučnja – položaj P5                         | 177        |
| 4.2.2.4.      | Analiza rezultata promjena tjelesnih mjera utvrđenih sustavom ARAMIS u odnosu na promjene utvrđene na skeniranim 3D modelima tijela | 179        |
| <b>4.3.</b>   | <b>Rezultati razvoja animiranih 3D modela tijela prilagođenih prema tri ispitanice različitih tipova</b>                            | <b>181</b> |
| 4.3.1.        | Rezultati prilagodbe SMPL modela tijela prema skeniranim 3D modelima ispitanica                                                     | 181        |
| 4.3.2.        | Rezultati razvoja unutarnjeg kinematičkog modela na temelju podataka utvrđenih 3D skeniranjem                                       | 183        |
| 4.3.3.        | Rezultati 3D animacije prilagođenih modela tijela u zadanih pet pokreta                                                             | 186        |
| <b>4.4.</b>   | <b>Rezultati ispitivanja i analize svojstava tekstilnih materijala za 3D simulaciju</b>                                             | <b>188</b> |
| 4.4.1.        | Rezultati utvrđivanja strukturnih karakteristika i fizikalnih parametara tekstilnih materijala                                      | 188        |
| 4.4.2.        | Rezultati ispitivanja parametara mehaničkih svojstava primjenom KES sustava                                                         | 189        |
| 4.4.3.        | Rezultati ispitivanja prekidne sile i prekidnog istezanja metodom trake                                                             | 190        |
| 4.4.4.        | Rezultati ispitivanja svojstava materijala metodama koje primjenjuje Fabric Kit mjerni sustav                                       | 191        |
| 4.4.5.        | Rezultati utvrđivanja parametara mehaničkih svojstava materijala primjenom SEDDI Textura aplikacije                                 | 195        |
| <b>4.5.</b>   | <b>Rezultati računalne konstrukcije i razvoja parametarskih krojeva modela odjevnih predmeta</b>                                    | <b>196</b> |
| 4.5.1.        | Rezultati računalne konstrukcije i modeliranja krojeva modela odjevnih predmeta                                                     | 197        |
| 4.5.2.        | Rezultati razvoja parametarskih krojeva za automatsku prilagodbu prema individualnim mjerama i tipovima oblika tijela               | 201        |
| 4.5.2.1.      | Matematički izrazi za prilagodbu kroja ženskog uskog kombinezona K1                                                                 | 205        |
| 4.5.2.2.      | Matematički izrazi za prilagodbu krojeva modela ženske bluze, hlača i radnog kombinezona K2                                         | 206        |
| 4.5.2.3.      | Matematički izrazi za prilagodbu kroja ženskog radnog kombinezona K3                                                                | 208        |

|        |                                                                                                                                                                                                                         |     |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.5.3. | Rezultati prilagodbe parametarskih krojeva prema individualnim mjerama za tri ispitanice različitih tipova tijela                                                                                                       | 210 |
| 4.5.4. | Rezultati subjektivnog vrednovanja pristalosti realnih prototipova modela odjevnih predmeta                                                                                                                             | 215 |
| 4.6.   | Rezultati razvoja računalnih 3D prototipova modela odjevnih predmeta                                                                                                                                                    | 215 |
| 4.7.   | Rezultati ispitivanja dinamičke pristalosti računalnih 3D prototipova modela odjevnih predmeta prilagođenih antropometrijskim karakteristikama ispitanica različitih tipova tijela u karakterističnim položajima tijela | 224 |
| 5.     | <b>ZAKLJUČCI</b>                                                                                                                                                                                                        | 243 |
| 6.     | <b>LITERATURA</b>                                                                                                                                                                                                       | 249 |
|        | <b>PRILOZI</b>                                                                                                                                                                                                          | 267 |
| A      | Prilog rezultatima istraživanja                                                                                                                                                                                         | 268 |
| A.1    | Tablica ukupnog seta tjelesnih mjera utvrđenih 3D skenerom za tri odabrane ispitanice predstavnice različitih tipova ženskog tijela                                                                                     | 268 |
| A.2    | Rezultati računalne analize pristalosti 3D prototipa ženskog radnog kombinezona K2                                                                                                                                      | 276 |
| B      | Popis slika                                                                                                                                                                                                             | 277 |
| C      | Popis tablica                                                                                                                                                                                                           | 285 |
| D      | Popis simbola i pokrata                                                                                                                                                                                                 | 290 |
| E      | Životopis                                                                                                                                                                                                               | 294 |
| F      | Popis radova                                                                                                                                                                                                            | 296 |



## 1. UVOD



## 1. UVOD

Ljudsko tijelo, odnosno njegov oblik i kinematika kretanja, temelj su istraživanja u području dizajna i razvoja novih modela odjevnih predmeta [1]. U tom smislu, različite digitalne tehnologije postaju neizostavan alat u procesu konstrukcijske pripreme proizvodnje odjeće i razvoja novih modela odjeće. Različiti 3D mjerni sustavi za analizu ljudskog tijela, poput 3D skenera tijela, omogućuju detaljnu analizu antropometrijskih i kinematičkih karakteristika tijela koji se mogu primijeniti u procesu razvoja računalnih 3D prototipova, sa svrhom postizanja bolje pristalosti i funkcionalnosti modela odjevnih predmeta u statičkim i dinamičkim uvjetima. Pristalost odjeće tijelu u dinamičkim uvjetima jedna je od najaktualnijih tema u području odjevne tehnologije posljednjih godina. Dinamička pristalost direktno utječe na funkcionalnost odjevnog predmeta, kao jednog od najvažnijih elemenata u procesu projektiranja odjeće. Ljudsko tijelo u pokretu mijenja se u smislu promjena dimenzija na površini, pri čemu se mijenjaju i tjelesne mjere, što zahtjeva dodatnu prilagodbu na korespondentnim dijelovima odjevnog predmeta [1-5].

Fizikalne 3D simulacije koriste se u različitim područjima, gdje se u procesu razvoja novih proizvoda koriste digitalni prototipovi za ispitivanje funkcionalnosti proizvoda [6]. Računalna analiza pristalosti odjevnog predmeta u statičkim ili dinamičkim uvjetima temelji se na fizikalnoj 3D simulaciji i razvoju računalnih prototipova, na kojima se analiziraju deformacije geometrije površine modela odjevnog predmeta u kontaktu s 3D modelom tijela, određene definiranim svojstvima ciljanog tekstilnog materijala [7,8]. Računalni parametarski modeli tijela koji se koriste u specijaliziranim CAD sustavima za 3D simulaciju odjeće omogućuju prilagodbu tjelesnih mjera ciljanim dimenzijama, no još uvijek nije omogućena automatska prilagodba antropometrijskih i kinematičkih parametara prema individualnim karakteristikama tijela, koja bi omogućila ispitivanje računalnih prototipova odjeće po mjeri u dinamičkim uvjetima, odnosno na animiranim 3D modelima tijela ciljanih ispitanika. Istraživanja u području analize pristalosti odjeće na tijelu u pokretu uglavnom se svode na 3D simulaciju odjevnih predmeta na modelu tijela u karakterističnom položaju, čime se ne ostvaruje animacija modela odjevnog predmeta, niti se na taj način može analizirati cjelovita dinamička interakcija od uspravnog do krajnjeg dinamičkog položaja tijela [9,10].

Istraživanje u doktorskom radu usmjereno je na razvoj računalnih 3D prototipova modela odjevnih predmeta s aspekta dinamičke antropometrije i metode za računalnu analizu pristalosti u dinamičkim uvjetima, na animiranim 3D modelima tijela ciljanih antropometrijskih karakteristika, u zadanim pokretima.

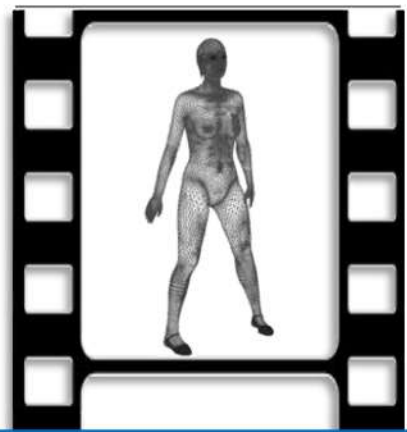
Postavljene hipoteze doktorskog rada su:

- H1: Deformacije površine tijela u pokretu ovise o razvijenosti i obliku tijela te se razvojem i primjenom matematičkih modela za prilagodbu kinematičkih točaka na tijelu i deformaciju segmenata površine, ovisno o pojedinom tipu tijela, može ostvariti realistična animacija skeniranog modela tijela, primjenjiva za računalnu 3D simulaciju odjeće u dinamičkim uvjetima.
- H2: Matematičkim modeliranjem mehaničkog ponašanja tkanine pri simulaciji odjevnog predmeta temeljem vrijednosti određenih mehaničkih svojstava, ostvarit će se deformabilnost površine odjevnog predmeta u korelaciji s deformabilnošću tipa tijela u zadanom pokretu.
- H3: Na temelju analize deformacija geometrije računalnog modela odjevnog predmeta u interakciji s modelom tijela u pokretu, može se vjerodostojno vrednovati naprezanje odjevnog predmeta u dinamičkim uvjetima.

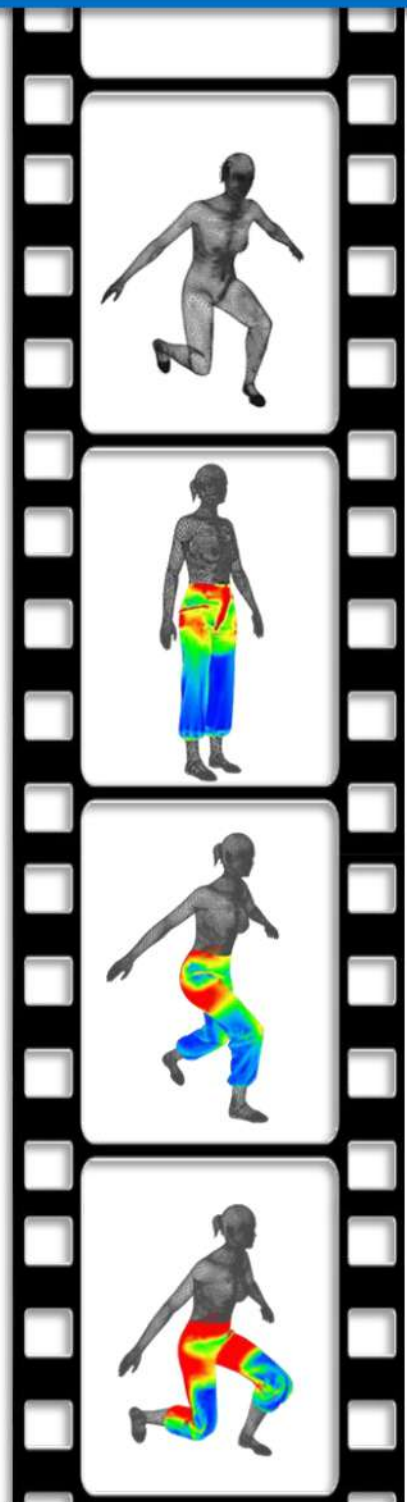
Istraživanje je podijeljeno u sedam sustavno povezanih cjelina, od analize antropometrijskih karakteristika tijela u statičkim i dinamičkim uvjetima, razvoja animiranih 3D modela tijela prilagođenih ciljanim ispitanicama, ispitivanja mehaničkih svojstava tekstilnih materijala, razvoja parametarskih krojeva i matematičkih izraza za prilagodbu prema ciljanim tjelesnim karakteristikama do razvoja i analize računalnih 3D prototipova u statičkim i dinamičkim uvjetima. U doktorskom radu, po prvi puta je istraživanjem obuhvaćen cjeloviti računalni proces konstrukcijske pripreme i razvoja modela odjeće prilagođene prema individualnim mjerama i karakteristikama tijela te je doprinos u području odjevne tehnologije ostvaren u nekoliko segmenata istraživanja, pri čemu postavljena i verificirana cjelovita metodologija razvoja i analize računalnih 3D prototipova odjevnih predmeta u statičkim i dinamičkim uvjetima predstavlja najznačajniji doprinos.







## 2. PREGLED TEMATIKE



## 2. PREGLED TEMATIKE

U ovom poglavlju objašnjeni su teorijski pojmovi i metode iz područja biomehanike, antropometrije i računalne 3D grafike, s naglaskom na primjenu znanja i metoda u istraživanjima iz područja odjevne tehnologije i razvoja novih modela odjevnih predmeta. Dan je prikaz dosadašnjih istraživanja, po segmentima iz pojedinog područja, čiji su rezultati relevantni u području razvoja računalnih 3D prototipova odjevnih predmeta i metoda za računalno ispitivanje odjeće na tijelu u pokretu, što je tema ovog doktorskog rada.

### 2.1. Biomehanika lokomocije

Biomehanika je interdisciplinarna znanstvena disciplina koja zakone teorijske i primijenjene tehničke fizike koristi u rješavanju bioloških problema, proučavajući mehanička svojstva bioloških organizama, sustava, organa ili tkiva te kretanje cijelog organizma ili njegovih segmenata. Kretanje se definira kao premještanje materijalnih tijela u prostoru i vremenu i može se sagledavati s aspekta dinamike koja proučava odnose gibanja pod utjecajem sila ili kinematike koja proučava geometriju gibanja tijela [11].

Kinematika je znanost koja proučava geometriju pokreta, odnosno promjenu geometrijskog položaja pojedinog segmenta tijela i tijela u cijelosti ovisno o vremenu, bez uzimanja u obzir sila potrebnih za izvođenje pokreta [12]. Geometrija gibanja predstavlja opis pokreta segmenata tijela pri čemu se koriste linearni i kutni pomaci segmenata međusobno ili u odnosu na okolinu te njihove brzine i ubrzanja. U biomehaničkoj analizi, pokret se analizira u točkama koje predstavljaju središta mase pojedinog segmenta, a pokret uključuje veličinu i smjer te se može predstaviti kao vektor. Geometrija pokreta uključuje translaciju i rotaciju segmenata tijela u tri koordinatne ravnine. Pri translaciji sve točke istog tijela imaju isto pravocrtno gibanje u određenom smjeru. Kod rotacije, sve točke istog tijela se rotiraju oko jedne točke koja predstavlja centar rotacije. Segment koji istodobno omogućava i translaciju i rotaciju u tri koordinatne ravnine ima ukupno šest stupnjeva slobode gibanja [11-13].

Sustav organa za kretanje ili lokomotorni sustav čine ljudski kostur i mišići. Temeljna funkcija lokomotornog sustava je pružiti mehaničku potporu tijelu, omogućiti kretanje te pružiti otpor i zaštititi tijelo od vanjskih sila. Kretanje ljudskog tijela omogućava kostur građen od kostiju, koje predstavljaju sustav poluga međusobno povezanih zglobovima u kinematičke lance. Pri tome pojedini zglob predstavlja točku oslonca poluge, a os zgloba os oko koje je omogućeno kretanje poluge, odnosno kosti. Mišićni sustav predstavlja pogonski dio mehanizma kostiju i zglobova. Hvatište mišića za kost je točka hvatišta sile. Poluge se mogu podijeliti na dvostrane

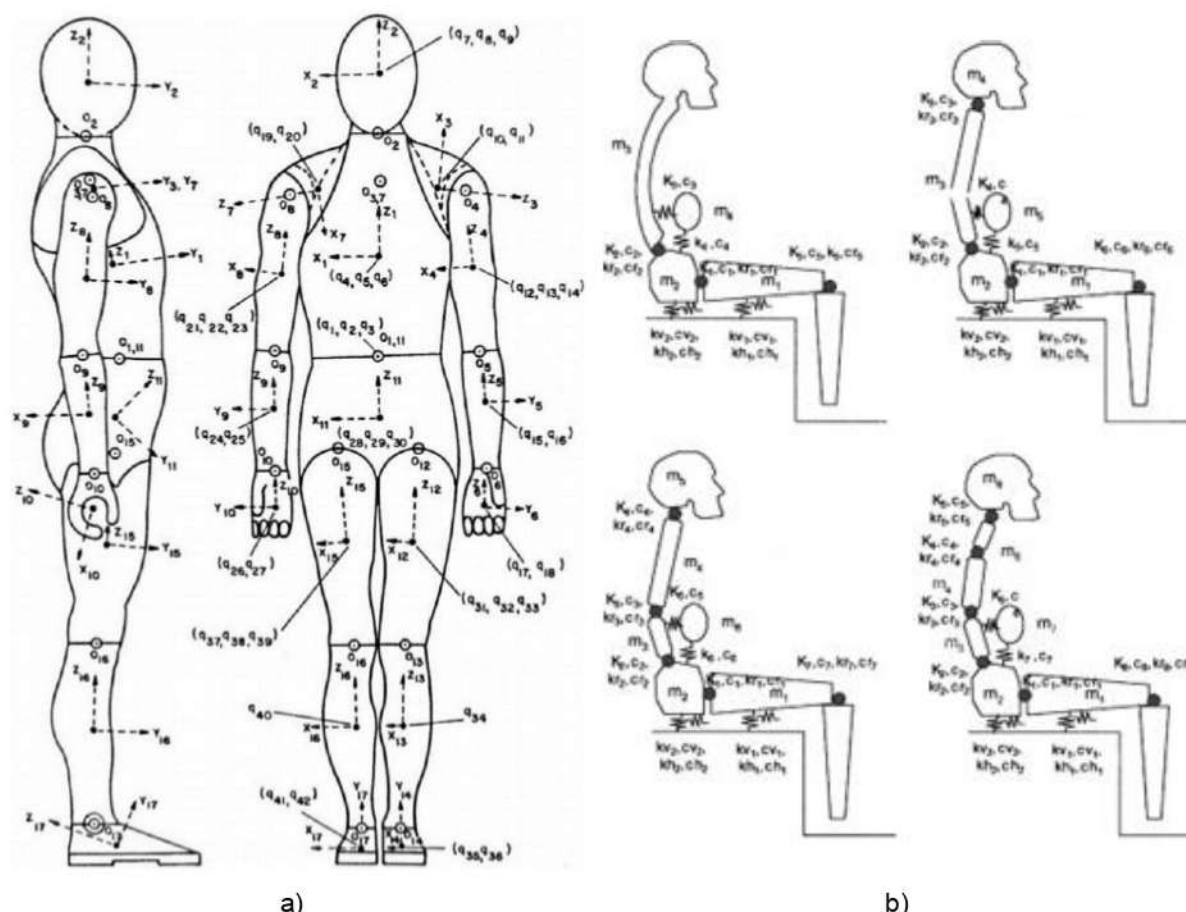
koje djeluju sa suprotnih strana točke oslonca i jednostrane koje se nalaze na istoj strani od točke oslonca, ali imaju suprotan smjer. Što je hvatište sile bliže, to će sila biti veća. Umnožak sile i kraka daju moment koji će pri djelovanju sile biti veći ako je hvatište mišića dalje od osi zgloba te će mišić s manjom silom postići bolji učinak. Točka djelovanja sile gravitacije postavlja se u zamišljenom centru gravitacije segmenta tijela. Sila gravitacije djeluje okomito prema centru zemaljske kugle, a odupire joj se vertikalna komponenta mišićne sile. Ovisno o položaju i dodatnom opterećenju poluge, mijenja se centar gravitacije i položaj hvatišta sile [14].

### 2.1.1. Kinematika ljudskog kostura

S aspekta kinematike, ljudski kostur smatra se mehanizmom sastavljenim od kostiju i zglobova. Kost se zbog svoje tvrdoće i čvrstoće predstavljaju krutim tijelima, a zglobovi nepomičnim i pomičnim vezama između kostiju. Kostur odraslog čovjeka građen je od 206 kostiju povezanih zglobovima i ima hijerarhijsku kinematičku strukturu građenu od jednog zatvorenog kinematičkog lanca koji čine kralježnica, prsni koš i pet otvorenih kinematičkih lanaca koji obuhvaćaju vrat i glavu te gornje i donje ekstremitete [14]. Broj stupnjeva slobode gibanja pojedinog zgloba, odnosno broj i položaj osi oko kojih je omogućeno kretanje, ovise o obliku zgloba. Grubom aproksimacijom geometrijskog oblika zglobnog tijela, zglobove možemo podijeliti u četiri skupine. Zglobovi s ravnim zglobnim tijelima omogućuju klizne pokrete, translaciju i rotaciju unutar plohe zgloba. Takvi zglobovi imaju gotovo ravne zglobne pokrete, a kao primjer se mogu navesti mali zglobovi između kralješaka. Zglobovi s jednom osi gibanja su kutni i obrtni zglob koji se sastoje od konveksnog i konkavnog zglobnog dijela. Kod kutnog zgloba konveksno zglobno tijelo ima oblik valjka, a konkavno šupljeg valjka, pri čemu os gibanja prolazi okomito na uzdužnu os zgloba. Primjer zgloba s jednom osi gibanja je lakat kod kojeg su prisutna kutna gibanja podlaktice prema nadlaktici, savijanje (pregibanje) i ekstenzija (ispruženost). Kod obrtnog zgloba, zglobno tijelo je također predstavljeno kao valjak, ali os gibanja prolazi u smjeru osovine, pa je zglobu omogućeno rotacijsko gibanje. Kao primjer se može navesti spoj palčane i lakatne kosti u laktu te u distalnom dijelu podlaktice. Zglobovi s dvije osi gibanja omogućuju kretanje po dvije okomite osi, bez rotacije, a postoje dva oblika, elipsoidni i sedlasti zglob. Kod elipsoidnog oblika, konveksno zglobno tijelo je elipsoid, a konkavno šuplji elipsoid. Kretanje je omogućeno u dvije osi koje prolaze duljim i kraćim promjerom elipsoida. Sedlasti zglob ima zglobna tijela u obliku sedla, jedno konkavno, drugo okomito konveksno. Također omogućuju kretanje u dvije osi, bez rotacije. Zglobovi s tri ili više osi imaju zglobna tijela u obliku kugle, odnosno polukugle i šuplje polukugle. Sve tri osi gibanja prolaze kroz centar zakrivljenosti kugle te omogućuju translaciju i rotaciju zgloba. Primjeri takvih zglobova su rameni zglob i kuk [14-16].

U ovako kompleksnom kinematičkom sustavu, normalni ljudski kostur ima ukupno 250 stupnjeva slobode gibanja (SSG), od čega ekstremiteti obuhvaćaju 40% ukupnog broja SSG (28 svaka ruka s ramenom i 25 svaka noga), kralježnica obuhvaća oko 20% SSG, a ostalih 40% otpada na prsni koš, vrat i glavu [16]. Kralježnica čovjeka sastoji se od 24 pokretnih kralješaka i 9 statičnih. Pokretni kralješci dijele se na sedam cervikalnih, 12 torakalnih i pet lumbalnih kralješaka. Cervikalno područje omogućava savijanje do 45 stupnjeva i rotaciju za 60 stupnjeva. Lumbalni dio kralježnice omogućuje pokretanje torza i može se saviti za oko 80 stupnjeva, dok je bočno savijanje ograničeno na 35 stupnjeva s 45 stupnjeva rotacije u lijevu i desnu stranu. Torakalni dio omogućava jako mali raspon kretanja u odnosu na ostale dvije skupine. Pomicanje donjih udova tijela kontroliraju zglobovi kukova, koljena i gležnja. Kukovi su građeni od glava femura povezanih preko zdjeličnog pojasa. Zdjelična čašica omogućava ekstenziju (pomak prema stražnjem dijelu bedrene kosti u sagitalnoj ravnini), savijanje za 130 stupnjeva (pomicanje bedrene kosti prema naprijed i prema gore u sagitalnoj ravnini), pomicanje bedrene kosti od središnje linije tijela u frontalnoj ravnini za 30 do 35 stupnjeva (abdukcija) te pomicanje bedrene kosti prema središnjoj liniji tijela u frontalnoj ravnini za 45 do 50 stupnjeva (addukcija). Najveći i najkompleksniji zglob na ljudskom tijelu je koljeno. Koljeno omogućava savijanje za 180 stupnjeva, kad je noga ispružena, a u nekim slučajevima može imati i hiperekstenziju za do 10 stupnjeva. Savijanje iz ravne pozicije omogućeno je do 140 stupnjeva te se dodatno može rotirati za 30 stupnjeva prema unutra ili van [17,18].

Od 70-ih godina 20. stoljeća do danas razvijene su brojne metode za rješavanje matematičkog problema opisa kretanja tijela što je, zbog velikog broja rubnih i početnih uvjeta kao i velikog broja stupnjeva slobode gibanja čovjeka kao mehaničkog sustava, rezultiralo velikim brojem opisnih jednadžbi, sl. 1 [19,20].



**Slika 1** Biomehantički modeli čovjeka: a) prema Hatzeu [19], b) prema Kimu [20]

### 2.1.1.1. Direktna i inverzna kinematika

Građa ljudskog kostura predstavlja hijerarhijsku strukturu, kod koje je kretanje određeno zglobovima koji povezuju kosti te se pokretanjem jedne kosti pokreću sve ostale kosti povezane u hijerarhijskom lancu. Svaki zglob može imati do šest stupnjeva slobode, ovisno o broju osi u kojima se pojedini zglob može translirati i rotirati. Za rješavanje matematičkog problema kretanja ljudskog tijela koriste se dva principa kinematike, direktna kinematika i inverzna kinematika [21].

Kod direktne kinematike svaki zglob u lancu nasljeđuje translaciju i rotaciju prethodnog zgloba te se pri pomaku zgloba unutar lanca pomiču samo zglobovi koji su u lancu nakon tog zgloba. Pri tome se na temelju parametara translacije i rotacije zglobova izračunavaju krajnji položaji povezanih kostiju, što predstavlja zadatak s jednostrukim rješenjem.

Kod kompleksnijih modela koristi se obrnuti postupak, odnosno inverzna kinematika kod koje se zglobovi u lancu orijentiraju prema krajnjoj poziciji pojedine kosti, što je puno složeniji problem s beskonačno mnogo rješenja. Pri tome se prema poziciji krajnjeg zgloba u lancu,

principom inverzne kinematike izračunavaju pozicije svih ostalih zglobova između početne i krajnje kosti [21-24].

U matematičkom modelu inverzne kinematike s nizom od  $n$  zglobova, svaki zglob ima svoj lokalni koordinatni sustav. Koordinatni sustavi dva susjedna zgloba povezani su transformacijom sastavljenom od translacije i rotacije. Rotacija  $R(\theta_i)$  je rotacija za kut  $\theta_i$  oko osi rotacije zgloba  $i$ , dok je translacija  $T(x_i, y_i, z_i)$  translacija do zgloba  $i$  od ishodišta zgloba  $i=1$ . Ukupna transformacija  $M_i$  može se izraziti kao:

$$M_i = T(x_i, y_i, z_i) \cdot R(\theta_i) \quad (1)$$

Za cijeli lanac od  $n$  zglobova transformacije se množe:

$$M = M_1 \cdot M_2 \cdot M_3 \cdot \dots \cdot M_n \quad (2)$$

Ako zadamo vektor poznatih varijabli zglobova  $q$ , direktnom kinematikom i množenjem matrica možemo izračunati vektor položaja i smjera  $x$  krajnje točke manipulatora (izraz 3). No ukoliko nam je zadan položaj i smjer  $x$  krajnje točke, do vektora varijabli zglobova  $q$  dolazimo rješenjem problema inverzne kinematike (izraz 4).

$$x = f(q) \quad (3)$$

$$q = f^{-1}(x) \quad (4)$$

Funkcija  $f$  nije linearna i određeni  $x$  može imati beskonačno mnogo rješenja  $q$ . Jedan od pristupa rješenju je linearizacija funkcije oko trenutne konfiguracije manipulatora:

$$x = J(q)q \quad (5)$$

Ovisnost brzina zglobova i brzine krajnje točke manipulatora izražava se Jakobijevom matricom:

$$J = \frac{\partial f}{\partial q} \quad (6)$$

Jakobijeva matrica preslikava promjene u varijabli zgloba  $q$  u promjene u položaju i smjeru krajnje točke  $x$ . Matrica  $J$  je dimenzija  $m \times n$ , gdje je  $n$  broj varijabli zglobova (broj zglobova u



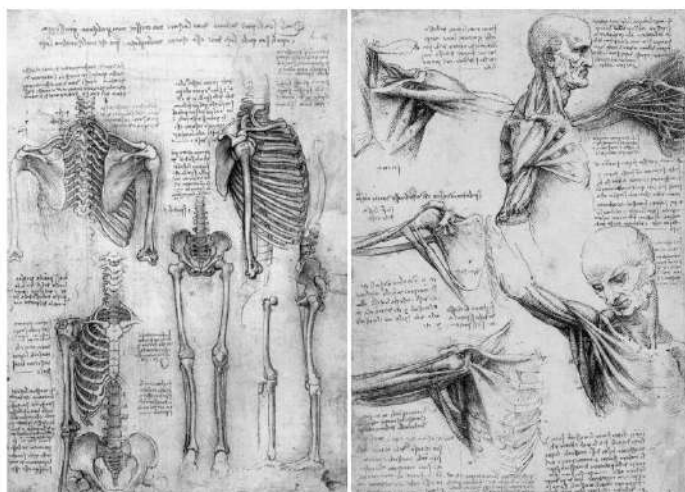
manipulatoru), a  $m$  je dimenzija vektora  $x$  krajnje točke i iznosi tri za probleme položaja ili šest za probleme položaja i orijentacije krajnje točke. Rješenje problema inverzne kinematike svodi se na invertiranje Jacobijeve matrice:

$$\dot{q} = J^{-1}(q)\dot{x} \quad (7)$$

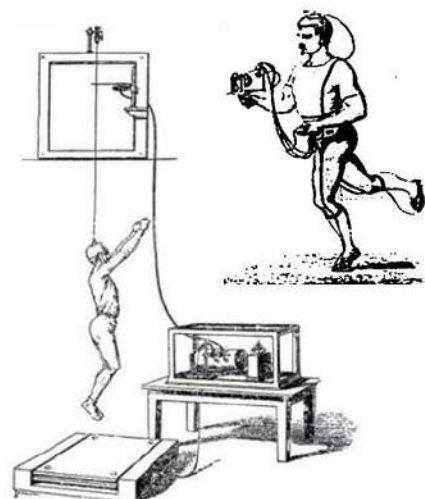
Pomoću inverzne Jakobijeve matrice moglo bi se u svakoj iteraciji izračunati smjer, odnosno brzinu gibanja točke manipulatora, te brzine zglobova, iz čega se numeričkom integracijom utvrđuje novi vektor stanja  $q$ . Procedura se ponavlja sve do željenog krajnjeg položaja. No, s obzirom da linearizacija funkcije  $f$  vrijedi samo za male pomake, u svakom koraku je potrebno ponovno izračunati Jakobijevu i inverznu matricu [24].

### 2.1.2. Mjerni sustavi za analizu kretanja ljudskog tijela

Prve znanstvene analize kretanja ljudskog tijela provodili su znanstvenici poput Galilea, Newtona i Da Vincia, sl. 2 [25]. Za napredak u istraživanjima i analizama kretanja uvelike je zaslužan razvoj fotografije pomoću kojih je po prvi puta omogućeno snimiti seriju pokreta i zaustaviti ih na bilo kojem dijelu, kako bi proučili detalje nevidljive golim okom. Tu se ističu znanstvenici Marey i Muybridge kao pioniri ljudske i animalne lokomocije. Edward James Muybridge prvi je uveo fotografski postupak u istraživanje lokomocije, postavljanjem niza kamera duž hodne staze tj. staze za trčanje i njihovim slijednim aktiviranjem. Muybridge je znanstvenik koji je prvi snimio seriju slika konja u galopu. Etienne Jules Marey je u drugoj polovici 19. st. provodio ozbiljna eksperimentalna istraživanja ljudskog kretanja. Konstruirao je više uređaja za mjerenje i registraciju pokreta te je u Parizu uspostavio prvi biomehanički mjerni laboratorij, sl. 3. Pomoću fotografske kamere, crnog odijela s metalnim okomitim linijama i crnom podlogom, snimio je prve snimke slične modernoj kinematografskoj analizi hoda. Daljnji napredak u području kinematike dolazi s razvojem automatiziranih stereometrijskih metoda, pomoću kojih se informacije o prostornim pomacima točaka na ljudskom tijelu unose u računalo i dalje obrađuju [12,21].



**Slika 2** Leonardo da Vinci (1452-1519) – „The Mechanical Man“ [25]



**Slika 3** Laboratorij za biomehaniku - Marey E.J. (1830-1904) [13]

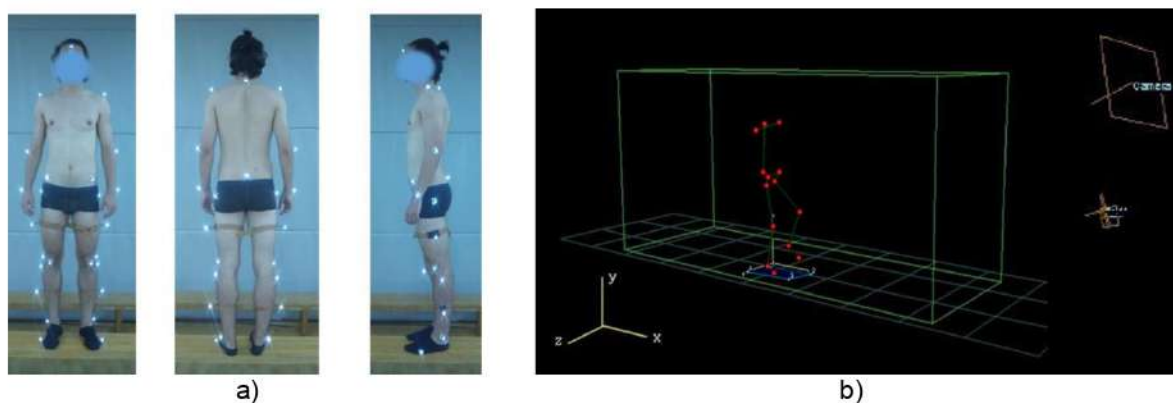
Suvremene metode za analizu kretanja ljudskog tijela temelje se na primjeni različitih sustava za snimanje pokreta, tzv. Motion Capture sustava (MoCap), koji prate i snimaju ključne točke označene aktivnim ili pasivnim reflektirajućim markerima na tijelu ispitanika, pomoću kojih se snimljeni pokret prevodi u matematički, odnosno digitalni oblik [21]. Postoje različite vrste MoCap sustava. Najčešće se koriste optički sustavi s infracrvenim kamerama i pasivnim reflektirajućim markerima, no postoje i elektromagnetski, ultrazvučni i mehanički sustavi. Elektromagnetski i ultrazvučni sustavi koriste elektromagnetska polja ili ultrazvuk za praćenje senzora pozicioniranih na ključnim točkama, dok se mehanički sustavi baziraju na povezanoj strukturi koja pomoću potenciometra detektira pomake i rotacije ključnih točaka. Ključne točke su područja koja najbolje reprezentiraju kretanje različitih pokretnih dijelova na snimanom subjektu, odnosno predstavljaju spojeve između krutih segmenata. Na ljudskom tijelu ključne točke su određene pozicijama zglobova i predstavljaju vezu između kostiju. Pozicija svake točke prati se s jednim ili više senzora, markera ili potenciometara koji prikupljaju informacije o kretanju u nekom vremenskom periodu. Kao rezultat snimanja dobivaju se informacije o pozicijama, brzinama i akceleracijama ključnih točaka na temelju čega se izračunavaju kinematičke krivulje gibanja za pojedine dijelove tijela kao digitalna reprezentacija pokreta [6].

#### *2.1.2.1. Analiza kretanja ljudskog tijela primjenom optičkog Motion Capture sustava*

Optički MoCap sustavi za obradu podataka primjenjuju stereometrijske metode, razvijene u području fotogrametrije, kojima se na temelju dvije ili više 2D slika zabilježenih različitim kamerama rekonstruiraju 3D položaji točaka u prostoru, sl. 4 [12,13]. Primjenom analitičke



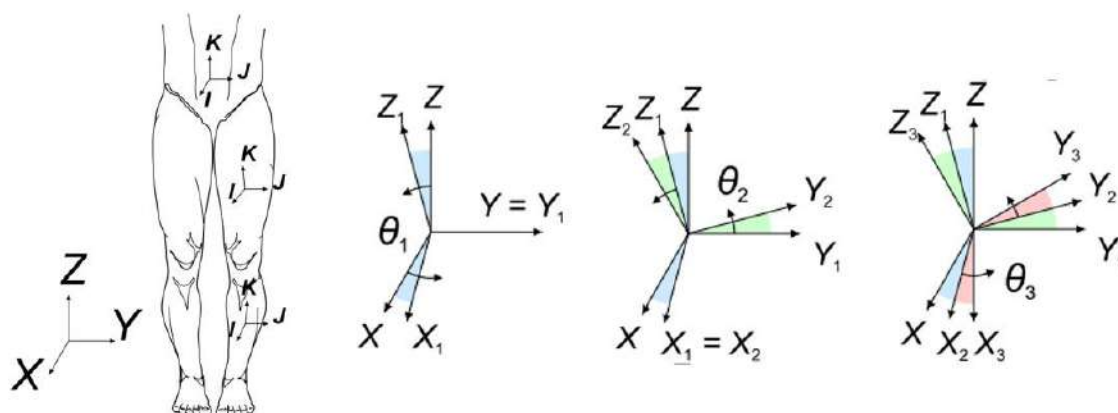
fotogrametrije moguće je odrediti 3D koordinate točke u globalnom koordinatnom sustavu prema projekcijama te točke na najmanje dvije ravnine sukladne raspoređenim kamerama. Na taj način dobivaju se 3D vrijednosti svih točaka na tijelu na kojima su postavljeni markeri. Rekonstruiranjem najmanje tri nekolinearne točke pojedinog tjelesnog segmenta utvrđuje se vektor položaja segmenta i rotacijska matrica iz kojih se mogu izraziti kinematičke varijable i kutovi pojedinih zglobova u različitim ravninama. Primjenom Newtonovske mehanike na opis ljudskog tijela u mirovanju i gibanju moguće je procijeniti nedostupne mehaničke veličine u zamišljenim središtima zglobova lokomotornog sustava [21].



**Slika 4** Optički Motion Capture sustav za snimanje i biomehaničku analizu pokreta ljudskog tijela, BTS Elite: a) postavljanje markera na tijelo ispitanika, b) prikaz snimljenog kinematičkog modela

Analiza kretanja ljudskog tijela odvija se u tri anatomske ravnine, frontalnoj, sagitalnoj i transverzalnoj. Za izražavanje rotacije pojedinih zglobova i kutova između pojedinih segmenata koriste se Eulerovi kutovi, pri čemu se položaj pojedinog segmenta u odnosu na drugi koji se smatra fiksnim, izražava kao niz od tri konačne rotacije koje se provode jedna za drugom u stalnom redoslijedu da bi se postigla krajnja rotacija segmenta [12,13]. Postavljanje ortogonalnih osi u pokretnom i referentnom segmentu definirano je od strane Međunarodnog društva za biomehaniku [26-28]. Apsolutni (globalni) koordinatni sustav definiran je tako da je smjer kretanja definiran u smjeru x osi, z os je definirana okomito prema gore, a y os je okomita na x i z tako da tvori desni Kartezijev koordinatni sustav. U početnom stanju mirovanja, referentne osi zdjelice se podudaraju s apsolutnim koordinatnim osima. Osi zdjelice su referentne za natkoljenu, natkoljenica za potkoljenu, potkoljenica za stopalo. Rotacija pojedinog segmenta za kut  $\theta_1$  oko osi y definira zdjelčni naklon prema gore, ekstenziju kuka, fleksiju koljena i plantarnu fleksiju gležnja. Rotacija u suprotnom smjeru oko y osi definira zdjelčni naklon prema dolje, fleksiju kuka, ekstenziju koljena i dorzifleksiju gležnja. Nove orijentacije točaka mogu se označiti kao  $x_1, y_1, z_1$ . Rotacija pojedinog segmenta za kut  $\theta_2$  oko osi x definira zdjelčni nagib, abdukciju/addukciju kuka i varus/valgus koljena, a nova orijentacija izračunava se kao  $x_2, y_2, z_2$ . Rotacijom za kut  $\theta_3$  oko osi z segmenti dolaze u svoju

krajnju poziciju, a kutni pomaci se definiraju kao zdjelčna rotacija, rotacija kuka, rotacija koljena i rotacija stopala. Konačna rotacija se označava kao  $x_3, y_3, z_3$ , sl. 5 [21,29].



**Slika 5** Rotacija točaka oko tri koordinatne osi [13]

Osi pojedinog segmenta se definiraju pomoću tri međusobno okomita jedinična vektora I, J i K koji odgovaraju koordinatnim osima  $x, y$  i  $z$ . U točki zdjelice, jedinični vektor J položen je u smjeru linije koja spaja desni prednji vrh zdjelice s lijevom. Jedinični vektor I je okomit na J usmjeren prema naprijed, a položen u vodoravnoj ravnini koju definiraju vrhovi zdjelice. Treći vektor K je pravokutan i na I i na J i određen tako da tvori desni koordinatni sustav. U točki natkoljenice, jedinični vektor K je usmjeren od središta koljena prema središtu kuka. Vektor J je definiran frontalnom ravninom kojom prolaze središta kuka i koljena, okomito na vektor K usmjeren ispitaniku nalijevo. Treći je vektor I dobiven kao vektorski produkt J i K i tvori desni koordinatni sustav. Na isti način su određeni i vektori u točki potkoljenice sa središtima koljena i gležnja kao referencama. Budući da se na stopalo u pravilu postavljaju samo dvije oznake pri mjerenjima, promatraju se samo dva kutna gibanja gležnja, pa je potreban samo jedan vektor za izračun orijentacije stopala, koji se računa od središta gležnja u smjeru koji prolazi između drugog i trećeg metatarzalnog zaglavka [21,29,30].

Budući da ortopedski kutovi označavaju relativnu orijentaciju distalnog pokretnog segmenta u odnosu na proksimalni koji je čvrsta referenca, odgovarajuće rotacijske matrice mogu se izraziti u odnosu na te kutove. Neka su jedinični vektori proksimalnog referentnog okvira predstavljeni s  $\vec{i}, \vec{j}$  i  $\vec{k}$  u apsolutnom sustavu, a jedinični vektori distalnog ugrađenog sustava pokretnog segmenta  $\vec{i}_i, \vec{j}_i$  i  $\vec{k}_i$ , gdje je  $i = 1, 2$  odnosno  $3$  za rotaciju oko pojedine osi. Odnos temeljen na ortopedskim kutovima  $\theta_1, \theta_2$  i  $\theta_3$  može se izraziti pomoću rotacijskih matrica  $R_1, R_2$  i  $R_3$  (izrazi 8-10) [21,29,30].

$$R_1 = \begin{bmatrix} \vec{l}_1 \\ \vec{j}_1 \\ \vec{k}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_1 & \sin \theta_1 \\ 0 & -\sin \theta_1 & \cos \theta_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{l} \\ \vec{j} \\ \vec{k} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} \vec{l}_2 \\ \vec{j}_2 \\ \vec{k}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & 0 & -\sin \theta_2 \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta_2 & 0 & \cos \theta_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{l}_1 \\ \vec{j}_1 \\ \vec{k}_1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} \vec{l}_3 \\ \vec{j}_3 \\ \vec{k}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_3 & \sin \theta_3 & 0 \\ -\sin \theta_3 & \cos \theta_3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{l}_2 \\ \vec{j}_2 \\ \vec{k}_2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Krajnji položaj segmenta nakon tri rotacije može se izraziti preko umnoška matrica  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  i jediničnog vektora (izrazi 11 i 12) [13]:

$$\begin{bmatrix} \vec{l}_3 \\ \vec{j}_3 \\ \vec{k}_3 \end{bmatrix} = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot \begin{bmatrix} \vec{l} \\ \vec{j} \\ \vec{k} \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$\begin{bmatrix} \vec{l}_3 \\ \vec{j}_3 \\ \vec{k}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 \cos \theta_3 + \sin \theta_1 \sin \theta_2 \sin \theta_3 & \cos \theta_2 \sin \theta_3 & -\sin \theta_1 \cos \theta_3 + \cos \theta_1 \sin \theta_2 \sin \theta_3 \\ -\cos \theta_1 \sin \theta_3 + \sin \theta_1 \sin \theta_2 \cos \theta_3 & \cos \theta_2 \cos \theta_3 & \sin \theta_1 \sin \theta_3 + \cos \theta_1 \sin \theta_2 \cos \theta_3 \\ \sin \theta_1 \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & \cos \theta_1 \cos \theta_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{l} \\ \vec{j} \\ \vec{k} \end{bmatrix} \quad (12)$$

Iz čega proizlaze rotacijski kutovi  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  i  $\theta_3$  (izrazi 13 do 15):

$$\theta_2 = \sin^{-1}(-\vec{k}_3 \cdot \vec{j}) \quad (13)$$

$$\theta_1 = \sin^{-1} \left[ \frac{(-\vec{k}_3 \cdot \vec{j})}{\cos(\theta_2)} \right] \quad (14)$$

$$\theta_3 = \sin^{-1} \left[ \frac{(-\vec{l}_3 \cdot \vec{j})}{\cos(\theta_2)} \right] \quad (15)$$

Zglob gležnja ima dva ortopedska kuta  $\theta_1$  i  $\theta_3$ . Ako u izraz (12) uvrstimo  $\sin \theta_2 = 0$  i  $\cos \theta_2 = 1$  dobivamo jednostavniji izraz za kutove gležnja:

$$\begin{bmatrix} \vec{l}_3 \\ \vec{j}_3 \\ \vec{k}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 \cos \theta_3 & \sin \theta_3 & -\sin \theta_1 \cos \theta_3 \\ -\cos \theta_1 \sin \theta_3 & \cos \theta_3 & \sin \theta_1 \sin \theta_3 \\ \sin \theta_1 & 0 & \cos \theta_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{l} \\ \vec{j} \\ \vec{k} \end{bmatrix} \quad (16)$$



Rotacijski kutovi za stopalo mogu se izraziti kao [13]:

$$\theta_1 = \sin^{-1}(\vec{k}_3 \cdot \vec{i}) \quad (17)$$

$$\theta_3 = \sin^{-1}(\vec{i}_3 \cdot \vec{j}) \quad (18)$$

## 2.2. Antropometrijska mjerenja

Antropometrija je znanost koja proučava oblik i raspored pojedinih dijelova ljudskog tijela, pri čemu se analizom proporcija utvrđuju odnosi pojedinih tjelesnih mjera, odstupanja tjelesne građe od prosječne građe ili prisutnost eventualnih deformacija na tijelu [31]. Antropometrijska mjerenja i analize primjenjuju se u različitim područjima znanosti kao i u različitim industrijama koje se bave razvojem proizvoda koji trebaju biti ergonomski oblikovani i pristajati ljudskom tijelu, kao što su odjevna i obučarska industrija, automobilska industrija ili industrija namještaja.

### 2.2.1. Vrste antropometrijskih mjerenja

U odjevnom inženjerstvu, antropometrijske mjere ljudskog tijela definirane su međunarodnim normama ISO 8559 i ISO 9407 i predstavljaju polazište za konstrukciju odjeće [32,33]. U procesu razvoja novih kolekcija odjeće, modeli se dizajniraju i konstruiraju za određeni set odjevnih veličina. Sustavi odjevnih veličina predstavljaju kvantitativnu karakterizaciju morfoloških karakteristika ljudskog tijela temeljenu na prosječnim antropometrijskim mjerama populacije određenog spola i ciljane dobne skupine [34,35]. Problematika primjene sustava odjevnih veličina u konstrukciji odjeće je u nedovoljno egzaktnoj interpretaciji morfoloških karakteristika oblika i držanja tijela koje direktno utječu na pristalost odjeće. Kod odjeće koja mora ispunjavati kriterij visoke pristalosti, primjenjuju se metode konstrukcije odjeće prema individualnim mjerama i karakteristikama tijela te je s tog aspekta moguće ostvariti i iskorak u smislu razvoja dizajna i projektiranja odjeće za posebne skupine kupaca, osmišljene upravo za pojedine tipove i uzraste tijela [36,37]. Za utvrđivanje tjelesnih mjera najčešće se koristi tehnologija 3D skeniranja, koja omogućava precizno, beskontaktno mjerenje, ali i numeričku analizu morfoloških karakteristika oblika i držanja tijela [38-41]. Standardna antropometrijska mjerenja tijela podrazumijevaju mjerenje na tijelu u statičnom, uspravnom položaju, dok je u realnim uvjetima ljudsko tijelo izrazito deformabilan sustav koji je gotovo uvijek u kretanju. S tog aspekta, uloga odjeće je osim osnovne zaštite tijela od vanjskih utjecaja, osigurati neometano kretanje tijela ili čak pružiti dodatnu potporu kod izvođenja ekstremnih pokreta, što

je vrlo čest zahtjev kod sportske odjeće. Kako bi se postigla što bolja pristalost odjeće u dinamičkim uvjetima, u procesu projektiranja odjeće se osim standardnih antropometrijskih analiza u obzir uzimaju i antropometrijske karakteristike tijela u pokretu, što je predmet proučavanja dinamičke antropometrije [42].

Dinamička antropometrija temelji se na znanjima iz područja biomehanike lokomocije i primjeni antropometrijskih metoda za analizu tjelesnih mjera i proporcija na tijelu u pokretu i u različitim tjelesnim položajima [42,43]. Ljudsko tijelo je izrazito deformabilno, što znači da se ovisno o pokretu i položaju tijela mijenjaju tjelesne mjere i površine segmenata. Prema dosadašnjim istraživanjima, u području odjevnog tehnologije još uvijek nije definirana cjelovita metodologija utvrđivanja i analize tjelesnih mjera s aspekta dinamičke antropometrije, te se u literaturi može pronaći i različita terminologija koja se referira na dinamičku ili funkcionalnu antropometriju, te dinamičke, funkcionalne i ergonomske mjere tijela [44,45]. Dostupni standardi i metode mjerenja u području dinamičke antropometrije odnose se uglavnom na područje ergonomije i definiranje proporcija i dosega tijela pri oblikovanju radnih mjesta [46-49].

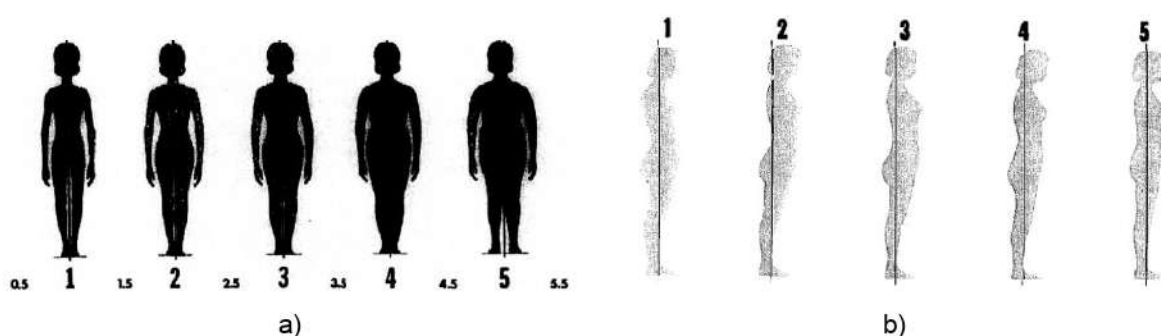
Promjene tjelesnih dimenzija u pokretu prvenstveno ovise o konstituciji i mišićnoj razvijenosti tijela. Do sada je proveden vrlo mali broj istraživanja koja sustavno povezuju promjene mjera tjelesnih dimenzija na tijelu u pokretu s veličinom ili oblikom tijela [3,4]. Istraživanja i analize deformacija površine tijela i promjena u tjelesnim mjerama u različitim dinamičkim položajima mogu se pronaći kao studije na manjim uzorcima ili kao istraživanja slučaja, najčešće u kontekstu razvoja ciljanog modela zaštitne ili sportske odjeće koja korisniku mora omogućiti dobru dinamičku pristalost i neometano izvođenje ekstremnih pokreta tijela [50,51].

### 2.2.2. Konstitucije i tipovi oblika i držanja ljudskog tijela

Konstitucija tijela (*lat. constitutio = ustroj*) je skup individualnih anatomske i fiziološke osobine čovjeka, koje se očituju u njegovoj građi, obliku, vitalnosti i u načinu reagiranja na različite normalne i patološke utjecaje koje formiraju nasljedni i stečeni čimbenici (okoliš, socijalni uvjeti života i sl.) [52]. Različite podjele na konstitucije tijela uglavnom se zasnivaju na karakterističnim oblicima dijelova tijela. Podjela prema Brugschu temelji se na širini prsnog koša i dijeli ljude na one s uskim, normalnim i širokim grudima. Prema Černoruckom postoje tri konstitucije tijela: astenična (visoki rast, dugi i tanki udovi, uske grudi), hiperstenična (rast u širinu, gojaznost, široke grudi i kratke noge) i normalnostenična konstitucija (nešto između prethodno navedenih). Njemački psihijatar Kretschmer podijelio je konstitucije na leptosomnu (asteničnu), atletsku i pikničku te s konstitucijskim parametrima povezuje i sve oblike čovjekovog reagiranja, psihičke sposobnosti (osobnost, temperament) i predispozicije za

određene psihičke bolesti (shizofrenija, epilepsija, manično-progresivna psihoza). Leptosomnu (astenična) konstituciju karakterizira značajniji rast u visinu u odnosu na širinu tijela, nježna građa kostiju, razmjerno dug prsni koš s oštrim rebranim kutom, dugi udovi s dugačkim tankim prstima i uskim stopalima, sitna glava s uskim licem i tankim nosom. Dugi i tanki, vretenasti mišići, plastično manje izraženi s neznatnim naslagama pravilno raspoređenog masnog tkiva. Atletsku (fibriznu) konstituciju karakterizira srednji do visoki rast, snažan kostur, široka ramena i dobro razvijen prsni koš, krupnija glava, šire lice i snažan vrat. Nema disproporcija između trupa i udova, a mišići su razvijeniji i izražajni. Piknička (adipozna) konstitucija naginje pretilosti te ju karakterizira značajan rast tijela u širinu u odnosu na visinu, uska ramena, bačvast prsni koš, kratki udovi s debelim prstima i stopalima, široka zdjelica, krupna glava, oblo lice i širok vrat. Gomilanje masnog tkiva posebno je izraženo na trbušnim mišićima koji su posljedično slabo izraženi [52,53].

Osim tjelesnih konstitucija, definirani su i različiti tipovi oblika ženskog i muškog tijela, karakteristični za različite uzraste i stasove tijela [54,55]. Jednu od prvih metoda predstavio je William Sheldon još 1930. godine. Metoda se temelji na obradi fotografija ispitanika s prednje, stražnje i bočne strane, pri čemu se vrednuju tri bazna elementa prema kojima su tipovi i dobili imena: endomorf povezan s abdomenom i cjelokupnim probavnim sustavom, mezomorf povezan s mišićnim i cirkularnim sustavom te ektomorf povezan s moždanim i živčanim sustavom [56]. U području odjevne tehnologije, Douty je predstavila metodu određivanja tipova oblika i držanja tijela, primjenom slika siluete tijela. Prvom skalom vrednuje se građa tijela u frontalnom pogledu ocjenama od lagane do teške građe (0,5 – 5,5), dok se drugom skalom vrednuje držanje tijela ocjenama od lošeg do odličnog (0,5 – 5,5), sl. 6 [57].



**Slika 6** Tipovi tijela prema Douty, 1968: a) skala vrednovanja građe tijela, b) skala vrednovanja držanja tijela [57]

Connell i suradnici su razvili metodu procjene tipova oblika i držanja primjenom skeniranih 3D modela tijela. Pregledom relevantne literature, za analizu cijelog tijela postavili su tri kriterija, građu tijela, oblik tijela i držanje, dok su za analizu dijelova tijela postavili šest kriterija, oblik

torza sprijeda, oblik bokova, duljinu ramena, oblik grudi, oblik stražnjice i zakrivljenost leđa [58].

Ovakve vizualne procjene tipova oblika i držanja tijela nedostatne su za primjenu u konstrukciji odjeće jer ne daju jasne numeričke parametre u smislu raspona vrijednosti tjelesnih mjera i proporcija koje definiraju pojedini tip. Značajan doprinos razvoju numeričkih metoda klasifikacije tipova oblika i držanja tijela dao je razvoj tehnologije 3D skeniranja ljudskog tijela, kojim je omogućena vrlo precizna i beskontaktna analiza antropometrijskih karakteristika, pri čemu je moguće utvrditi veliki broj numeričkih varijabli potrebnih za klasifikaciju različitih tipova oblika i držanja tijela.

#### 2.2.2.1. Numeričke metode određivanja tipova oblika i držanja tijela

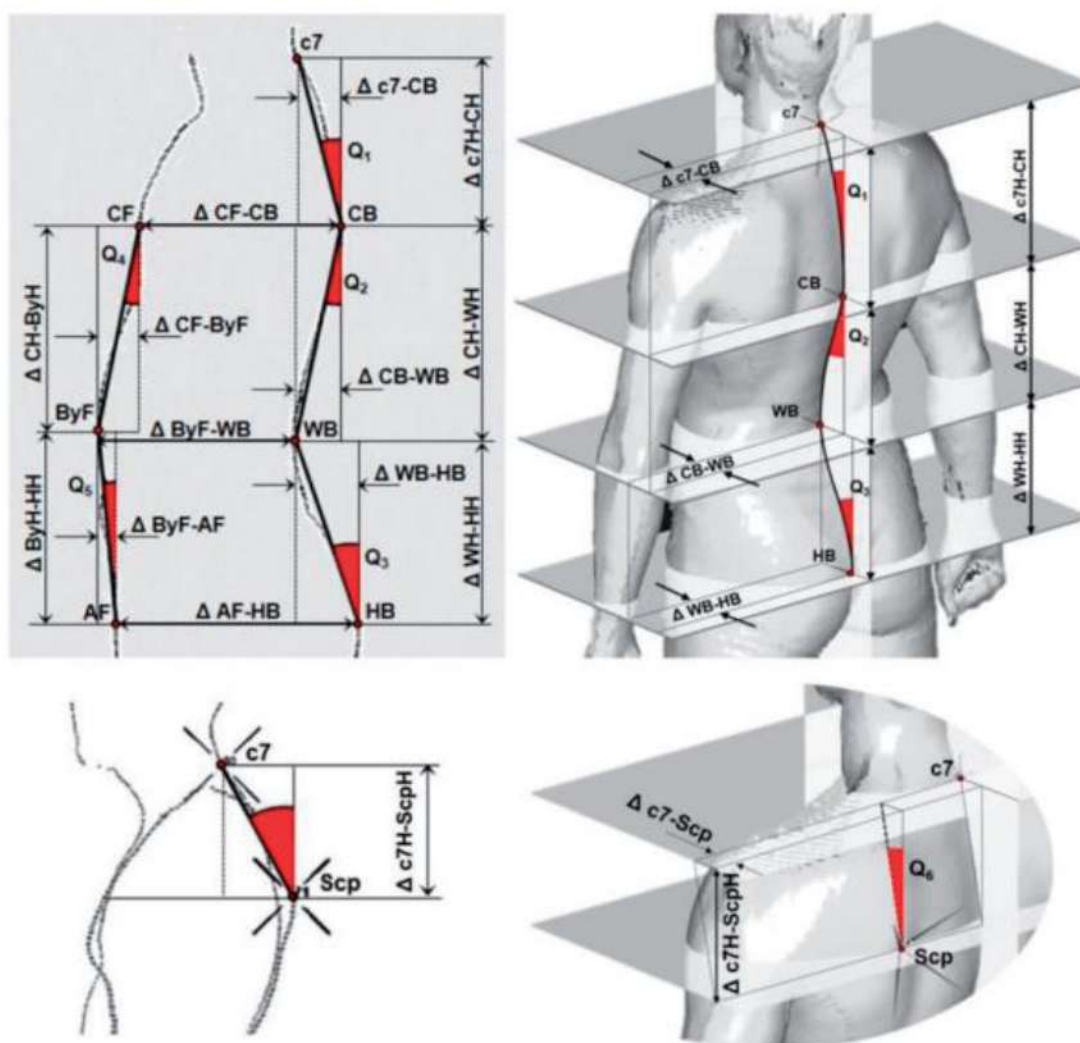
Za objektivnu analizu i numeričku klasifikaciju tipova oblika tijela najčešće se koriste dvije metode: analiza proporcija tjelesnih mjera i opsega [54,59,60] i metoda analize glavnih komponenata, odnosno PCA metoda [61]. Najčešće zastupljena podjela oblika tijela je u devet tipova prema Simmons: pješčani sat, pješčani sat s naglašenim donjim dijelom tijela, pješčani sat s naglašenim gornjim dijelom tijela, žlica, kvadrat, dijamant, oval, trokut i obrnuti trokut. U sklopu istraživanja Simmons i suradnici razvili su program „Female Figure Identification Technique (FFIT) for Apparel“ koji na temelju skeniranih modela tijela i utvrđenih omjera tjelesnih mjera opsega grudi, struka, visokih bokova, bokova, trbuha i abdomena određuje pripadnost modela pojedinom tipu [54,62]. Petrova i Ashdown su razvile metodu određivanja tipova oblika donjeg dijela tijela koja se temelji na odnosu mjera opsega struka i bokova. Na taj način su opisana tri tipa: ravni, srednji i krivuljni tip. Navedene rezultate primjenile su za utvrđivanje potrebne vrijednosti komocije kod konstrukcije hlača za pojedini tip tijela [60]. Metoda analize glavnih komponenata (PCA) reducira broj varijabli kombiniranjem sličnih varijabli u komponente (*PC*, eng. *Principal Components*). Salusso-Deonier i suradnici su opisali oblike tijela pomoću prve dvije glavne komponente s najznačajnijim objašnjenjem. Prva komponenta odnosi se na horizontalne mjere debljine tijela, a druga na vertikalne mjere tjelesnih duljina, pri čemu se kombinacijom komponenti opisuje pojedini tip oblika tijela [61]. Glavni nedostatak prikazanih metoda određivanja tipova oblika i držanja tijela je u tome što se temelje na odnosu mjera tjelesnih opsega, pri čemu se ne daje jasna informacija obliku krivulja koje opisuju figuru tijela u anteroposteriornj i sagitalnoj ravnini, a koje se mogu primijeniti u konstrukciji i prilagodbi krojeva odjeće [40,41,63].

Na držanje tijela najviše utječu veličina, oblik i struktura kostura, pri čemu se tipovi držanja tijela najčešće procjenjuju na temelju položaja i krivulje tijela u sagitalnoj ravnini. Jednu od



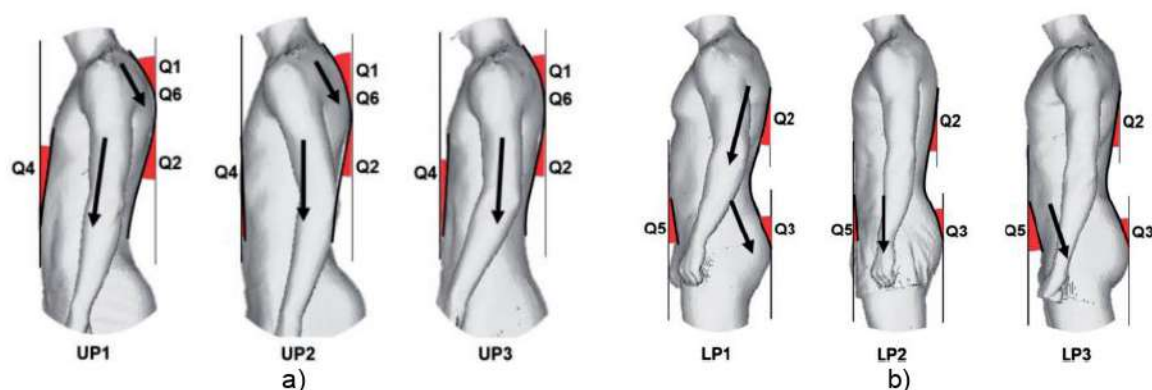
takvih metoda razvio je Human Solutions u okviru aplikacije Morphotype analyzer, koja na temelju analize skeniranih modela i oblika krivulje tijela u bočnom pogledu, omogućuje podjelu tipova držanja tijela u tri definirane skupine, Z, S i I [40].

Mahnić Naglić i Petrak razvile su metodu za klasifikaciju tipova držanja tijela na temelju skeniranih 3D modela tijela i mjera obuhvaćenih standardom ISO 20685. Pomoću mjera udaljenosti karakterističnih antropometrijskih točaka od posteriorno pozicionirane vertikalne ravnine aproksimira se oblik prednje i stražnje krivulje tijela i izračunavaju kutovi nagiba pojedinih dijelova trupa u sagitalnoj ravnini kao indikatori za vrednovanje i procjenu držanja tijela, sl. 7. Metoda razlikuje tri tipa držanja gornjeg dijela tijela i tri tipa držanja donjeg dijela tijela, pri čemu je završna klasifikacija izražena kao kombinacija gornjeg i donjeg tipa, sl. 8 [41].



**Slika 7** Indikatori za procjenu držanja tijela prema Mahnić Naglić i Petrak [41]





**Slika 8** Tipovi držanja muškog tijela prema Mahnić Naglić i Petrak [41]

Isti princip primijenjen je za klasifikaciju oblika i držanja ženskog tijela u okviru ovog doktorskog istraživanja. Pri tome su na temelju mjera širine tijela na područjima ramena, grudi, struka i bokova u antero/posteriornoj ravnini definirani kutovi zakrivljenosti bočnih krivulja kao indikatori za vrednovanje i procjenu oblika tijela [63].

Korak dalje u klasifikaciji tipova tijela je otišao Masuda, koji predlaže metodu temeljenu na oblicima zakrivljenosti dijelova trodimenzionalne površine tijela. Pri tome su kao indikatori definirana četiri oblika zakrivljenosti: eliptični, hiperbolični, konkavni i konveksni oblik. Rasponi vrijednosti parametara pojedinog indikatora za ukupno 14 različitih kombinacija oblika zakrivljenosti koje određuju pripadnost pojedinom tipu, definirani su na temelju rezultata opsežne antropometrijske studije na uzorku od 1.144 muških ispitanika [64].

### 2.2.3. 3D skeniranje ljudskog tijela

Tehnologija 3D skeniranja omogućuje snimanje oblika ljudskog tijela i rekonstrukciju trodimenzionalne površine u digitalnom obliku pri čemu za snimanje najčešće koriste lasersko ili strukturirano svjetlo i kamere. Skenirani modeli tijela koriste se za beskontaktno računalno utvrđivanje tjelesnih mjera. Primjenom 3D skenera tijela proveden je veći broj antropometrijskih studija sa svrhom razvoja nacionalnih sustava odjevnih veličina temeljenih na serijskom mjerenju populacije određene zemlje [34,65-67]. Jednu od opsežnijih i zanimljivijih antropometrijskih studija primjenom 3D skenera, proveli su istraživači s Instituta za biomehaniku u Valenciji. Na uzorku od 800 djece analizirali su tjelesne mjere u odnosu na dob i stas te su na temelju utvrđenih rezultata razvili aplikaciju Kidsize koja iz frontalnih i sagitalnih fotografija tijela određuje odjevnju veličinu djeteta [67,68].

Osim utvrđivanja mjera na tijelu, primjena 3D skenera omogućuje vizualizaciju oblika i procjenu držanja tijela, što je vrlo značajno za konstrukciju odjeće te se skenirani modeli tijela mogu koristiti u CAD programskim paketima za 3D simulaciju i razvoj računalnih prototipova odjevnih predmeta. U tom smislu, dio istraživanja usmjeren je na razvoj automatskih metoda za konstrukciju i prilagodbu odjeće prema individualnim tjelesnim mjerama na temelju podataka utvrđenih 3D skeniranjem ili metoda 3D konstrukcije direktno na računalnim skeniranim modelima tijela [69-73]. Računalni programi i protokoli mjerenja koji se primjenjuju na skeniranim 3D modelima omogućuju automatiziran postupak mjerenja samo u statičkom, stojećem položaju, a kompleksnije analize proporcija, oblika i držanja tijela izvode se interaktivno, pri čemu je vrlo teško osigurati dovoljnu preciznost mjerenja, ponovljivost i usporedivost rezultata na uzorku ispitanika [74].

#### *2.2.3.1. Vrste 3D skenera tijela*

Jedan od prvih 3D skenera tijela temeljio se na principu snimanja sjene i analizi obrisa tijela, bez mogućnosti snimanja dubinskih parametara, što je s obzirom na veliku zakrivljenost ljudskog tijela bila izrazito ograničavajuća okolnost [75]. U literaturi su dostupni opsežni pregledni radovi sustava za 3D skeniranje, od početaka 90-ih godina 20.-og stoljeća do danas [39,75,76]. Danas se za skeniranje cijelog ljudskog tijela najčešće primjenjuju fotogrametrijski i laserski 3D skeneri.

Fotogrametrijski skeneri rade na principu različitih metoda za dobivanje 3D oblika iz 2D slika. Tijelo se snima s više ortogonalno postavljenih kamera, pri čemu se tijelo snima iz različitih ravnina te se iz snimljenih ortogonalnih slika mjere udaljenosti i određuju 3D koordinate točaka površine snimljenog tijela. Sve točke kojima se žele utvrditi 3D koordinate moraju biti vidljive i prepoznatljive na svim snimljenim slikama što je u slučaju snimanja ljudskog tijela dosta zahtjevno. Prepoznavanje točakana tijelu i međusobno povezivanje istih točaka na više snimljenih slika naziva se korespodencija te se različiti fotogrametrijski skeneri razlikuju upravo prema načinu korespodencije. Danas se uglavnom koristi poluautomatska metoda obrade slike ili prepoznavanja točaka pomoću projekcije strukturiranog svjetla na tijelo. Poluautomatska metoda obrade slika zasniva se na principu automatskog prepoznavanja kontrolnih točaka koje odgovaraju rubovima konture siluete tijela na temelju kojih se rekonstruira geometrija površine 3D modela [6]. Metoda generiranja 3D oblika iz 2D slika često je zastupljena u različitim aplikacijama za mobilne telefone, koje su namijenjene praćenju napretka i učinkovitosti treninga, poput aplikacije bodymapp.co [77].

Metoda strukturiranog svjetla radi na principu projekcije poznatog uzorka svjetla na tijelo pri čemu se iz zakrivljenosti pojedinog dijela projiciranog uzorka određuju 3D koordinate točaka tijela. Tijelo se snima pomoću kamera, dok se za projiciranje uzorka na tijelo najčešće koristi projektor. 3D koordinate točaka određuju se metodom triangulacije tako da koordinata  $x$  direktno odgovara  $x$  koordinati slike koju vidi kamera, visina pojedine točke odgovara  $y$  koordinati i proporcionalna je  $y$  koordinati slike koju vidi kamera, a dubina tijela odgovara koordinatama  $z$  osi za svaku točku krivulje projiciranog uzorka [6].

Kao jedan od primjera fotogrametrijskih skenera može se navesti njemački proizvođač Botspot 3D scan GmbH, sl. 9. 3D skener cijelog tijela, Botscan Neo omogućuje skeniranje 3D površine tijela s maksimalnom pogreškom do 1 mm, te istovremeno snima i teksturu tijela u visokoj rezoluciji. Kao rezultat generira se poligonalni 3D model tijela s teksturom u boji, na kojem se primjenom pratećeg programa i algoritma za automatsko mjerenje utvrđuju antropometrijske karakteristike tijela ili se obrađeni skenirani modeli mogu izvesti u 3D formatu i koristiti kao avatari u filmskoj i industriji računalnih igara, u CAD sustavima za 3D simulaciju odjeće ili kao predlošci za 3D printanje [78].



**Slika 9** 3D skener tijela Botscan Neo tvrtke Botspot [78]

Princip rada laserskih 3D skenera temelji se na projekciji laserskog svjetla na tijelo i snimanju odbijene zrake kamerama, pri čemu se mjere horizontalni i vertikalni kut te udaljenost do pojedine točke na površini modela koji se skenira. 3D koordinate točaka površine snimanog tijela određuju se metodom triangulacije, pri čemu  $x$  i  $y$  koordinata najčešće određuju ravninu na kojoj objekt stoji, a  $z$  koordinata je usmjerena okomito na ravninu  $(x,y)$  u smjeru visine objekta. Kao rezultat laserskog 3D skeniranja tijela dobiva se vrlo gust 3D oblak točaka koji



opisuje površinu snimanog tijela. Povezivanjem točaka u prostoru kreira se poligonalni model velike gustoće mreže koji je za većinu primjena potrebno optimizirati, odnosno reducirati broj i/ili veličinu poligona. Najveći nedostatak laserskog 3D skeniranja su zasjenjena područja koja se ne uspiju snimiti, bilo da se radi o udubinama i dijelovima tijela do kojih lasersko svjetlo ne može doprijeti ili je uzrok disperzija laserske zrake na određenim područjima koja onemogućavaju refleksiju, poput crne boje ili reflektivnih, sjajnih površina [39,79,80].

### **Laserski skener VITUS Smart, Vitronic & Human solutions GmbH**

3D body scanner VITUS Smart, razvijen u suradnji tvrtki Vitronic i Human Solutions GmbH (od 2024. god. Humanetics GmbH), omogućuje skeniranje u području 1200 x 800 mm i 2100 mm visine primjenom sustava od 8 CCD kamera. Svaka od kamera snima segment tijela te procesira snimljene podatke u računalu pri čemu se pojedinačni segmenti spajaju u jednu 3D skupinu točaka koja opisuje oblik tijela. VITUS Smart 3D skener koristi triangulacijske senzore usmjerene prema tijelu iz različitih smjerova (360°) za skeniranje ljudskog tijela u jednom prolazu. Proces skeniranja je brz i traje otprilike 10 s, nakon čega se procesiranjem podataka u 40-ak sekundi izdvoji od 500 000 do 600 000 prostornih koordinata skeniranog tijela. Oblak 3D točaka koji opisuje površinu tijela raspoređen je u paralelne, vodoravno položene ravnine, uz rezoluciju točaka koja iznosi oko 1 mm u vodoravnoj i oko 2 mm u okomitoj ravnini [80].

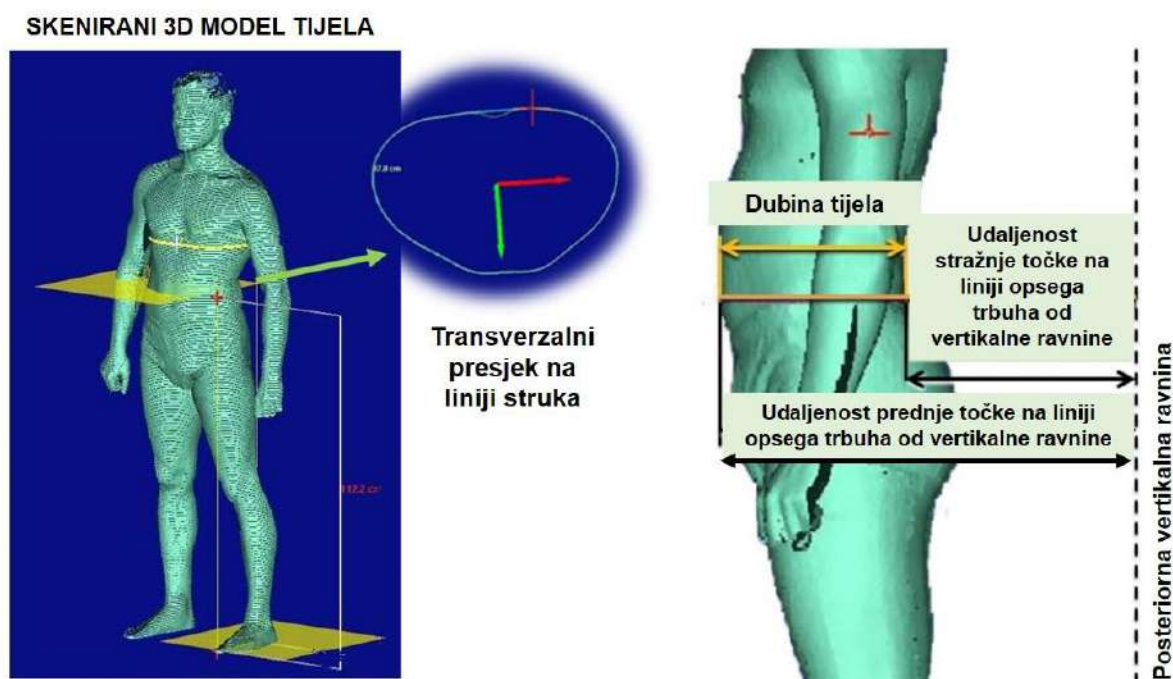
#### *2.2.3.2. Računalno utvrđivanje tjelesnih mjera i obrada skeniranih modela*

Suvremeni 3D skeneri imaju svoj prateći računalni program koji omogućuje vizualizaciju snimljenog tijela i obradu 3D oblaka točaka u smislu utvrđivanja tjelesnih mjera, kreiranja poligonalnog modela, optimiziranja gustoće mreže poligona, zatvaranja zasjenjenih površina snimljenog modela i slično. Primarna primjena 3D skenera tijela u području odjevnog tehnologije je utvrđivanje tjelesnih mjera za konstrukciju odjeće. Postupak skeniranja definiran je međunarodnom normom ISO 20685 koja je razvijena kako bi osigurala usporedivost tjelesnih mjera koje određuju norme ISO 7250 (1996. – Osnovne mjere ljudskog tijela za tehnološki dizajn) i ISO 8559 (1989. – Konstrukcija odjeće i antropometrijska istraživanja - tjelesne dimenzije), a koje su utvrđene primjenom različitih 3D skenera tijela [32,33,79]. Norma propisuje položaje tijela za utvrđivanje tjelesnih mjera te dodatne elemente poput vrste i boje odjeće te načina vezanja kose, kako bi se izbjegla neželjena disperzija laserske zrake prilikom snimanja [79].

Beskontaktno računalno utvrđivanje tjelesnih mjera na 3D oblaku točaka, zasniva se na primjeni algoritma za automatsko računalno pozicioniranje karakterističnih antropometrijskih

točaka na 3D oblak točaka koji opisuje skenirano tijelo i mjerenju linearnih udaljenosti između mjernih točaka te opsega pojedinih dijelova tijela. Bez obzira na postojeću standardizaciju načina mjerenja tijela primjenom 3D skeniranja, prateći programi različitih sustava za skeniranje primjenjuju različite algoritme, kod kojih se broj mjera i pozicije utvrđivanja mjera mogu znatno razlikovati [74].

Osim mjera utvrđenih postupkom automatskog mjerenja sve dodatne eventualno potrebne mjere mogu se utvrditi interaktivnim mjerenjem. Interaktivnom računalnom obradom skeniranog modela tijela, moguće je pozicionirati dodatne antropometrijske mjerne točke te tako utvrditi tjelesne mjere potrebne za pojedino područje primjene. Mjere poput dubine tijela na karakterističnim opsezima mogu se izračunati iz razlike udaljenosti odgovarajućih točaka ciljanog opsega od zadane vertikalne osi, sl. 10 [74,81].



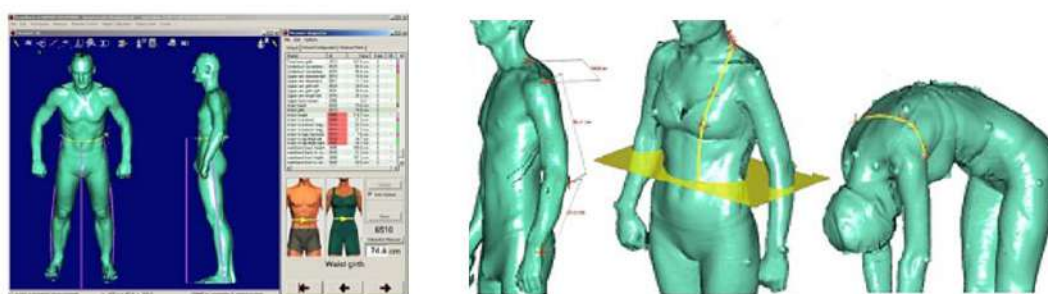
**Slika 10** Interaktivno utvrđivanje mjera na skeniranom modelu tijela u programu Anthroscan [74]

### Program Anthroscan, Humanetics GmbH

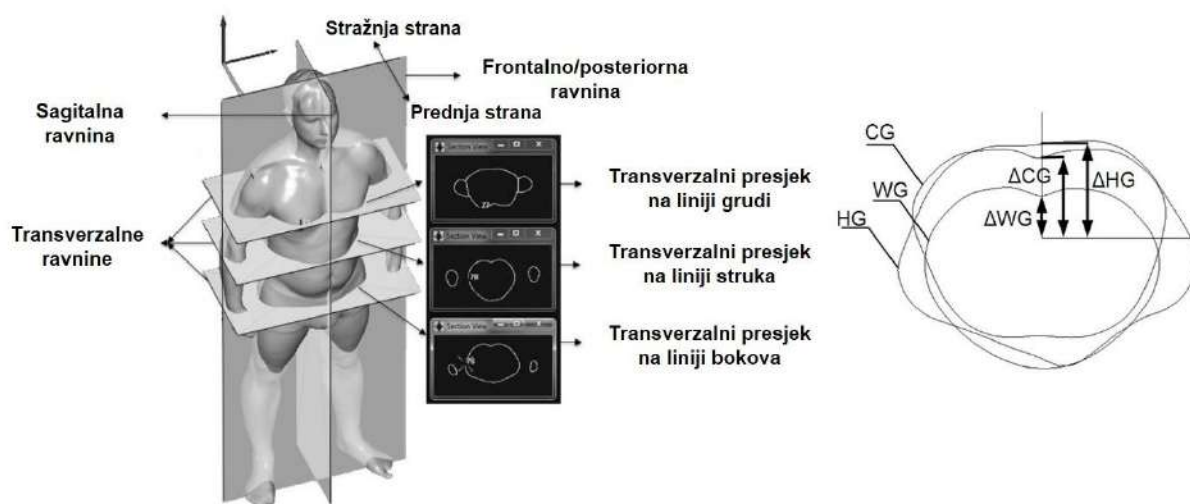
Jedan od najčešće korištenih programa za obradu i mjerenje skeniranih modela je program Anthroscan tvrtke Humanetics GmbH. Program nudi široki spektar mogućnosti, od automatskog utvrđivanja tjelesnih mjera u uspravnom stojećem položaju prema ISO 20685 standardu [79], interaktivnog mjerenja primjenom različitih alata, obrade površine modela u smislu optimizacije gustoće oblaka točaka i/ili zatvaranja površine modela, do kompleksnijih

analiza biomehaničkih parametara poput volumena pojedinih dijelova tijela, segmentiranja tijela na temelju karakterističnih antropometrijskih točaka te kreiranja kinematičkog modela kostura unutar skenirane površine [81,82].

Algoritam za automatsko mjerenje skeniranih modela u uspravnom položaju obuhvaća ukupno 154 mjere na tijelu, među kojima se veliki dio mjera utvrđuje neovisno i pojedinačno za lijevu i desnu stranu, poput duljine ramena te duljina i opsega na gornjim i donjim ekstremitetima, što omogućava detaljan uvid u parametre simetrije tijela. Rezultati automatskog računalnog utvrđivanja mjera na tijelu generiraju se po završetku mjerenja u tablici, pri čemu je za svaku utvrđenu mjeru dan grafički prikaz pozicije mjerenja na tijelu te je omogućena interaktivna korekcija pozicija mjerenja pojedine mjere. Široki spektar alata za interaktivno mjerenje omogućava definiranje pozicija antropometrijskih točaka i utvrđivanje linijskih ili krivuljnih dimenzija bilo gdje na površini skeniranog tijela, sl. 11 [81]. Poprečnim presijecanjem tijela s anatomskim ravninama mogu se analizirati opsezi na različitim pozicijama što daje uvid u morfološke parametre oblika tijela, sl. 12 [36,81].

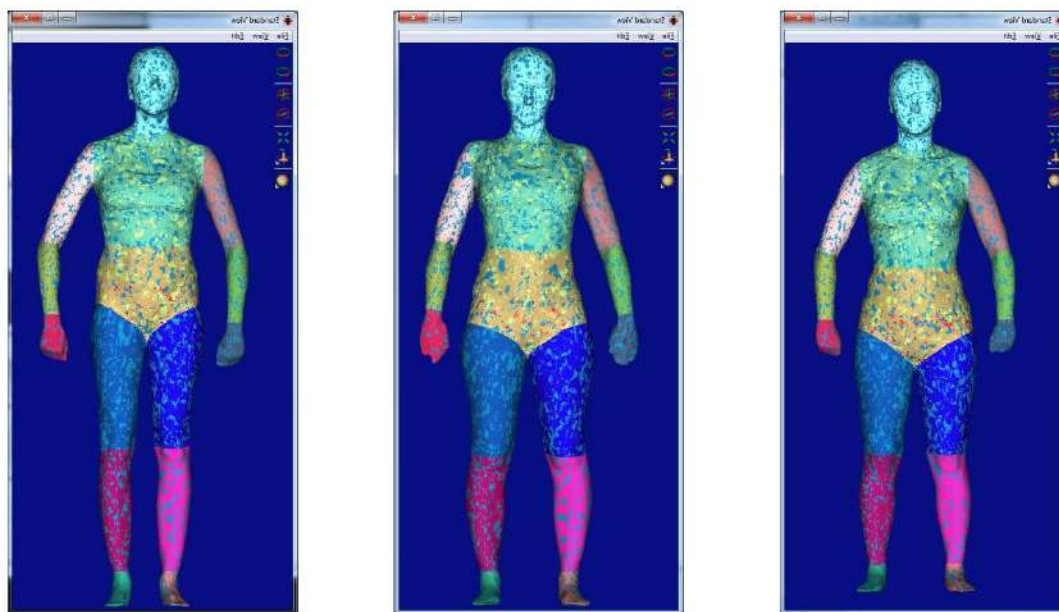


**Slika 11** Računalno mjerenje skeniranih modela tijela u programu Anthroscan [81]



**Slika 12** Analiza karakterističnih tjelesnih opsega [36]





**Slika 13** Segmentacija modela tijela u programu Anthroscan [82]

Alati za analizu biomehaničkih parametara omogućuju automatsku segmentaciju skeniranog modela tijela preko karakterističnih antropometrijskih točaka, pri čemu je omogućena kontrola i eventualna dodatna korekcija pozicija točaka i razdjelnih krivulja u procesu segmentacije. Pojedini segmenti mogu se analizirati s aspekta dimenzija površine ili volumnih udjela u ukupnom volumenu tijela [82]. Algoritam za kreiranje unutarnjeg kinematičkog kostura, temelji se na segmentaciji modela i utvrđivanju koordinata karakterističnih točaka na razdjelnim krivuljama, pomoću kojih se izračunavaju koordinate točaka pozicija korespondentnih zglobova, koje određuju dimenzije i položaj kinematičkog unutarnjeg modela, sl. 13 [81]. Podaci o koordinatama točaka koje definiraju pozicije zglobova kinematičkog modela ciljanog skeniranog tijela uvelike mogu olakšati proces razvoja individualnih računalnih modela tijela, tzv. avatara i ubrzati proces animacije.

#### **2.2.4. Primjena 3D skeniranja tijela u dinamičkoj antropometriji**

Metodologija utvrđivanja tjelesnih mjera u dinamičkoj antropometriji još uvijek nije jasno definirana, niti s aspekta tjelesnih položaja specifičnih za pojedinu aktivnost, niti s aspekta definiranja karakterističnih mjera i metoda mjerenja tijela. Utvrđivanje tjelesnih mjera na tijelu u različitim položajima primjenom konvencionalnih metoda mjerenja mjernom vrpcom i antropometrom, izrazito je težak i dugotrajan proces, kod kojeg rezultati uvelike ovise o stručnosti i uvježbanosti osobe koja provodi mjerenje. Također postoji određena problematika s aspekta održavanja tijela u ciljanom položaju tijekom mjerenja, s obzirom da mjerenje konvencionalnom metodom traje određeni vremenski period, u kojem ispitanik mora stajati



mimo i bez dodatnih kretnji i pomaka odražavati zadani položaj, što nije nimalo jednostavno, posebno kod zahtjevnijih položaja tijela poput čučnja. Stoga se u literaturi može pronaći vrlo mali broj istraživanja, koja za utvrđivanje tjelesnih mjera u različitim položajima koriste konvencionalnu metodu mjerenja. Jednu od značajnijih i opsežnijih studija konvencionalnom metodom mjerenja proveli su Avandanei i suradnici. Studija je obuhvaćala uzorak od 400 ispitanika na kojima su u četiri specifična radna položaja izmjerene mjere tijela karakteristične za konstrukciju odjeće. Na temelju utvrđenih rezultata, odnosno razlika i odnosa vrijednosti mjera između standardnog stojećeg i specifičnih položaja tijela, koje su autori definirali kao dinamički efekt, definirani su iznosi komocije za konstrukciju radnih kombinezona [83].

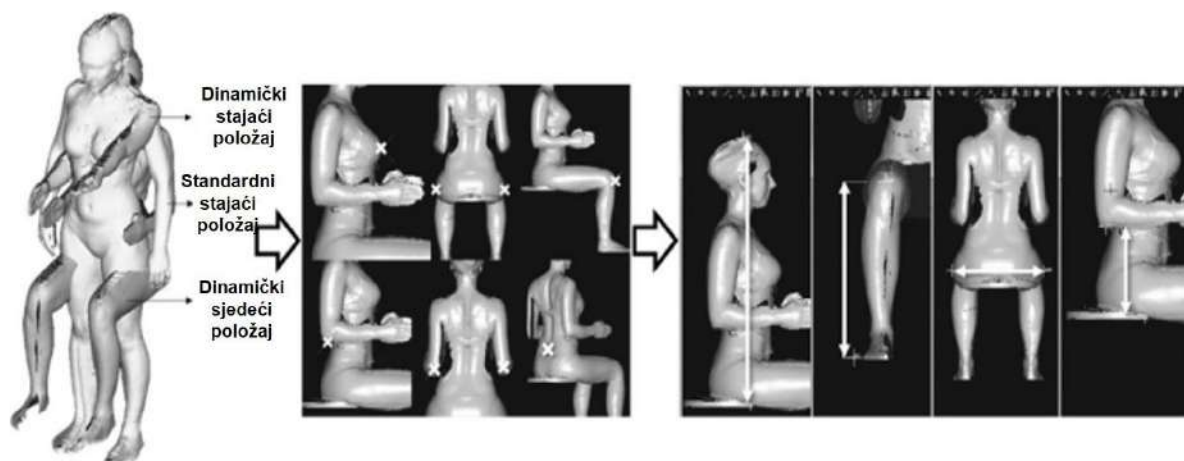
U području dinamičke antropometrije, 3D skeneri tijela koriste se za mjerenje tijela u različitim položajima, specifičnim za pojedinu aktivnost, pri čemu se utvrđuju razlike u tjelesnim mjerama između standardnog uspravnog položaja i različitih specifičnih položaja tijela [84]. Položaji tijela koji se u području dinamičke antropometrije koriste za 3D skeniranje, s aspekta biomehanike lokomocije predstavljaju karakteristične položaje tijela koji su dio kinematičkog lanca pojedinog pokreta opisanog po fazama promjene položaja pojedinog segmenta tijela. Postupak mjerenja tijela u različitim položajima za sada se provodi isključivo interaktivno, pozicioniranjem mjernih točaka na skenirani model i mjerenjem udaljenosti ili utvrđivanjem opsega dobivenih poprečnim presijecanjem tijela ravninama kroz zadane točke. Kako bi se omogućilo precizno utvrđivanje mjera, u procesu skeniranja najčešće se koriste markeri pozicionirani na tijelo ispitanika na karakteristične antropometrijske točke, sl. 14 [3,4,50].



**Slika 14** Pozicioniranje markera na tijelo ispitanika prema različitim autorima: a) Mahnić Naglić i Petrak [3], b) Morlock i suradnici [4]

Do sada nisu učinjeni značajniji pomaci u standardizaciji metoda mjerenja i razvoju algoritama za automatski postupak mjerenja tijela u različitim položajima [49,85]. Petrak i Mahnić Naglić

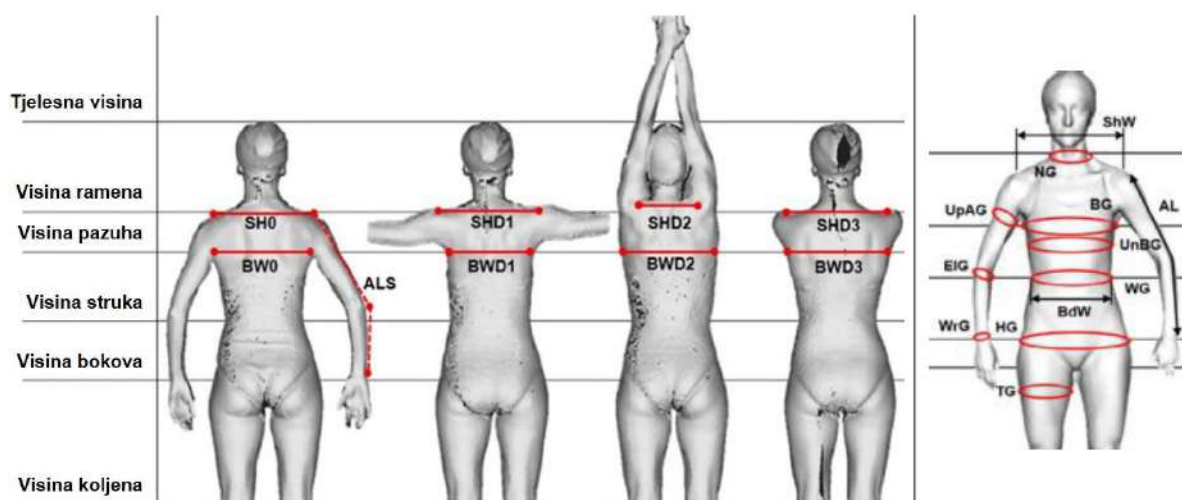
su u okviru programa Anthroscan razvile poluautomatski protokol za mjerenje skeniranih 3D modela tijela u dva različita položaja, pri čemu su za analizu ukupno definirane 33 karakteristične tjelesne mjere, sl. 15 [85].



**Slika 15** Protokol za utvrđivanje mjera u sjedećem položaju tijela [85]

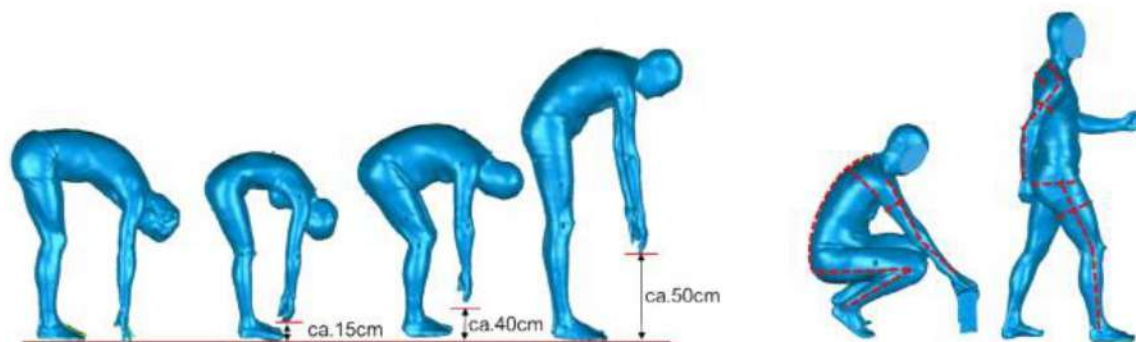
Istraživanja u dinamičkoj antropometriji najčešće se primjenjuju u razvoju funkcionalnih modela odjevnih predmeta u kontekstu definiranja parametara za prilagodbu krojeva u konstrukciji odjeće [83,86-88]. Tu se najčešće radi o razvoju specijalnih modela zaštitne i sportske odjeće te se ovisno o namjeni odjevnog predmeta provode studije slučaja na ciljanom ispitaniku ili manjim uzorcima specifičnih grupa, na kojima se analiziraju pokreti i deformacije tijela u položajima specifičnim za obavljanje ciljane aktivnosti. U tom smislu, broj položaja koji se analizira, kao i karakteristične mjere po pojedinom položaju te način utvrđivanja mjera razlikuju se u različitim istraživanjima [2-4]. Choi i Ashdown su na uzorku ženskih ispitanica analizirali promjene dimenzija opsega na donjem dijelu tijela u tri standardna položaja te su utvrđene rezultate primijenili za konstrukciju ženskih hlača [89,90]. Xiao i Ashdown su također analizirali promjene na donjem dijelu tijela, ali na većem rasponu pokreta i s puno većim setom karakterističnih mjera za analizu promjena dijelova površine na donjim ekstremitetima [91]. Bogović i suradnici su u sklopu razvoja sportskog kombinezona za pilote, na uzorku od pet ispitanika analizirali set od 30 karakterističnih mjera i razlike u dimenzijama za tri tjelesna položaja, predručenje, pretklon i sjedeći položaj. Osim duljinskih mjera, analizirali su i promjene oblika karakterističnih opsega [50]. Petrak i suradnici su u sklopu razvoja ronilačkog odijela analizirali dimenzijske promjene na gornjem dijelu tijela s naglaskom na rameni pojas i gornji dio leđa, u položajima specifičnim za ronjenje poput razručenja, nadručenja i predručenja, sl. 16 [8].





**Slika 16** Analiza promjena tjelesnih mjera u tri dinamička položaja u sklopu istraživanja i razvoja modela ronilačkog odijela [8]

Značajan pomak u primjeni rezultata dinamičkih mjerenje tijela učinili su istraživači s Hohenstein instituta u Njemačkoj. Morlock i Klepster su u okviru svojih istraživanja uveli terminologiju funkcionalnih mjera, referirajući se upravo na mjere tijela u specifičnim položajima utvrđene primjenom 3D skenera. Proveli su prilično opsežnu studiju promjena tjelesnih mjera u različitim položajima, specifičnim za pojedinu tjelesnu aktivnost, na uzorku od 93 ispitanika te su utvrđene rezultate i razlike u karakterističnim mjerama analizirali s aspekta odjevnih veličina i oblika tijela definiranih njemačkim standardom SizeGERMAN. Utvrđene su značajne promjene tjelesnih dimenzija u svim analiziranim položajima. Posebno se mogu istaknuti promjene dimenzija na području leđa na tijelu u pretklonu, sl. 17, gdje je utvrđeno povećanje mjere stražnje duljine leđa za do 21,5% te mjere dubine bokova za do 39,7%, što je s obzirom na relativno malu početnu vrijednost mjere dubine bokova u uspravnom položaju značajno povećanje. Povezivanjem dimenzijskih promjena tijela u pokretu s postojećim standardom, razvijen je sustav veličina koji u obzir uzima i funkcionalne mjere tijela u specifičnim položajima, čime je osigurana primjenjivost rezultata istraživanja u praksi [4,35,92].



**Slika 17** Karakteristični položaji tijela za analizu funkcionalnih mjera prema Morlock i Klepster [92]

Iz prikazanih istraživanja, vidljiva je različitost u pristupu istraživanju dimenzijskih promjena na tijelu u različitim položajima, ovisno o primjeni rezultata. Iako su određeni specifični položaji tijela, poput sjedećeg položaja obuhvaćeni standardom [79], a neki se učestalo ponavljaju u različitim istraživanjima, poput iskoraka, čučnja, te maksimalnih dosega gornjih ekstremiteta, setovi karakterističnih mjera za analizu u pojedinom položaju kao i načini utvrđivanja vrijednosti pojedine mjere uglavnom se razlikuju ovisno o ciljanoj primjeni.

Skeniranjem tijela u specifičnim položajima ustvari se ne dobiva u potpunosti realan prikaz tijela u dinamičkim uvjetima. S obzirom da tijelo za vrijeme skeniranja mora stajati mirno, aktivnost lokomotornog sustava je usmjerena za održavanje ravnoteže tijela i zadržavanje položaja, a ne na izvođenje pokreta prilikom čega, s obzirom na različitu aktivnost mišića, dolazi i do različitih tjelesnih deformacija [93]. U tom smislu, intenzivnom razvoju područja dinamičke antropometrije u zadnjih desetak godina doprinio je razvoj brzih stereofotografskih sustava 3D skeniranja, koji omogućavaju snimanje serije slika tijela u pokretu u određenom vremenu, za što je u literaturi uveden termin 4D skeniranje [45,93-97].

#### **2.2.5. 4D skeniranje ljudskog tijela**

Tehnologija 4D skeniranja omogućuje sveobuhvatna istraživanja u području dinamičke antropometrije i analizu dinamike kretanja i promjena na tijelu u cjelovitom pokretu. Sustavi za 4D skeniranje uglavnom se temelje na snimanju pomoću tehnologije strukturiranog svjetla i senzora dubine, pri čemu se po završetku snimanja, najčešće metodom triangulacije i/ili tehnikom svjetlosnih presjeka, generira kontinuirana površinska 3D mreža skeniranog tijela u pokretu, na kojoj je moguće provesti analizu i mjerenje tjelesnih dimenzija u bilo kojoj fazi kretanja. Tako utvrđene mjere, prema Klepster i suradnicima, nazivaju se dinamičke tjelesne mjere [45,93]. Klepster i suradnici su za analizu dinamičkih mjera tijela po prvi puta primijenili fotogrametrijsku tehnologiju i 3D skener „Little Alice“ tvrtke 3Dcopsystems, koji pomoću sustava od 38 kamera omogućava snimanje brzinom od 3 sličice u sekundi. Rezultati su pokazali odgovarajuću točnost skeniranja za analizu promjene tjelesnih mjera i geometrije površine dijelova tijela u pokretu i primjenu u projektiranju odjeće. Metoda je pokazala ograničenja u smislu duljine izvođenja pokreta te je utvrđeno da se pokret mora izvesti unutar tri sekunde, jer više od sedam slika dovodi do preopterećenja sustava kod rekonstrukcije modela [93].

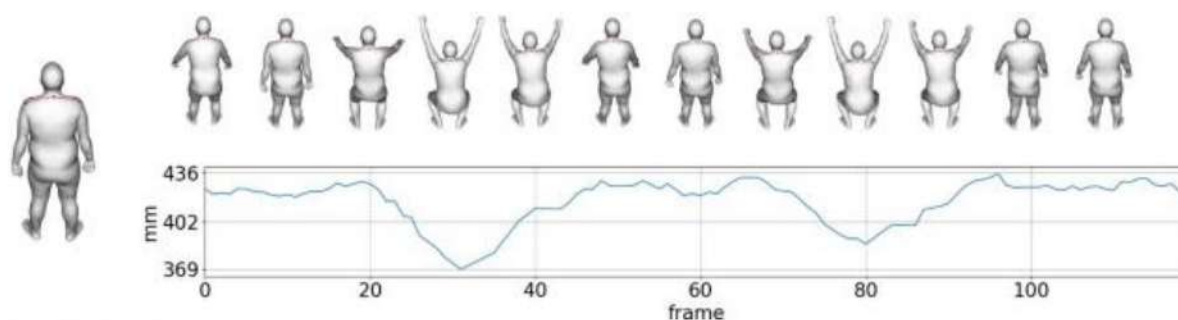
Sustav 3dMD razvijen na Institutu za inteligentne sustave Max Planck, navodi se u literaturi kao prvi 4D skener tijela. Sustav koristi strukturirano svjetlo točkastog uzorka te 22 stereo kamere i 22 kamere u boji, koje omogućuju snimanje pokreta brzinom od 60 slika u sekundi

s velikom preciznošću. Broj sličica u sekundi određuje kvalitetu snimljenog pokreta, a time i precizniju analizu tijela [94]. S obzirom na vrlo visoku cijenu ovakvih sustava primjena je za sada ograničena isključivo na istraživačka područja. Najveći broj istraživanja primjenom 4D skenera proveden je u području medicine i kineziologije.

Na Institutu za biomehaniku u Valenciji razvijen je 4D skener MOVE4D koji za snimanje koristi tehnologiju infracrvenih kamera. Skener je građen od 16 modula s po dvije infracrvene kamere i dodatnom RGB kamerom za snimanje boje i teksture tijela, raspoređenih u dva reda oko aktivnog područja za skeniranje volumena približno  $16 \text{ m}^3$ . Omogućuje brzinu snimanja do 178 sličica u sekundi s točnošću do 1 mm. Prateći program omogućuje automatsku prilagodbu univerzalnog modela, kao predložka skeniranom modelu u svakoj sličici snimljene dinamike pokreta, pri čime se generira individualni animirani avatar poligonalne površine visoke rezolucije [95-97].

Metodologija snimanja 4D skenerom tijela, kao ni setovi karakterističnih mjera i načini mjerenja na skeniranom modelu tijela u pokretu još uvijek nisu jasno definirani. Primjena tehnologije 4D skeniranja u području računalnog projektiranja odjeće je u početnoj fazi i svodi se na testiranje mogućnosti i preciznosti pojedinih sustava te iznalaženje različitih metoda za praćenje promjena tjelesnih dimenzija na tijelu u pokretu.

Uriel i suradnici su proveli studiju promjena dimenzija tijela u pokretu primjenom 4D skenera MOVE4D. Na uzorku od 10 ispitanika, analizirano je osam tjelesnih mjera u četiri različita pokreta. Pri tome je za utvrđivanje mjera tijela u pokretu razvijena metoda bazirana na parametarskim krivuljama, koje određuju poziciju pojedine mjere u početnom položaju tijela i omogućuju praćenje dimenzije kroz cijelu sekvencu izvođenja pokreta, sl. 18 [98].



**Slika 18** Praćenje mjere duljine leđa u pokretu čučnja primjenom skenera MOVE4D [98]



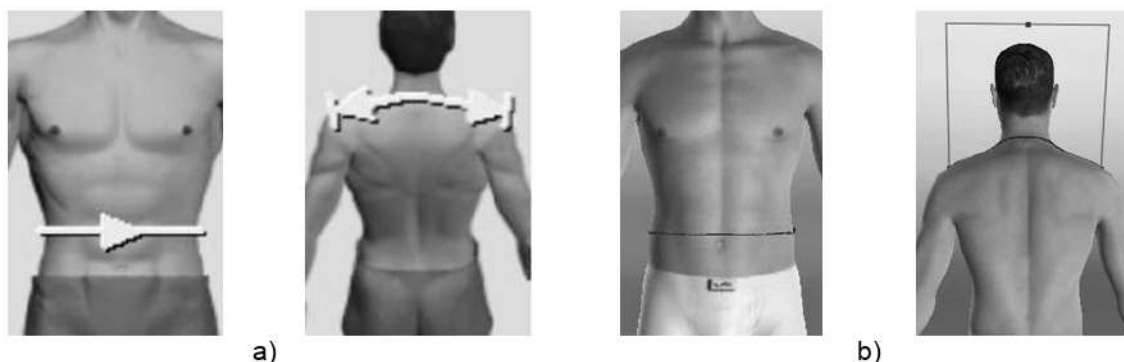
## 2.3. Računalni 3D modeli tijela

Računalni 3D modeli tijela primjenjuju se u različitim područjima istraživanja i razvoja te ovisno o namjeni moraju zadovoljiti potrebnu razinu realističnosti, kompleksnost geometrije te funkcionalnost s aspekta mogućnosti prilagodbe dimenzija i/ili animacije modela tijela. Ljudsko tijelo je izuzetno složen sustav te je postizanje realističnosti kod modeliranja i animacije računalnih modela ljudskog tijela izuzetno kompleksan zadatak. Primjenu računalnih modela tijela možemo podijeliti u tri kategorije: primjenu u kreativnim industrijama, primjenu u različitim aplikacijama i virtualnim okruženjima te primjenu u različitim simulacijama za ergonomska testiranja proizvoda ili biomedicinska istraživanja [6]. Najviše zahtjeve postavljaju kreativne industrije i biomedicinska istraživanja, i to s potpuno suprotnih gledišta ako uzmemo u obzir proces razvoja računalnih modela tijela. Filmska i industrija računalnih igara imaju visoke estetske zahtjeve u smislu foto-realističnog izgleda ili ponašanja modela, za što se koriste različite tehnike koje ne moraju nužno simulirati stvarnost, odnosno možemo reći da je bitno postići realističan izgled i rezultat bez obzira na to koje se tehnike u procesu primjenjuju. U području ergonomije ili biomedicinskih istraživanja koriste se računalni modeli tijela čiji i izgled i ponašanje moraju odgovarati zakonima fizike i simulirati stvarne situacije, te su s tog aspekta računalne metode i tehnike u procesu razvoja modela izrazito važne [6]. U odjevnom inženjerstvu, u području računalne konstrukcije i razvoja računalnih 3D modela odjeće prilagođene antropometrijskim mjerama i karakteristikama ciljanog korisnika, također su postavljeni visoki zahtjevi u smislu realističnosti dimenzija i oblika računalnih modela tijela, s obzirom da se prilikom 3D simulacije odjeće, površina simuliranog modela odjevnog predmeta deformira u odnosu na površinu 3D modela tijela [8].

### 2.3.1. Parametarski modeli tijela i metode prilagodbe

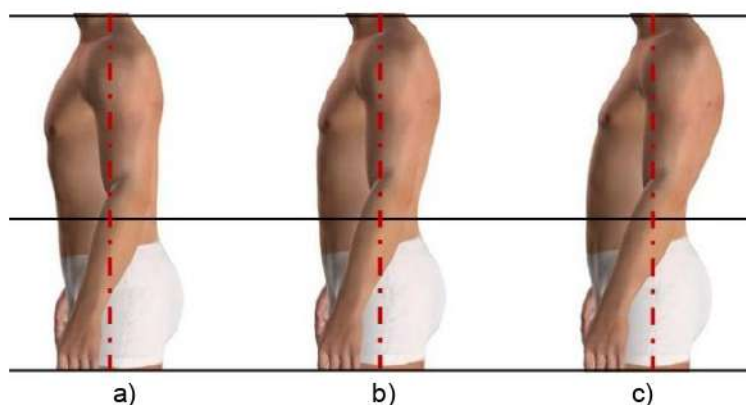
U CAD sustavima za računalno projektiranje odjeće najčešće se koriste parametarski modeli tijela koji omogućavaju prilagodbu tjelesnih dimenzija [74,99]. Način prilagodbe parametarskih modela u različitim CAD sustavima za simulaciju odjeće najčešće podrazumijeva interaktivni unos vrijednosti jedne po jedne tjelesne mjere, pri čemu posebnu pažnju treba posvetiti pozicijama pojedine mjere na tijelu, s obzirom da se u različitim CAD sustavima, odnosno na različitim parametarskim modelima, pozicije mogu značajno razlikovati od pozicija definiranih ISO i EN normama koje propisuju način određivanja mjera na tijelu za potrebe konstrukcije odjeće, sl. 19 [74,100,101].





**Slika 19** Usporedba pozicija tjelesnih mjera opsega struka i širine ramena prema: a) ISO 20685 standardu, b) parametarskom modelu u Optitex programu

Također je bitno uzeti u obzir namjenu za koju će se koristiti prilagođeni model tijela. Kod prilagodbe modela tijela za simulaciju i analizu pristalosti odjeće prema sustavu odjevnih veličina dovoljno je prilagoditi osnovne tjelesne i konstrukcijske mjere, dok se kod analize pristalosti odjeće konstruirane prema individualnim tjelesnim mjerama prilagodba izvodi na puno većem broju tjelesnih mjera. Dodatno, pojedini sustavi omogućavaju i prilagodbu parametara koji definiraju oblik i držanje tijela, poput nagiba gornjeg i donjeg dijela tijela, sl. 20, zakrivljenosti kralježnice, položaja ramena, oblika grudi i stražnjice te širine gornjeg dijela trupa u frontalnoj i sagitalnoj ravnini, koje direktno utječu na oblik i veličinu tijela [74,100]. Nedostatak je u tome što se navedene mjere ne mogu egzaktno brojčano izraziti, već se prilagođavaju vizualno unutar granica izraženosti određene tjelesne karakteristike koje definira sustav, sl. 20 [74].



**Slika 20** Interaktivna prilagodba držanja gornjeg dijela tijela u CAD sustavu Optitex: a) maksimalan nagib trupa prema naprijed, b) normalno držanje, c) maksimalan nagib trupa prema natrag [74]

Algoritmi koji omogućavaju prilagodbu i deformaciju površine tijela baziraju se na antropometrijskim istraživanjima i prosječnim tjelesnim proporcijama, stoga kod interaktivne prilagodbe unesena vrijednost pojedine tjelesne mjere direktno utječe na deformaciju svih

vezanih dijelova površine i promjenu vrijednosti korespondentnih mjera te je s tog aspekta vrlo bitan redoslijed unosa pojedinačnih mjera. U CAD sustavu Optitex, parametar širine trupa u frontalnoj i sagitalnoj ravnini omogućava prilagodbu oblika tijela koja prvenstveno utječe na oblik krivulja poprečnih presjeka tjelesnih opsega [100]. Gledano s aspekta analize oblika tijela, tijela s istim vrijednostima tjelesnih opsega mogu imati potpuno različite oblike poprečnih presjeka [102,103]. Prilagodba širine tijela na parametarskom modelu direktno utječe na veličinu tijela, pri čemu se proporcionalno mijenjaju i sve ostale tjelesne dimenzije. Mjera podprsnog opsega direktno je vezana s mjerom opsega grudi i širine leđa te je vrlo značajna u procesu prilagodbe. Mjera opsega grudi kod prilagodbe vrijednosti mijenja oblik i razvijenost grudi bez utjecaja na mjeru širine leđa i njezinog udjela u ukupnom opsegu grudi, što može značajno utjecati na rezultate prilagodbe. Za pravilnu prilagodbu potrebno je prvenstveno uzeti u obzir mjeru podprsnog opsega koja definira opseg gornjeg dijela trupa, a time i širinu leđa te se nakon prilagodbe tih vrijednosti prilagođava mjera opsega grudi.

Slične mogućnosti i način interaktivne prilagodbe parametarskog modela tijela omogućene su i u programu Clo3D, s time da u odnosu na Optitex-ov model, Clo3D omogućava prilagodbu puno manjeg broja tjelesnih mjera. Kao prednost prilagodbe može se navesti baza iz koje se prvo odabire tip tijela, između ponuđenih tipova sitne, normalne i krupne konstitucije te se nakon odabira tipa tijela koji nabolje odgovara karakteristikama tijela za koje se izvodi prilagodba, prilagođavaju i unose točne dimenzije tjelesnih mjera [101].

Petrak i Mahnić Naglić su u svojim istraživanjima mogućnosti prilagodbe parametarskih modela u CAD sustavu Optitex, predložile djelomično automatizirani postupak primjenom datoteke mjera. Metoda podrazumijeva učitavanje tekstualne .ord datoteke s popisom i vrijednostima mjera tijela navedenih u zadanom redoslijedu, prema čemu se automatski prilagođavaju korespondentne mjere parametarskog modela. S obzirom da .ord datoteka podržava unos samo brojčanih vrijednosti, na ovaj način nije moguće automatizirati prilagodbu parametara oblika i držanja pojedinih dijelova tijela. Stoga je na modelima potrebno prvo prilagoditi parametre oblika i držanja tijela, nakon čega se učitavanjem .ord datoteke prilagođavaju dimenzije [74,103].

S obzirom na poprilično kompleksan i dugotrajan proces prilagodbe parametarskih modela preko vrijednosti pojedinačnih mjera i ograničenja u smislu nedovoljno precizne prilagodbe tipovima oblika i držanja tijela, CAD sustavi za računalno projektiranje odjeće omogućuju direktnu implementaciju 3D modela tijela dobivenih skeniranjem. Pri tome je potrebno provesti dodatnu obradu skeniranih modela u smislu uklanjanja zasjenjenih područja i zatvaranja površine modela, konvertiranja modela u format zapisa koji podržava pojedini CAD sustav te

je potrebno paziti na kompatibilnost pozicioniranja lokalnog koordinatnog sustava unutar 3D objekta i mjernih jedinica koje sustav koristi [74,103-105]. U tom smislu, dio istraživanja u području računalnog projektiranja odjeće usmjeren je upravo na primjenu i usporedbu različitih modela tijela za 3D simulaciju i razvoj računalnih prototipova odjeće.

Tim istraživača sa Sveučilišta u Mariboru je u okviru razvoja računalnog prototipa modela odjela za skijaške skokove uspoređivao primjenu prilagođenog parametarskog modela i skeniranog modela tijela. Simulacija odijela na skeniranom modelu tijela pokazala je puno bolje rezultate i veću sličnost u usporedbi s realno izrađenim prototipom, u odnosu na simulaciju na prilagođenom parametarskom modelu, što se može dovesti u vezu s ograničavajućim mogućnostima prilagodbe parametarskog modela s aspekta oblika i držanja tijela [104].

U okviru istraživanja HRZZ projekta na Tekstilno-tehnološkom fakultetu provedena je studija primjene 3D flattening metode za računalnu 3D konstrukciju i razvoj prototipa modela ronilačkog odijela. Krojni dijelovi modela konstruirani su direktno na prilagođenom parametarskom modelu tijela i na skeniranom modelu tijela te su izvedene 3D simulacije i usporedba računalnih i realnih prototipova. Oba modela tijela pokazala su dobre rezultate s aspekta primjene 3D flattening metode za konstrukciju kroja te su utvrđene male i zanemarive razlike u dimenzijama površina izdvojenih 2D krojnih dijelova. U tom smislu, istaknuta je primjena prilagođenog parametarskog modela tijela, s obzirom da je cjelokupni proces kreiranja linija kontura krojnih dijelova puno lakše provesti na modelu niže rezolucije površine, u odnosu na skenirani model, koji zbog visoke rezolucije značajno opterećuje sustav i otežava provedbu. No ipak, u procesu vrednovanja razvijenog računalnog prototipa u usporedbi s realnim prototipom, primjena skeniranog modela tijela za simulaciju i procjenu pristalosti, pokazala je puno bolje i preciznije rezultate [8,105].

### 2.3.2. Računalna 3D animacija modela tijela

Animaciju (*lat. animatio = oživljavati*) najlakše možemo definirati kao brzi prikaz dvodimenzionalnih slika ili trodimenzionalnih objekata s ciljem dobivanja privida pokreta, koji nastaje zbog tromosti oka pri čemu nam utisak slike koju vidimo ostaje u mrežnici oka približno 1/25 sekunde [23]. Intenzivan razvoj animacije započinje u 19. stoljeću s razvojem filmske industrije, dok s pojavom računala animacija pronalazi svoju primjenu u širim područjima poput medicine i inženjerstva, ali najviše je zastupljena u kreativnim industrijama poput filmske industrije te industrije video igara. Vrste animacije možemo podijeliti na tradicionalnu i računalnu animaciju. Tradicionalna animacija bazira se na nizu fotografija ili crtanih sličica koje brzim prikazivanjem stvaraju iluziju pokreta, sl. 21a. Stop animacija je tradicionalna tehnika



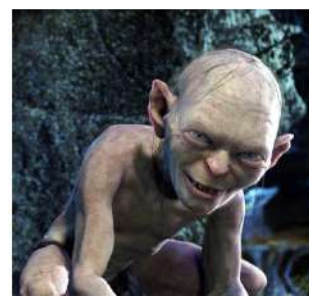
kod koje se iluzija pokreta postiže fizičkim manipuliranjem stvarnih objekata i fotografiranjem u različitim položajima pri čemu su likovi najčešće izrađeni od gline, plastelina ili nekog drugog prilagodljivog materijala ili se koriste lutke u konstruiranoj sceni, sl. 21b. Računalna animacija je digitalni nasljednik tradicionalne stop animacijske tehnike kod koje se za animaciju koriste digitalne 2D ilustracije ili 3D modeli, sl. 21c. 3D animacija je složeni proces koji zahtjeva dobro znanje i primjenu matematičkih operacija u računalnoj grafici te znanje 3D modeliranja objekata [6,23].



a)



b)



c)

**Slika 21** Vrste animacije: a) tradicionalna crtaća animacija, b) stop animacija, c) računalna 3D animacija

U području računalne grafike, animacija podrazumijeva niz metoda i tehnika kojima se objekti u sceni kreću i/ili deformiraju. Kretanje uključuje translacije i rotacije objekata, dok se deformacijom smatra modifikacija oblika objekta pomicanjem vrhova poligonalne mreže koja definira površinu objekta. Do danas je razvijen veliki broj metoda računalne 3D animacije koje primjenjuju različite računalne tehnike i matematičke modele za definiranje kretanja i deformacije objekata, od jednostavne interpolacije položaja, do složenih fizikalnih simulacija sustava objekata kod kojih se deformacije unutarnjih anatomskih slojeva aproksimiraju na površinski model [6,23].

### 2.3.2.1. Vrste animiranih modela tijela

Računalni modeli tijela za animaciju razlikuju se po svojoj kompleksnosti, ovisno o primjeni. Od prvih računalnih animiranih modela razvijenih još 70-ih godina 20.-og stoljeća, koji se baziraju na jednostavnim geometrijskim primitivama, danas se uglavnom koriste slojeviti modeli, građeni od unutarnjeg gibljivog kostura, na koji se nastavlja mišićni sloj, vanjski površinski sloj koji definira oblik tijela te kosa i ostale dodatne komponente poput odjeće [6,23].

Unutarnji gibljivi kostur predstavljen je štapičastim modelom, građeni od krutih segmenata hijerarhijski povezanih gibljivim zglobovima, čiji su pokreti definirani kao set hijerarhijski

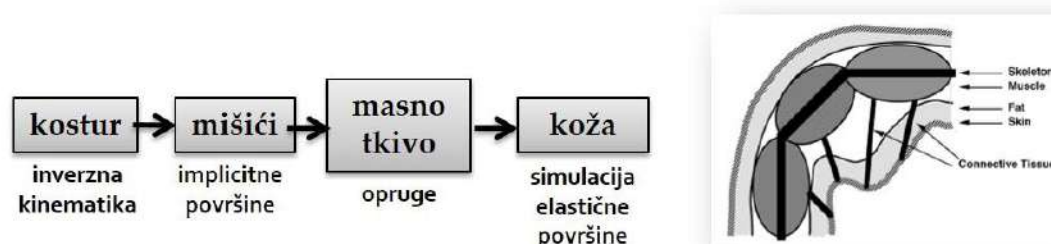
povezanih transformacija kontroliranih pozicijama zglobova. Štapićasti modeli razlikuju se po broju krutih segmenata, odnosno kostiju, spojeva između segmenata, odnosno zglobova te po stupnjevima slobode gibanja u zglobovima. Istraživački timovi Badler i Thalmanns mogu se navesti kao pioniri u području razvoja i primjene štapićastih modela tijela [106,107]. Animacija ljudskog tijela je vrlo složen proces, s obzirom na veliki broj stupnjeva slobode gibanja s više desetaka pojedinačnih parametara, odnosno kutova. Grupa međunarodnih normi MPEG-4 definira konfiguraciju modela kostura za animaciju ljudskog tijela. MPEG-4 model definira hijerarhijsku strukturu po principu roditelj/dijete sa 75 SSG, koji su gotovo svi rotacijski. Osnovni hijerarhijski čvor je zdjelica, dok su svi ostali segmenti tzv. djeca tog čvora. Jedino se osnovni čvor može globalno translirati te se njegovom translacijom transliraju i svi ostali segmenti. Rotacijom pojedinog segmenta, odnosno kosti, rotacija se prenosi na sve vezane segmente, odnosno djecu segmenta koji se rotira [6,108]. MPEG-4 model omogućava dobru animaciju anatomske kostura, no zbog svoje složenosti se u praksi rijetko koristi te ga se zamjenjuje s modelima pojednostavljene hijerarhijske strukture kakvi se mogu pronaći u primjeni u raznim komercijalnim programima za 3D animaciju kao što su Blender, Studio 3Ds Max ili Autodesk Maya [6,109-111].

Površinski modeli tijela su zapravo nadogradnja na štapićaste modele koja podrazumijeva dodavanje površinskog sloja u obliku poligonalne ili parametarske površine koja opisuje oblik tijela. Za animaciju površinskih modela tijela najčešće se koristi metoda skeletne animacije. Skeletna animacija je najraširenija metoda animacije ljudskog tijela, a bazira se na kreiranju unutarnjeg štapićastog modela koji predstavlja kostur koji omogućava kretanje i vanjskom površinskom modelu koji predstavlja površinski sloj kože tijela i čiji su pokreti i deformacija uvjetovani kretanjima unutarnjeg kostura. Unutarnji kostur kreira se metodom rigginga i predstavlja apstraktni matematički model za upravljanje tijelom, kojim se određuju razina pokretljivosti modela i mogućnosti kod same animacije, odnosno definiranja geometrije pokreta pojedinih segmenata. Povezivanje unutarnjeg kostura s površinskim modelom naziva se skinning tehnika, a podrazumijeva definiranje utjecaja pomaka unutarnjeg kostura na kretanje i deformaciju površinskog modela preko težinskih koeficijenata [23]. Pomaci kostiju deformiraju površinski model, odnosno pomiču vrhove poligona koji transformiraju površinu tijela. Svaka kost ima definiran težinski koeficijent u odnosu na svaki vrh poligona koji pomiče, a konačna pozicija pojedinog vrha je zbroj vrijednosti pomaka svih kostiju koje utječu na pomak tog vrha pomnožen s težinskim koeficijentom utjecaja pomaka odgovarajuće kosti. Kod ručne provedbe metode, povezivanje kostiju i površinskog modela vrlo je zahtjevan proces, jer se svakom vrhu poligona moraju ručno definirati težinski koeficijenti svake kosti. Najveći nedostatak skeletne animacije je što ne obuhvaća deformacije i promjene dimenzija površinskog sloja uzrokovane pokretljivošću mišića.



U stvarnim uvjetima kretanje tijela je složeni biomehanički proces interakcije kostiju, mišića, masnog i vezivnog tkiva te kože, koji rezultira deformacijom oblika površine tijela. Biomehanički modeli tijela predstavljaju višeslojne modele koji simuliraju interakciju stvarnih slojeva tkiva i mišića, što je izuzetno zahtjevno kako s aspekta modeliranja i animacije, tako i za procesnu moć i kapacitet računala. Detaljna i potpuno anatomska i biomehanički točna simulacija čitavog ljudskog tijela danas je još uvijek vrlo složen proces te su istraživanja u tom smislu uglavnom fokusirana na simulaciju pojedinog dijela tijela [6,112].

Drugi pristup višeslojnoj animaciji predstavlja primjenu različitih računalnih metoda i tehnika poput skinninga i razvoj algoritama za aproksimaciju fizikalnih parametara interakcije između slojeva tijela i preslikavanje deformacija više anatomske slojeva u jedinstveni deformabilni površinski model. To se najčešće odnosi na dodavanje sloja mišićnog i masnog tkiva u animaciju, sl. 22 [112-114]. Danas se u komercijalnoj upotrebi mogu pronaći različiti plug-inovi primjenjivi u CAD programima za 3D animaciju koji više ili manje realistično aproksimiraju deformacije mišića te se pravilnim odabirom metoda i tehnika u razvoju animiranog modela tijela može postići zadovoljavajuća razina realističnosti deformacija ovisno o namjeni modela.



**Slika 22** Preslikavanje ponašanja više anatomske slojeva tijela u jedan sloj primjenom različitih grafičkih tehnika [113]

### 2.3.2.2. Tehnike 3D animacije

Animacija tehnikom ključnih položaja ili key-frame tehnika predstavlja digitalnu verziju klasične animacije crtačem tehnikom i najjednostavnija je tehnika animacije. Bazira se na postavljanju računalnog modela tijela u ključne položaje na vremenskoj crti, pri čemu se u međukoracima izvodi interpolacija parametara i generira cjelovita animacija. Svaka sličica označava pomak objekta u određenom vremenskom razdoblju, stoga razmak između ključnih položaja definira brzinu kretanja tijela, odnosno animacije. Broj ključnih položaja na vremenskoj crti ovisi o kompleksnosti animacije [6,23]. Nedostatak metode je to što ključni položaji moraju biti relativno bliski jedan drugome, kako interpolacijom velikog broja parametara između ključnih

položaja ne bi došlo do nepravilnih ili čak potpuno nemogućih međupoložaja kao što je probijanje ruku kroz tijelo i slično. Također, s obzirom da se između ključnih položaja provodi linearna interpolacija, dolazi do neprirodnih mehaničkih pokreta [6,23].

S obzirom na složenost kretanja ljudskog tijela i poteškoće kod postizanja prirodnih pokreta, za animaciju se često koriste podaci o kretanju snimljeni primjenom MoCap sustava koji sadrže parametre prirodne dinamike pokreta i mogu se prenijeti na računalni 3D model tijela. Podatke je najčešće potrebno dodatno obraditi u nekom od programa za animaciju kako bi se prilagodili modelu koji će se animirati. MoCap podaci kod animacije generiraju sličicu na svakom frameu, što je jako puno podataka koje treba pročitati kako bi se dobila glatka animacija. Premda metoda pruža odlične vizualne rezultate, prilično je skupa i nepraktična s obzirom da je za svaku uporabu potrebno provesti snimanje sekvence pokreta. Iako postoje metode za kombiniranje, modifikaciju i ponovnu uporabu snimljenih sekvenci, obično su mogućnosti prilagodbe nedostatne i ne ostvaruju tako dobre rezultate kao ciljano snimljena sekvenca. Ovakav pristup animaciji najčešće se koristi u filmskoj industriji. [6,23,115].

### 2.3.2.3. CAD programi za 3D animaciju

CAD programi za 3D animaciju sadrže alate za cjelovita rješenja u procesu razvoja animiranih modela tijela, od 3D modeliranja, rigginga i animacije do renderinga. Princip animacije može se razlikovati kod primjene različitih programa, no svi uglavnom podržavaju skeletnu animaciju površinskih modela, pri čemu su kontrole za definiranje geometrije pokreta najčešće postavljene po principu inverzne kinematike. Dostupni su i različiti algoritmi za automatski postupak skinninga, nakon kojeg se obično rade interaktivne korekcije sa svrhom postizanja realističnije animacije. Neki od najpopularnijih komercijalnih programa za 3D animaciju su Autodesk Maya, 3DS Studio Max te Blender koji je zbog svoje dostupnosti u zadnje vrijeme postao izrazito zastupljen među korisnicima [109-111].

### **Autodesk Maya**

Program Autodesk Maya danas se smatra standardom za 3D animaciju, posebno u filmskoj i industriji računalnih igara te je zastupljen kod velikog broja korisnika. Program nudi široki spektar alata za cjelovit proces razvoja animiranih modela, od 3D modeliranja, kreiranja unutarnjeg kostura i povezivanja s površinskim modelom skinning metodom, animacije tehnikom ključnih položaja, do renderinga. Također je podržan unos različitih formata 3D podataka primjenjivih u procesu animacije, poput podataka o površinskoj mreži modela, dobivenih 3D skeniranjem ili kinematičkih parametara pokreta snimljenih MoCap sustavom



[115,116] zbog čega program nalazi svoju primjenu i u različitim inženjerskim područjima. Veliku prednost predstavlja mogućnost korištenja alata preko kreiranih programskih kodova, čime se omogućava automatizacija dijelova procesa i povezivanje s drugim sustavima, poput sustava za 3D skeniranje ili Motion Capture sustava. Najčešći programski jezici koji se koriste u programima za 3D animaciju su MEL i Python [117]. S obzirom na popularnost programa, danas se u komercijalnoj upotrebi mogu pronaći različiti plug-inovi primjenjivi u različitim dijelovima procesa 3D animacije, poput plug-inova za automatski rigging na temelju površinskog modela te različitih skinning metoda koje obuhvaćaju aproksimaciju mišićnog sloja i omogućavaju prilično realističnu deformaciju površinskog modela.

#### 2.3.2.4. Animacija skeniranih modela tijela

Animacija skeniranih modela je s obzirom na problematiku varijabilnosti oblika i pokretljivosti ljudskog tijela vrlo kompleksan proces. Većina postojećih metoda još uvijek iziskuje dosta interaktivnog ručnog rada, a tehnike animacije baziraju se na primjeni podataka o pokretima snimljenih MoCap sustavom, što uglavnom podrazumijeva snimanje iste osobe s oba sustava i uvelike ograničava dostupnost i primjenu takvih modela. Do danas je razvijen veći broj metoda za automatizaciju pojedinih segmenata u procesu animacije, kao što su metode za automatsku segmentaciju i kreiranje unutarnjeg kostura skeniranih modela ili razvoj algoritama za prilagodbu kinematičkih parametara pokreta [6,23].

Ma i suradnici su razvili metodu skeletne animacije skeniranih modela tijela primjenom MoCap tehnike koja podrazumijeva primjenu pojednostavljene površinske geometrije skeniranog modela tijela, unutar kojeg se metodom ekstrakcije elemenata automatski generira štapičasti model kostura, prilagođen za definiranje geometrije pokreta prema podacima snimljenim MoCap tehnikom. Povezivanje unutarnjeg kostura s površinskim skeniranim modelom izvedeno je tzv. metodom mapiranja točaka na linije (*eng. point-to-line mapping*), odnosno povezivanjem koordinata točaka zglobova s bridovima površinske geometrije modela. Rezultirajući animirani model ljudskog tijela omogućava glatku animaciju pokreta u realnom vremenu, zadržavajući pri tome dovoljno detaljan izgled vanjskog površinskog modela. Glavna prednost razvijene metode u odnosu na druga istraživanja je u automatskom generiranju unutarnjeg kostura na temelju skeniranog modela tijela [118].

Oliveira i suradnici su razvili potpuno automatsku metodu za animaciju skeniranog modela primjenom podataka snimljenih MoCap tehnikom. Metoda obuhvaća automatsku segmentaciju skeniranog modela tijela i kreiranje unutarnjeg kostura ekstrakcijom antropometrijski značajnih površinskih točaka na temelju kojih se određuju centri zglobova. Razvijeni algoritam koji

definira kretanje osigurava pronalazak najbližeg korespodentnog zgloba aproksimirane središnje osi, što metodu čini lako prilagodljivom različitim setovima podataka snimljenih MoCap tehnikom [119].

Danas se različiti algoritmi za automatsku segmentaciju modela tijela i kreiranje unutarnjeg štapićastog modela mogu pronaći i u sklopu pratećih računalnih programa za obradu skeniranih modela tijela, poput programa Anthroscan [81]. Aplikacija Mixamo omogućava prilično jednostavan postupak skeletne animacije skeniranog modela tijela koji se temelji na algoritmu za automatsko kreiranje kinematičkog kostura i skinning tehnici povezivanja s površinskim modelom. Za animaciju pokreta, u bazi podataka je dostupan široki raspon različitih pokreta snimljenih MoCap tehnikom što predstavlja prednost ali i ograničenje. Modeli animirani ovom metodom, pokazuju dobre rezultate i realističnu deformaciju u područjima zglobova i mogu se u odgovarajućem formatu koji podržava animaciju, primjenjivati u CAD sustavima za 3D simulaciju odjeće [120].

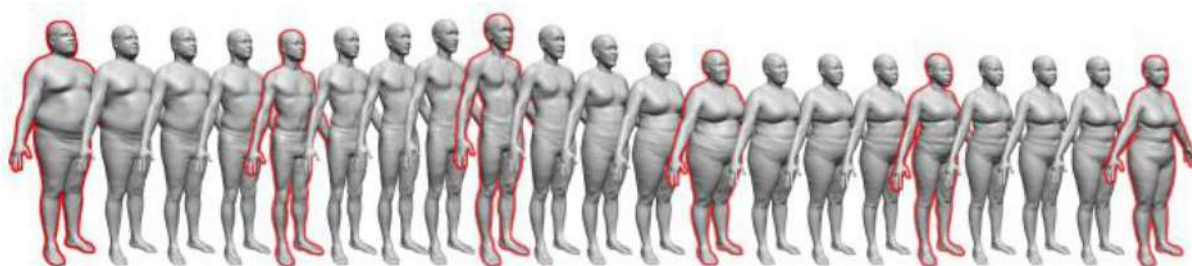
Nedostatak prikazanih metoda i modela je u tome što se baziraju na slojevitoj skeletnoj animaciji, kod koje se uvijek primjenjuje isti model deformacije mišićnog sloja. S obzirom da su deformacije površinskog sloja uzrokovane pokretljivošću mišića, kod osoba s izraženom mišićnom masom razvijaju se veće deformacije površinskog sloja, a isto tako kod povećanog udjela masnog tkiva deformacije uzrokovane pokretljivošću mišića neće biti jako izražene. U tom smislu, nedovoljno je istražen utjecaj antropometrijskih karakteristika i razvijenosti tijela na deformabilnost površine tijela u pokretu, da bi podaci bili primjenjivi za skeletnu animaciju modela. Ovaj segment će biti obuhvaćen istraživanjem u okviru doktorskog rada.

#### *2.3.2.5. Parametarski 3D modeli tijela za animaciju*

S obzirom na problematiku kreiranja individualnih animiranih avatara i nedostatke skeletne animacije skeniranih modela, dio istraživanja bavi se razvojem univerzalnih parametarskih modela za animaciju, koji omogućavaju prilagodbu dimenzija i oblika površinskog modela tijela preklapanjem sa skeniranim 3D modelom, kao i prilagodbu dimenzija unutarnjeg štapićastog modela i kinematičkih parametara za animaciju.

Allen i suradnici su razvili univerzalni poligonalni model tijela visoke rezolucije, koji se prilagođava prema skeniranom 3D modelu tijela preko malog broja markera [121]. Metoda se bazira na povezivanju stupnjeva slobode gibanja u zglobovima i korespodentnih transformacija vrhova univerzalnog poligonalnog modela, preko postavljenog nelinearnog optimizacijskog problema. Algoritam u obzir uzima tri mjere, blizinu transformiranih vrhova mreže određenom

rasponu veličina definiranom na temelju skeniranog uzorka populacije, sličnost između susjednih transformacija i poziciju markera na odgovarajućim točkama univerzalnog modela koji predstavlja predložak i skeniranog modela koji predstavlja ciljani oblik površine. Jedan od bitnih uvjeta je da su oba modela, univerzalni model i skenirani model tijela u približno istom položaju. Razvijeni model i algoritam za prilagodbu su testirani primjenom CAESAR baze podataka skeniranih 3D modela te je zadovoljavajuća prilagodba postignuta kod više od 95% testiranih modela tijela. Algoritam omogućava i prijenos, odnosno prilagodbu osnovnih parametara za animaciju modela poput dimenzija unutarnjeg kostura i težinskih koeficijenata skinninga, no ne uključuje primjenu i prilagodbu algoritma za deformaciju površine, sl. 23 [121].



**Slika 23** Prilagodba univerzalnog parametarskog modela Allen i sur. [121]

Kasap i suradnici su razvili parametarski model tijela koji u realnom vremenu generira niz modela tijela različitih veličina na temelju podataka antropometrijskih istraživanja. Osim prilagodbe deformacije površinske mreže, omogućena je i prilagodba kostura te kinematičkih parametara kretanja, kako bi se održala dosljednost između različitih slojeva tijela. Prednost metode je u tome što je prilagodba neovisna o položaju modela tijela, s obzirom da se segmentacija i deformacija odvijaju na razini zglobova kostura koji je pričvršćen na model predloška. Ovakav pristup omogućuje precizno povezivanje deformacija s unutarnjim kosturom, pri čemu se eliminiraju mogućnosti pogrešnog postavljanja zglobova nakon deformacije. Iako metoda obuhvaća širok raspon varijacija veličina tijela i preciznu prilagodbu kostura, ne uzima se u obzir problem prilagodbe kinematičkih parametara kretanja [122].

Kinematički parametri koji definiraju deformacije položaja pri kretanju određenog modela ne mogu se bez adekvatne prilagodbe prenositi i primjenivati na različitim modelima zbog razlika u dimenzijama tijela. Ako uzmemo u obzir samo dimenziju dužine nogu, tijelo s dužim nogama imati će veću dužinu koraka od tijela s kraćim nogama te ako se kretanje ne prilagodi veličini tijela, u animaciji će se javiti problem klizanja stopala. Kako bi se omogućio prijenos kinematičkih parametara pokreta s jednog na drugi model tijela, Sumner i Popović su razvili metodu prilagodbe i pravilnog skaliranja deformacija položaja tijela i prilagodbu vrijednosti



kinematičkih parametara utvrđenih MoCap sustavom, temeljenu na matričnim transformacijama, koje opisuju deformacije pojedinačnih poligona površinskog modela [123].

Parametarski animirani modeli tijela se mogu pronaći i u različitim CAD sustavima za 3D projektiranje odjeće. Modeli omogućavaju prilagodbu dimenzija i oblika preklapanjem sa skeniranim modelom i animaciju određenog seta pokreta. CAD sustav Clo3D koristi animirani parametarski model tijela, koji se prilagođava obliku i dimenzijama skeniranog modela preklapanjem površinske 3D geometrije, uz preduvjet da se modeli nalaze u istom početnom položaju. Animacija modela tijela temelji se na metodi skeletne animacije, a glavni nedostatak je gubitak volumena na pojedinim dijelovima tijela, zbog puno niže rezolucije poligonalne mreže parametarskog modela, u odnosu na skenirani model, što kod animacije skinning tehnikom uzrokuje nerealistične deformacije kod savijanja dijelova površine na područjima lakta, koljena ili kukova [122]. Klepster i suradnici proveli su usporedbenu studiju dostupnih animiranih modela tijela u tri komercijalna CAD sustava za računalno projektiranje odjeće, s rezultatima analize stvarnih pokreta tijela primjenom 4D skenera te su utvrdili značajne razlike i ograničenja modela u komercijalnim CAD sustavima, vezane za deformabilnost površine različitih tipova tijela [124].

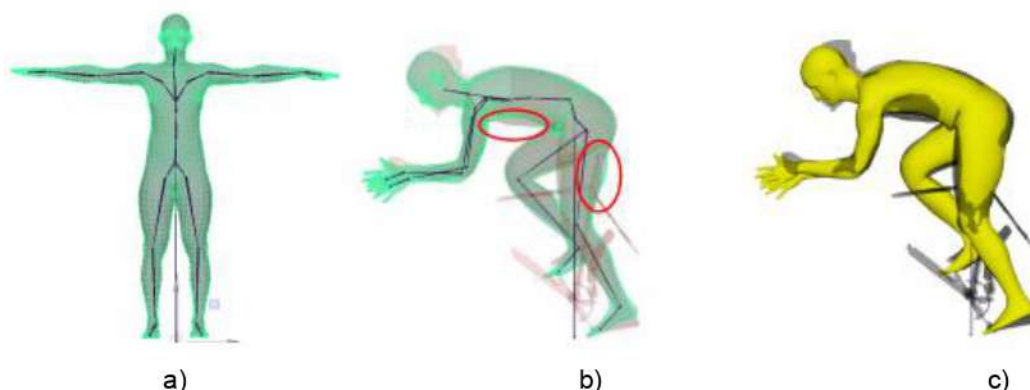
Najveći fokus u području razvoja je na primjeni raznih algoritama strojnog učenja, koji za treniranje modela koriste veliku bazu podataka skeniranih modela tijela u različitim položajima i statističke alate poput PCA analize [125,126]. SCAPE model (*eng. Shape Completion and Animation of People*) temelji se na objedinjavanju varijacija oblika i položaja tijela i kombinaciji dva modela deformacija preko rješavanja nelinearnog optimizacijskog problema. Deformacije položaja određene su linearnom regresijom iz kutova susjednih zglobova, utvrđenih na temelju većeg seta 3D skeniranih modela istog ispitanika u različitim položajima. Model deformacija površinske mreže temelji se na PCA analizi parametara dimenzija i oblika tijela u različitim položajima. Kombinacijom dva neovisna modela deformacija, SCAPE model omogućava kreiranje individualnog animiranog avatara, odnosno prilagodbu prema skeniranom 3D modelu tijela u uspravnom položaju i animaciju primjenom MoCap podataka, pri kojoj se ostvaruje realistična deformacija površine koja uključuje aproksimaciju mišićnog sloja [125].

Istraživači s Instituta Max Planck razvili su parametarski model tijela koji omogućava animaciju i daje realistične deformacije površine tijela u velikom broju položaja, a temelji se na statističkim podacima o varijacijama oblika jako velikog broja skeniranih ispitanika i algoritmu strojnog učenja, takozvani SMPL model (*eng. Skinned Multi-Person Linear Model*). Parametri modela uče iz podataka koji uključuju predložak položaja tijela u opuštenom stanju, povezivanje težinskih koeficijenata, povezivanje oblika ovisno o položaju i regresor između vrhova poligona

i pozicije zglobova. Povezivanje oblika ovisno o položaju definirano je kao linearna funkcija elemenata matrice rotacije položaja. Ova jednostavna formulacija omogućuje treniranje cijelog modela iz relativno velikog broja usklađenih 3D mreža različitih ljudi u različitim pozama. SMPL model proširen je i za realno modeliranje dinamičkih deformacija mekog tkiva, što je izrazito velika prednost u odnosu na druge dostupne modele. SMPL model podržava programski jezik Python i kompatibilan je s postojećim sustavima i programima za 3D animaciju poput Autodesk Maya i Unitya, u kojima se može provesti prilagodba i animirati model [126,127].

Model DYNA, također s Instituta Max Planck, je model koji omogućava dinamičku simulaciju mekog tkiva i njegov utjecaj na deformabilnost površine. Model je treniran na temelju baze podataka od preko 40 000 skenova na 10 ispitanika u različitim pokretima, snimljenih 4D skenerom. Model povezuje linearne koeficijente deformacije površine s promjenom položaja tijela, na temelju regresijskih modela predviđanja deformacija mekog tkiva, ovisno o prethodnim deformacijama te brzini i ubrzanju tijela u pokretu [128].

Zhang i Krzywinski su istražili mogućnosti primjene i prilagodbe SMPL modela u programu Autodesk Maya. Primjenom alata programa i tehnikom modifikacije poligonalne površine prema predlošku, izvedena je prilagodba SMPL modela prema obliku i dimenzijama skeniranog modela. Tehnika modifikacije poligonalne površine prema predlošku podrazumijeva preklapanje površina iste 3D geometrije u istom položaju te je u tom smislu za prilagodbu potrebno dodatno obraditi i prilagoditi skenirani model. Komercijalni plug-in dodatno je korišten za prilagodbu dimenzija i koordinata početnog položaja zglobova unutarnjeg kostura SMPL modela prema novim, prilagođenim dimenzijama. Tako prilagođeni model animiran je tehnikom ključnih položaja, pri čemu nisu korišteni kinematički podaci o položaju zglobova u ciljanom položaju, već je također korišten skenirani model tijela u ciljanom položaju te je interaktivnom manipulacijom pozicijama zglobova prilagođeni model postavljen u položaj prema skeniranom predlošku. Metoda zahtjeva puno interaktivnog rada, ali daje dobre rezultate i zadovoljavajuću razinu realističnosti deformacija površine tijela u pokretu, za primjenu u računalnom projektiranju i analizi odjeće s dinamičkog aspekta, sl. 24 [129].



**Slika 24** Animacija SMPL modela tijela u programu Maya: a) unutarnji kostur modela, b) postavljanje u ciljani položaj, c) usporedba sa skeniranim modelom [129]

### 2.3.2.6. *Teorijske osnove afinih transformacija i primjena kod prilagodbe parametarskih modela tijela za animaciju*

Deformacije parametarskih modela koji omogućavaju prilagodbu prema skeniranim modelima tijela najčešće se baziraju na primjeni afinih transformacija u 3D prostoru. Poligonalna površina modela tijela najčešće je predstavljena mrežom trokuta ili četverokuta te se promjenom vektora položaja i orijentacije pojedinih vrhova poligona izvodi prilagodba oblika površinske mreže. Afine transformacije predstavljaju kombinaciju linearnih transformacija praćenih translacijom koje omogućavaju prilagodbu modela tijela promjenom položaja, orijentacije i oblika poligona površinske 3D mreže. Pri tome se zadržava kolinearnost točaka, konkurentnost i paralelnost pravaca, omjer dužina na pravcu te omjer površina poligona, ali se ne zadržavaju udaljenosti među točkama, vrijednosti kutova niti dimenzije površine pojedinog poligona. S tog aspekta, affine transformacije su iznimno korisne pri radu s omjerima, kako dužinskim, tako i površinskim te s konkurentnim i paralelnim pravcima [130,131].

Sva izometrijska preslikavanja u 3D prostoru poput translacije, rotacije, smične deformacije i skaliranja mogu se kombinirati u jednoj 4x4 matrici afinih transformacija ( $M_T$ ) (izraz 19) u kojoj su prva tri stupca transformacijski dio matrice ( $M_{T1}$ ) (izraz 20) koji može sadržavati rotaciju, skaliranje i/ili smičnu deformaciju i predstavlja orijentaciju točke i vektora u prostoru, a četvrti stupac ( $M_{T2}$ ) (izraz 21) je translacijski dio matrice i predstavlja položaj točke u prostoru.

$$M_T = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$M_{T1} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}, \quad (20)$$

$$M_{T2} = \begin{bmatrix} a_{14} \\ a_{24} \\ a_{34} \end{bmatrix} \quad (21)$$

Predstavljanje točaka preko vektora u homogenom prostoru omogućava rješavanje translacije i linearnih transformacija preko matričnog množenja, pri čemu je vrlo bitno paziti na redoslijed izvođenja transformacija s obzirom da množenje matrica nije komutativno. Transformacijska matrica  $M_{T1}$  u homogenom prostoru može se zapisati kao:

$$M_{T1} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & 0 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (22)$$

Transformacija točke  $P [x, y, z, 1]$  u točku  $P' [x', y', z', 1]$  može se odrediti množenjem matrice s vektorom prema izrazu u skraćenom obliku:

$$P' = M_{T1} \cdot P \quad (23)$$

odnosno:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{bmatrix} = M_{T1} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & 0 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11}x + a_{12}y + a_{13}z \\ a_{21}x + a_{22}y + a_{23}z \\ a_{31}x + a_{32}y + a_{33}z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (24)$$

U matrici afinih transformacija, članovi vektora u zadnjem, četvrtom redu transformacijske matrice su uvijek definirani nulom  $[0, 0, 0, 1]$ , što kod množenja vektora s matricom, uklanja utjecaj translacijskog dijela na transformacijski dio matrice i ostavlja 12 članova u matrici  $3 \times 4$  za kombiniranje linearnih transformacija rotacije, skaliranja i/ili smične deformacije, s translacijskim parametrima definiranim u četvrtom stupcu.

### Translacija

Pomak točke  $P$  u prostoru definiran translacijskim vektorom  $\vec{t}$  može se odrediti množenjem vektora s translacijskom matricom  $M_{T2}$  prema izrazu:

$$M_{T2} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & 0 & t_y \\ 0 & 0 & 1 & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x + t_x \\ y + t_y \\ z + t_z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (25)$$

Pojedinačne linearne transformacije skaliranja, smične deformacije i rotacija mogu se odrediti množenjem vektora s transformacijskim matricama.

### **Skaliranje**

Skaliranje podrazumijeva promjenu dimenzija poligona i može se definirati transformacijskom matricom  $M_{sk}$  kako slijedi:

$$M_{sk} = \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (26)$$

Pri tome se koordinate transformirane točke  $P'_{sk}$  određuju matričnom jednačbom prema izrazu:

$$P'_{sk} = M_{sk} \cdot P = \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_x \cdot x \\ s_y \cdot y \\ s_z \cdot z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (27)$$

### **Smik**

Smična deformacija podrazumijeva zakošenje i promjenu kutova poligona u smjeru paralelnom s nekom od koordinatnih osi i može se definirati transformacijskom matricom  $M_{sh}$  kako slijedi:

$$M_{sh} = \begin{bmatrix} 1 & sh_{xy} & sh_{xz} & 0 \\ sh_{yx} & 1 & sh_{yz} & 0 \\ sh_{zx} & sh_{zy} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (28)$$

### **Rotacija**

Rotacija točke u 3D prostoru može se odvijati preko svake od tri koordinatne osi. Pojedinačne matrice rotacije za određeni kut  $\alpha$  oko svake osi ( $R_x$ ,  $R_y$ ,  $R_z$ ) prikazane su u nastavku [130,131].



$$x \text{ os} \Rightarrow R_x(\alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (29)$$

$$y \text{ os} \Rightarrow R_y(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & 0 & \sin \alpha & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \alpha & 0 & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (30)$$

$$z \text{ os} \Rightarrow R_z(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (31)$$

Množenjem matrica rotacije  $R_x$ ,  $R_y$ ,  $R_z$ , rotacija točke može se predstaviti preko Eulerovih kutova:

$$R = R_x \cdot R_y \cdot R_z \quad (32)$$

$$R = \begin{bmatrix} \cos \alpha_y \cos \alpha_z & -\cos \alpha_y \sin \alpha_z & \sin \alpha_y \\ \cos \alpha_z \sin \alpha_x \sin \alpha_y + \cos \alpha_x \sin \alpha_z & \cos \alpha_x \cos \alpha_z - \sin \alpha_x \sin \alpha_y \sin \alpha_z & -\cos \alpha_y \sin \alpha_x \\ -\cos \alpha_x \cos \alpha_z \sin \alpha_y + \sin \alpha_x \sin \alpha_z & \cos \alpha_z \sin \alpha_x + \cos \alpha_x \sin \alpha_y \sin \alpha_z & \cos \alpha_x \cos \alpha_y \end{bmatrix} \quad (33)$$

Iz čega proizlaze vrijednosti Eulerovih kutova rotacije oko pojedine osi.

## 2.4. 3D simulacija tekstila i odjeće

Razvoj metoda za simulaciju odjeće započeo je 90-ih godina 20.-og stoljeća. Simulacija odjevnog predmeta podrazumijeva fizikalnu simulaciju spajanja 2D krojnih dijelova oko 3D modela tijela. Fizikalna simulacija primjenjuje postupke koji virtualnim objektima daju prirodna fizikalna svojstva, što najčešće podrazumijeva simulaciju ponašanja prilikom sudara te utjecaj mase i gravitacije na virtualni objekt [6].

Simulacija odjeće je zbog kompleksne deformacije tekstilnih materijala izrazito težak fizikalni problem. Tekstilni materijali su nehomogeni, izrazito anizotropni i deformabilni te podnose velike deformacije i pomicanja u ravni pri malim opterećenjima u svakodnevnim uvjetima korištenja. Imaju jedinstvene karakteristike koje odgovaraju pokretima ljudskog tijela i nude odgovarajuća fiziološka i psihološka svojstva te sposobnost održavanja privlačnog 3D oblika [132,133]. Tekstilni materijali se međusobno razlikuju prema karakteristikama koje uključuju sirovinski sastav, vrstu prepleta sustava niti osnove i potke, gustoću niti, fizikalna svojstva

poput plošne mase i debljine te mehanička svojstva kojima se opisuju karakteristike ponašanja tekstilnog materijala u procesu izrade odjeće kao i uporabne karakteristike pri korištenju, odnosno nošenju i održavanju odjeće. Za vrednovanje uporabnih svojstva i procjenu karakteristika ponašanja tekstilnih materijala koriste se vrijednosti mehaničkih svojstava pri niskim opterećenjima, s obzirom na to da se prilikom rukovanja tekstilnim materijalom i prilikom nošenja odjeće javljaju niže vrijednosti opterećenja u odnosu na druga testiranja gdje se ispituju prekidne vrijednosti [133]. Krajnji rezultat 3D simulacije i mogućnost predviđanja izgleda i ponašanja odjevnog predmeta, jako ovise o algoritmu i broju parametara svojstava materijala koji su uzeti u obzir. Za simulaciju odjeće baziranu na fizikalnim i mehaničkim svojstvima tekstilnih materijala, najčešće se koriste parametri debljine, plošne mase, elastičnosti poput Youngovog modula i Poissonog koeficijenta te savojna i smična krutost [134-136].

Kod simulacije odjevnog predmeta na virtualnom modelu tijela, površina odjevnog predmeta poprima oblik pod utjecajem sila koje na njega djeluju, poput sile gravitacije te fizikalnih sila koje nastaju u svim dodirnim točkama odjevnog predmeta s tijelom u stanju mirovanja ili kretanja. Stoga se za 3D simulaciju odjeće koriste kompleksne kombinacije tehnika i numeričkih metoda za definiranje fizikalno-mehaničkog ponašanja tekstilnog materijala i metoda detekcije sudara. Algoritmi za simulaciju odjeće najčešće se baziraju na teoriji elastičnosti i sustavu čestica i opruga. Odjevni predmet, kao sustav čestica sastoji se od čvorova međusobno povezanih u gustu poligonalnu mrežu, čija udaljenost i međudjelovanje simulira svojstva odjevnog predmeta. Na svaku od čestica može djelovati sila kao posljedica eventualnog sudara s tijelom ili nekim drugim objektom, a ovisno o vezama između čestica, sile se prenose do okolnih čvorova [137-141]. Istraživački rad tima Volino i Magnenat-Thalmann, svakako se može navesti kao značajniji u razvoju metoda simulacije tekstila i odjeće, temeljenih na teoriji elastičnosti i Newtonovskoj dinamici [134,139,140]. Metoda konačnih elemenata također je jedna od često primjenjivanih metoda koja se koristi za modeliranje kompleksnih deformacija tekstilnih materijala, odnosno drapiranja [142-144].

#### **2.4.1. Mehanička svojstva tekstilnih materijala**

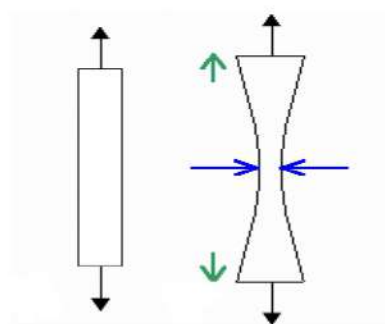
Ponašanje tekstilnih materijala opisuje se viskoelastičnim svojstvima. Viskoelastične tvari su tvari koje pokazuju dvojno mehaničko ponašanje, dijelom se ponašaju kao elastične krute tvari i podliježu Hookovom zakonu, gdje je naprezanje proporcionalno deformaciji i neovisno o brzini deformacije, a dijelom se ponašaju kao tekućine i podliježu Newtonovom zakonu, gdje je naprezanje proporcionalno brzini deformacije i neovisno o njezinoj veličini. Viskoelastične tvari karakteriziraju pojave puzanja i relaksacije. Puzanje je pojava kada tijelo koje nije potpuno

kruto ne zadržava konstantnu deformaciju pri konstantnom opterećenju, već se s vremenom nastavi deformirati, odnosno puzi, dok se u slučaju izloženosti konstantnoj deformaciji, naprezanje koje stvara nastala deformacija postepeno smanjuje, odnosno nastupa relaksacija naprezanja. Glavna mehanička svojstva koja utječu na ponašanje tekstilnog materijala su vlačna, savojna, smična i kompresijska svojstva te plošna masa i debljina kao fizikalni parametri. Deformacija tekstilnog materijala prilikom vlačnog naprezanja uzrokuje kretanje elemenata kompleksne strukture materijala sastavljene od vlakana i isprepletenih pređa. Zbog viskoelastičnih svojstava krivulja relaksacije materijala nakon opterećenja ne poklapa se s krivuljom opterećenja, već se pojavljuje određena histereza, odnosno tekstilni materijal nakon naprezanja ne poprima u potpunosti svoj originalni geometrijski oblik [133,145].

Kod proučavanja vlačnih svojstava tekstilni materijal se izlaže opterećenju u uzdužnom smjeru niti osnove ili potke, pri čemu se djelovanju vanjskih sila opiru unutarnje sile koje na određenom presjeku uvjetuju unutarnje naprezanje. U području linearne elastičnosti, gdje vrijedi Hookov zakon i deformacija je potpuno povratna, napetost se izražava kao umnožak Youngovog modula elastičnosti i deformacije. Youngov modul elastičnosti je parametar karakterističan za pojedine materijale, a opisuje otpor tkanine s obzirom na deformaciju te u dijagramu opterećenja i deformacije predstavlja tangens početnog kuta između tangente na krivulju u ishodištu i osi  $x$ , pri čemu veći nagib krivulje označava veću otpornost materijala na vlačnu deformaciju [133].

Ponašanje tkanine u početku djelovanja vlačnog opterećenja određeno je linearnom krivuljom što nazivamo područjem linearne elastičnosti te se s obzirom da su tekstilni materijali u procesima prerade, kao i tijekom upotrebe izloženi manjim opterećenjima, parametar linearnosti uzima kao vrlo bitan parametar kod vrednovanja preradbenih i uporabnih svojstava [133]. Čvrstoća tekstilnog materijala opisuje sklonost tkanine deformaciji te je posebno važan parametar za procjenu udobnosti pri nošenju, gdje se tkanina mora deformirati prema tijelu u pokretu. Parametar čvrstoće negativno korelira s udobnošću, odnosno veća čvrstoća znači veći otpor tkanine spram istezanja, a time i lošija uporabna svojstva [146].

Zbog specifične strukture tekstilnih materijala kod vlačnog naprezanja dolazi do složene vlačne deformacije, pri čemu se uz uzdužnu deformaciju istezanja u smjeru osnovinih niti, istovremeno pojavljuje i poprečna deformacija u obliku suženja poprečnog presjeka, sl. 25. Omjer  $\mu$  između uzdužne (longitudinalne) deformacije ili dilatacije  $\varepsilon_o$  i poprečne (transverzalne) deformacije ili kontrakcije  $\varepsilon_p$  (izraz 34), naziva se Poisson-ov koeficijent i predstavlja jedan od bitnih parametara vlačnih svojstava [133].



$$\mu = \frac{\epsilon_{\text{transverzalno}}}{\epsilon_{\text{longitudinalno}}} = \frac{\epsilon_{\text{potka}}}{\epsilon_{\text{osnova}}} = \frac{\frac{s_1 - s_0}{s_0}}{\frac{l_1 - l_0}{l_0}} \quad (34)$$

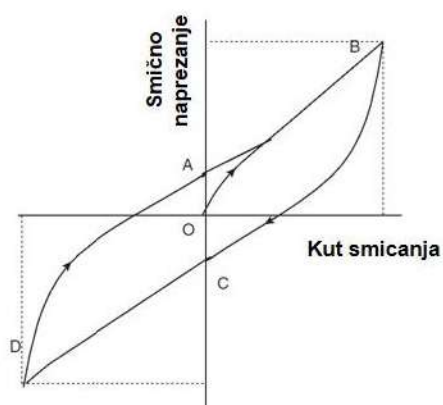
Slika 25 Vlačna deformacija i izračun Poisson-ovog koeficijenta

Savojna svojstva tekstilnog materijala ovise o sirovinskom sastavu, konstrukcijskim karakteristikama, te završnoj obradi, koja može biti u obliku bojadisanja, tiska ili različitih zaštitnih premaza površine tekstilnog materijala. Parametri koji karakteriziraju ponašanje tkanine pri savojnom opterećenju su savojna krutost i savojna histereza. Savojna krutost (B) može se definirati kao otpor tekstilnog materijala na savijanje pod utjecajem vlastite težine, dok se specifična histereza savijanja može smatrati mjerom oporavka tekstilnog materijala, a uzrokuju je sile trenja između vlakana u savijenoj pređi i na veznim točkama prepleta niti osnove i potke. Savojna svojstva imaju značajan utjecaj na sposobnost oblikovanja materijala i temeljni su dio analize kompleksnih deformacija [133,147].

Smična svojstva tekstilnih materijala ovise o dodirnim točkama i pokretljivosti sustava niti osnove i potke u strukturi tkanine, odnosno konstrukcijskim karakteristikama, promjeru vlakana i pređa te površinskim karakteristikama. Smična deformacija tkanine posljedica je umreženog pomaka u kojem je promijenjen kut između sustava niti osnove i potke. U području linearne proporcionalnosti gdje vrijedi Hookov zakon, smično naprezanje izražava se preko parametra smične krutosti prema izrazu (35). Deformacije nastale uslijed smičnog opterećenja prikazuju se pomoću smične histereze. Smična histereza definirana je kao sila trenja koja se pojavljuje na dodirnim točkama sustava niti osnove i potke pri pomaku niti jedne niz drugu i preko vlačnih/tlačnih sila kad se sustav osnovinih i potkinih niti međusobno rasteže ili skuplja. Kod jednostavnih smičnih opterećenja homogeni materijali pokazuju lineranu histerezu, dok se kod tekstilnih materijala koji su heterogeni (sadrže sustav niti pređe i zrak), uočavaju različiti oblici histereze, sl. 26, što je uvjetovano konstrukcijskim parametrima pojedinih tekstilnih materijala (vez, gustoća niti, faktor pokrivenosti površine). Kod gusto tkanih materijala pri smičnom opterećenju ne dolazi do klizanja između niti osnove i potke, što dovodi do povećanja trenja između niti. Kod tkanina s manjim faktorom pokrivenosti trenje je manje i krivulja ima S oblik, koji pokazuje da smično naprezanje u početnom dijelu raste vrlo brzo, potom dolazi do klizanja između niti osnove i potke i na kraju opterećenje opet znatno raste [133,147]. Smična svojstva



tekstilnih materijala vrlo su važna u smislu postizanja odgovarajućeg 3D oblika odjevnog predmeta te predstavljaju važan parametar koji opisuje drapiranje, savitljivost i opip tkanine.



$$\tau = \frac{E}{2(1+\mu)} \gamma = G\gamma \quad (35)$$

**Slika 26** Karakteristična krivulja smičnog naprezanja i izračun smične krutosti

Kompresijska svojstva tekstilnih materijala ovise o kompresijskim svojstvima pređa od kojih je materijal napravljen i strukturi samog materijala. Debljina je jedan od baznih kompresijskih parametara, a određuje se mjerom udaljenosti između dvije paralelne plohe međusobno odvojene uzorkom tkanine, uz djelovanje određenog opterećenja [133,145].

#### 2.4.2. Objektivno vrednovanje mehaničkih svojstava tekstilnih materijala za primjenu kod 3D simulacije odjeće

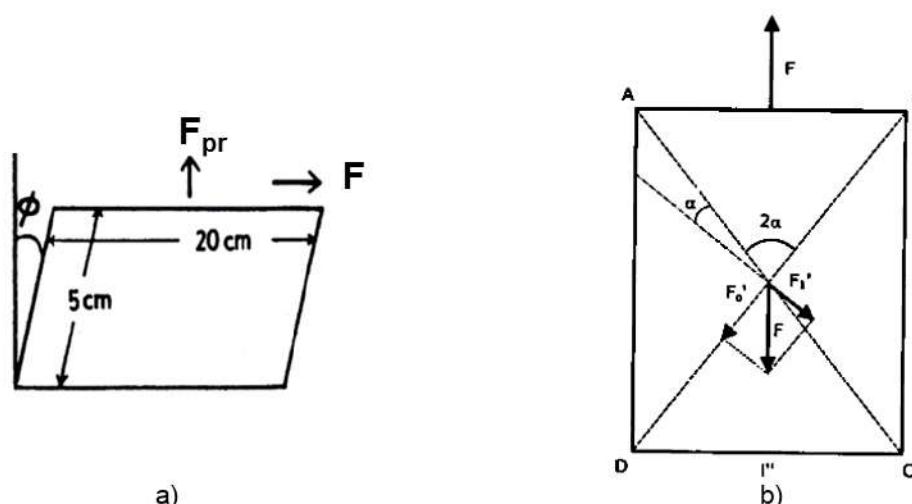
Mehanička svojstva vrlo su bitna s aspekta odabira primjerenog materijala prema dizajnu i namjeni odjevnog predmeta. Pojam objektivnog vrednovanja se koristi kod analize složenih svojstava tekstilnih materijala koja nisu izravno mjerljiva egzaktnim postupcima mjerenja i ispitivanja, već se provode mjerenja većeg broja jednostavnijih parametara pojedinog svojstva, a krajnje složeno svojstvo vrednuje se na temelju dobivenih rezultata. Pri tome je vrlo važno utvrditi funkcionalne ovisnosti između ispitivanih karakteristika i složenog svojstva koje se vrednuje te iz njih utvrditi mjerodavne pokazatelje u obliku ocjena [133,148]. Sustavi za objektivno vrednovanje tekstilnih materijala razvijeni su za mjerenje deformacija pri malim opterećenjima koja su prisutna pri oblikovanju tkanine u proizvodnom procesu izrade odjeće te prilikom nošenja izrađenog odjevnog predmeta. Tehnologija objektivnog mjerenja mehaničkih svojstava tkanine za odjeću pojavila se još 20-ih godina prošlog stoljeća kada je F.T. Pierce postavio temeljnu teoriju mehanike tekstila i s time započeo tekstilnu metrologiju [149]. Tehnologija objektivnog mjerenja je svoju širu praktičnu uporabu u tekstilnoj i odjevnoj industriji dobila 80-ih godina prošlog stoljeća, razvojem sustava Kawabata Evaluation System (KES) i Fabric Assurance by Simple Testing (FAST) [133].



Različiti CAD sustavi za 3D projektiranje odjeće omogućavaju unos izmjerenih vrijednosti parametara mehaničkih svojstava materijala, što uvelike povećava realističnost računalnog 3D prototipa i omogućuje bolju i precizniju analizu na temelju koje se s aspekta ciljanih svojstava može odabrati materijal primjeren za izradu realnih modela odjevnih predmeta [132,133]. U tom smislu, osim primjene KES i FAST sustava, dostupni su i jednostavniji mjerni uređaji poput uređaja V-stitcher Fabric Testing Kit razvijenog u sklopu 3D CAD sustava tvrtke Lectra, za primjenu u programu Modaris 3D, te sustava Fabric Testing Utility razvijenog za primjenu u programu PDS 3D, tvrtke Optitex. U literaturi se može pronaći veći broj istraživanja koja uspoređuju različite sustave i parametre te njihovu primjenu za 3D simulaciju odjeće [139,150-154]. Danas je u području vrednovanja svojstava tekstilnih materijala za potrebe simulacije odjeće sve veći fokus na razvoju i primjeni inteligentnih sustava koji na temelju jako velike baze podataka dovode uporabna i mehanička svojstva tkanina u međusobnu korelaciju, te preko algoritma strojnog učenja treniraju sustav za predviđanje svojstva tkanina pomoću ograničenog, manjeg broja parametara [155,156].

#### *2.4.2.1. Utvrđivanje parametara mehaničkih svojstava primjenom sustava Kawabata Evaluation System, KES-FB*

U znanstvenim istraživanjima i dalje se najčešće primjenjuje KES–FB (Kawabata Evaluation System) koji je za sada najsofisticiraniji i najprecizniji mjerni sustav za objektivno vrednovanje mehaničkih i fizikalnih svojstava tekstilnih materijala pri malim opterećenjima [133,139]. Za razliku od ostalih metoda vrednovanja mehanike tekstila, koje uglavnom proučavaju i opisuju linearno ponašanje, KES sustav omogućava puno kompleksniju analizu naprezanja i procjenu nelinearnosti mehaničkih svojstava. Kao najočitiji primjer se može navesti mjerenje smične deformacije, gdje se primjenom KES sustava uzorak podvrgava opterećenju silom u ortogonalnom smjeru do smičnog kuta od  $8^\circ$ , iz čega se smična krutost izračunava kao tangens smičnog kuta ili omjer smične sile i kuta, za razliku od FAST sustava kod kojeg se utvrđivanje smičnih svojstava bazira na vlačnom istezanju uzorka pripremljenog u dijagonalnom smjeru, gdje je sustav osnove i potke pozicioniran pod kutem od  $45^\circ$ , sl. 27 [133,157].



**Slika 27** Metode mjerenja smičnih svojstava: a) KES sustav, b) FAST sustav [133]

Stoga primjena podataka utvrđenih KES sustavom kod simulacije odjeće daje bolje rezultate i omogućava kvalitetniju procjenu pristalosti računalnih prototipova odjeće [133,157,158]. KES sustav se sastoji od četiri mjerna uređaja, sl. 28, kojima se utvrđuju vrijednosti za 16 različitih parametara mehaničkih svojstava tekstilnih materijala [133,157].

Određivanje vlačnih svojstava primjenom KES-FB1 mjernog uređaja temelji se na proučavanju vlačne deformacije uzorka pri konstantnoj brzini istezanja. Uzorak dimenzija 200x200 mm fiksira se između stezaljki u razmaku od 50 mm i izlaže vlačnom opterećenju do sile od 490,35 cN (odnosno 5 gf po širini od 1 cm) te potom rasterećenju do  $F=0$ . Vlačno opterećenje i rasterećenje uzorka prikazuje se histereznom krivuljom  $F(\epsilon)$  na temelju koje se utvrđuju značajni parametri vlačnih svojstava kao što su deformacijski rad ( $WT$ ) koji predstavlja energiju potrebnu za vlačnu deformaciju tkanine do granice opterećenja, linearnost krivulje ( $LT$ ) kao mjerilo odstupanja krivulje  $F(\epsilon)$  od linearnosti, tj. od Hookeovog zakona, sposobnost elastičnog oporavka ( $RT$ ) kojim se izražava odnos između povratne, odnosno reverzibilne i deformacijske energije te maksimalno produljenje ( $EMT$ ) u smjeru osnove i potke pri opterećenju  $F_m$  od 490,35 cN, sl. 29 [133,157].



KES-FB1 AUTO mjerni sustav za **vlačna i smična svojstva**



KES-FB2 AUTO mjerni sustav za **savojna svojstva**



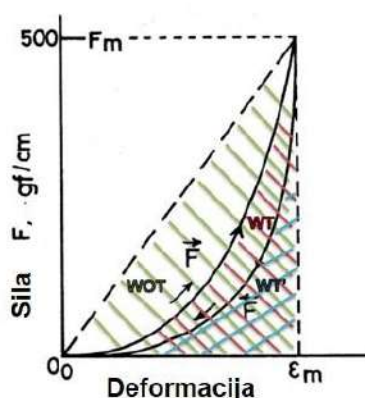
KES-FB3 AUTO mjerni sustav za **kompresijska svojstva**



KES-FB4 AUTO mjerni sustav za **površinska svojstva**

**Slika 28** KES-FB AUTO mjerni uređaji [133]

Kod simulacije odjeće najčešće se primjenjuje parametar maksimalnog produljenja,  $EMT-x$  u smjeru osnove i maksimalnog produljenja  $EMT-y$  u smjeru potke, koji se utvrđuju prema izrazu (36). Vrijednosti produljenja kod klasičnih tkanina za gornju odjeću kreću se u rasponu od 3 do 10 %, materijali koje u sirovinskom sastavu sadrže udio elastanskih vlakana imaju vrijednost produljenja 20 do 30 %. Vrijednosti manje od 3 % u smjeru osnove ili potke mogu uzrokovati poteškoće u procesu izrade odjeće, poput nabiranja šavova koje je u 50 % slučajeva uzrokovano nedovoljnom elastičnom deformacijom tkanine [133,157].

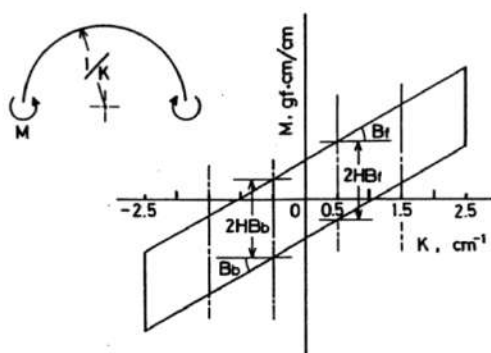


**Slika 29** Krivulja vlačnog opterećenja [133]

$$\varepsilon_m = \frac{2WT}{LT \cdot F_m} = \frac{WT}{250LT} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow EMT [\%] = \frac{\varepsilon_m}{\varepsilon_0} \cdot 100 \quad (36)$$

Određivanje savojnih svojstava primjenom KES-FB2 mjernog uređaja temelji se na promatranju savojne deformacije materijala na uzorku efektivne dimenzije 200x10 mm koji se savija po kružnici konstantnom vrijednošću promjene zakrivljenosti od  $0,50 \text{ cm}^{-1}\text{s}^{-1}$ . Određivanje savitljivosti zasniva se na mjerenju momenta savijanja u ovisnosti o zakrivljenosti, odnosno radijusu savijanja. Savojna deformacija, odnosno savojno opterećenje i rasterećenje materijala prikazuje se histereznom krivuljom  $M(K)$ , sl. 30. Širina savojne histereze iskazuje se kao razlika vrijednosti savojnog momenta potrebnog za savojnu deformaciju i savojnog momenta u procesu vraćanja. Karakteristični parametar koji se koristi kod simulacije odjeće je savojna krutost  $B$ , koja se određuje kao tangens kuta nagiba krivulje momenta savijanja i zakrivljenosti  $M(K)$ , između  $K=0,5 \text{ cm}^{-1}$  i  $K=1,5 \text{ cm}^{-1}$  za lice i  $K=-0,5 \text{ cm}^{-1}$  i  $K=-1,5 \text{ cm}^{-1}$  za naličje, odnosno kao konstanta omjera momenta savijanja  $\Delta M$  i zakrivljenosti  $\Delta K$  (izraz 37). Savojna krutost može se definirati i kao srednja vrijednost savojne krutosti za lice ( $B_f$ ) i naličje ( $B_b$ ) (izraz 38). Karakteristične vrijednosti savojne krutosti za tkanine kreću se između  $0,04$  i  $0,1 \text{ cNcm}^{-1}$  [133,157].



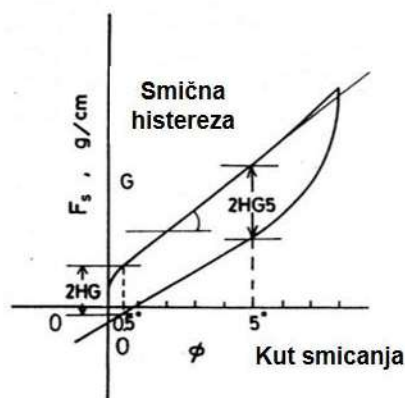
Slika 30 Savojna histereza [133]

$$B = \tan \phi = \frac{\Delta M}{\Delta K} \quad (37)$$

$$B = \frac{B_f + B_b}{2} \quad (38)$$

Određivanje smičnih svojstava pomoću KES-FB1 mjernog uređaja temelji se na proćavanju smične deformacije uzorka dimenzija 200x50 mm, koji je u uzdužnom smjeru fiksiran između fiksne i pomične stezaljke i izložen konstantnom vlačnom opterećenju od  $9,807 \text{ cN/cm}$  uzduž smjera, ortogonalno na smično opterećenje  $F$ . Smično opterećenje i rasterećenje uzorka prikazuje se histereznom krivuljom, sl. 31. Karakteristični parametar koji se koristi kod simulacije odjeće je smična krutost  $G$ , koja se definira kao omjer smične sile  $\Delta F_g$  na jedinicu širine i smičnog kuta  $\Delta \gamma$  (izraz 39), a izražava se kao srednja vrijednost smične krutosti za smičnu deformaciju desno i lijevo u odnosu na smjer ispitivanja (izraz 40) [133,157].



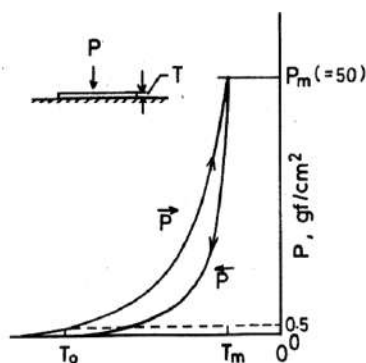


Slika 31 Smična histereza [133]

$$G = \tan \gamma = \frac{\Delta F_g}{\Delta \gamma} \quad (39)$$

$$G = \frac{G_D + G_L}{2} \quad (40)$$

Određivanje kompresijskih svojstava pomoću KES-FB3 mjernog uređaja temelji se na proučavanju uzorka koji je u području efektivne površine od 2 cm<sup>2</sup> izložen kompresijskom opterećenju koje djeluje pravokutno na uzorak. Brzina opterećenja je konstantna i iznosi 20 μms<sup>-1</sup>. Kad se postigne opterećenje od 49,035 cNcm<sup>-2</sup>, uređaj mjeri i reverzibilan proces pri jednakoj brzini, sl. 32. Zakrivljenost krivulje kompresijskog opterećenja i oporavak ovise o konstrukcijskim parametrima tkanine kao što su vrsta tkanja, finoća i broj niti pređe, gustoća i debljina tkanine. Za simulaciju odjeće koristi se karakteristični parametar debljine tkanine pri opterećenju od 0,49 cN (*T<sub>0</sub>*) [133,157].



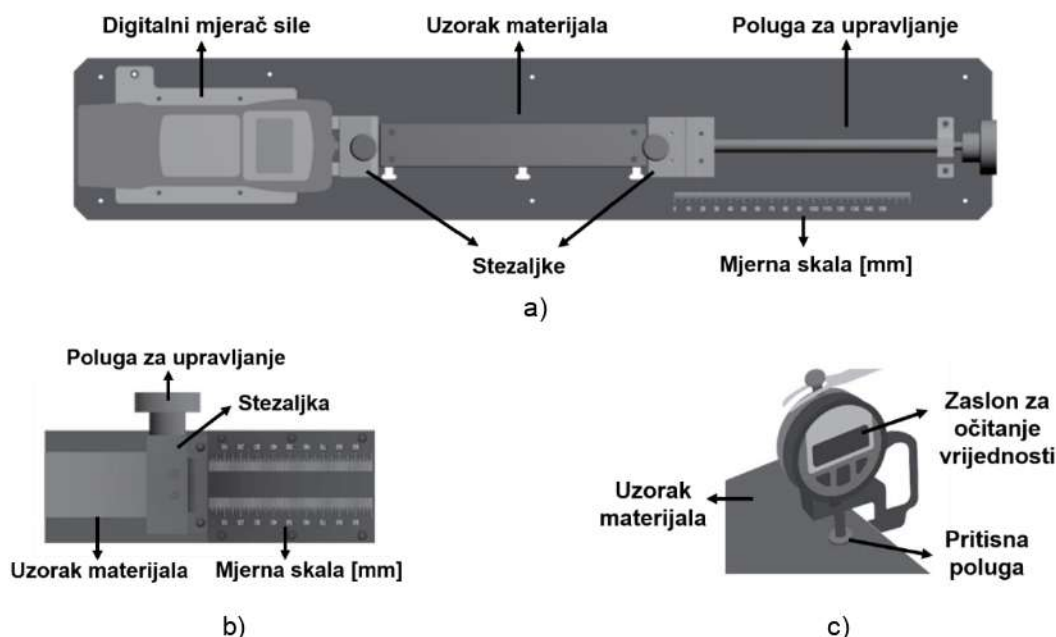
Slika 32 Krivulja kompresijskog opterećenja [133]

#### 2.4.2.2. Utvrđivanje parametara fizikalnih i mehaničkih svojstava primjenom Fabric Kit mjernog sustava

Mjerni sustav za vrednovanje fizikalnih i mehaničkih svojstava Fabric Kit, razvijen je kao podrška sustavu za 2D/3D projektiranje odjeće Clo3D te omogućava utvrđivanje specifičnih parametara potrebnih za 3D simulaciju. Sustav se sastoji od tri mjerna uređaja, sl. 33 i definira

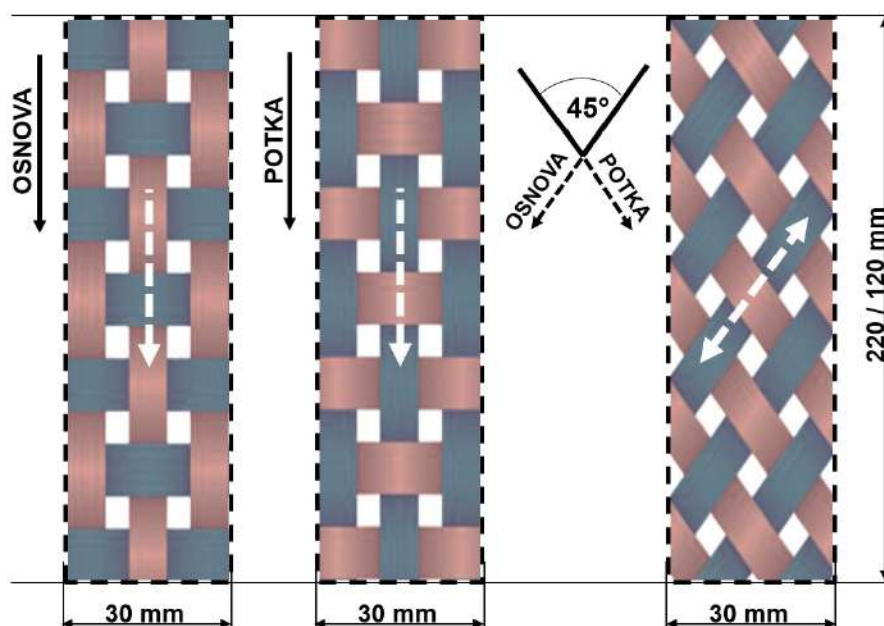


četiri mjerne metode za utvrđivanje parametara vlačnih i smičnih svojstava, savojnih svojstava te plošne mase i debljine tekstilnog materijala. Vrijednosti utvrđene primjenom Fabric Kit mjernog sustava se pomoću konvertora Emulator, koji se nalazi unutar programa Clo3D, prevode u odgovarajuće mjerne jedinice i pohranjuju kao novi materijal za primjenu kod 3D simulacije odjeće [101].



**Slika 33** Mjerni uređaji sustava Fabric Kit: a) uređaj za mjerenje vlačnih i smičnih parametara, b) uređaj za mjerenje savojnih parametara, c) uređaj za mjerenje debljine [101]

Metodologija ispitivanja primjenom Fabric Kit sustava definira pripremu ispitnih uzoraka materijala dimenzija 220 x 30 mm, odnosno 120 x 30 mm za materijale s većim istezanjem. Za svaki materijal pripremaju se tri uzorka u različitim smjerovima, jedan uzorak u smjeru osnove, odnosno nizova kod pletiva, jedan uzorak u smjeru potke, odnosno redova kod pletiva te jedan uzorak u dijagonalnom smjeru gdje je sustav niti usmjeren pod kutom od 45°, sl. 34. Utvrđivanje plošne mase materijala provodi se metodom vaganja, sva tri ispitna uzorka zajedno te se tako dobivena vrijednost unosi u program. Debljina materijala ispituje se pomoću uređaja koji radi po principu standardnog debljinomjera. Mjerenjem se utvrđuje udaljenost između podloge i spuštene pritiskne poluge s kružnim završetkom koja predstavlja debljinu materijala, odnosno ispitnog uzorka pozicioniranog između. Pojedinačno utvrđene vrijednosti za sva tri uzorka materijala unose se u program [101].



Slika 34 Priprema uzoraka za ispitivanje primjenom Fabric Kit sustava

Uređaj za ispitivanje savojnih svojstva temelji se na standardnoj metodi klupice s razlikom u tome da se parametar savojne duljine materijala očitava kod savijanja do kontakta ispitnog uzorka s horizontalnom podlogom, a ne kod savijanja do kuta od  $41,5^\circ$ , kao što je to kod standardne metode. Osim vrijednosti savojne duljine ispitnog uzorka, metoda definira i utvrđivanje udaljenosti podloge na kojoj je došlo do kontakta te se vrijednosti oba parametra za sva tri uzorka materijala unose u program [101].

Ispitivanje vlačnih i smičnih svojstava temelji se na utvrđivanju sile potrebne za definirane vrijednosti duljine istezanja ispitnog uzorka. Ispitni uzorak se pozicionira između stezaljki te se ručnim potezanjem poluge za upravljanje uzorak isteže do zadanih vrijednosti koje se prate na mjernoj skali, pri čemu se na digitalnom uređaju očitava primijenjena sila potrebna za zadano istezanje. Metoda definira dva načina mjerenja. Za materijale kod kojih je za istezanje od jednog milimetra potrebna sila manja od 0,01 kgf ( $0,01 \text{ kgf} = 0,098 \text{ N}$ ), očitava se pet vrijednosti sila potrebnih za istezanje u rasponima od 10 mm. Za materijale kod kojih je za istezanje od jednog milimetra potrebna sila veća od 0,01 kgf, očitava se pet vrijednosti sila potrebnih za istezanje u rasponima od 1 mm. Ispitivanje se provodi na sva tri uzorka za pojedini materijal te se prilikom unosa u program, vrijednosti konvertiraju u vrijednosti parametara vlačnog i smičnog istezanja koji se koriste kod 3D simulacije [101].

### 2.4.3. Digitalizacija tekstilnih materijala primjenom AI tehnologije

Digitalizacija tekstilnih materijala primjenom AI tehnologije temelji se na skeniranju površine materijala i pretvaranju skenirane 2D slike u digitalne 3D podatke, primjenom kojih se u CAD sustavu u procesu simulacije i razvoja 3D prototipova odjeće ostvaruju realističan izgled i realistično ponašanje digitalnih tkanina. Neke od značajnijih internetskih platformi za digitalizaciju tekstilnih materijala, s velikim virtualnim bibliotekama digitaliziranih materijala su Frontier 3D Fabric Creator, Lasagna i SEDDI Textura [150,151].

SEDDI Textura aplikacija omogućava digitalizaciju tekstilnih materijala za primjenu u računalnom 3D projektiranju odjeće. Na temelju skeniranih prikaza realnih materijala i unosa osnovnih podataka o sirovinskom sastavu, vrsti prepleta, plošnoj masi i debljini materijala, sustav baziran na AI tehnologiji predviđa i procjenjuje vrijednosti parametara mehaničkih svojstava za primjenu u CAD sustavima za 3D simulaciju Clo3D i Browzwear, sl. 35 [156].



Slika 35 Prikaz virtualnog drapiranja digitaliziranog materijala u SEDDI Textura aplikaciji [156]



#### 2.4.4. Kompleksne deformacije tekstilnih materijala

Kompleksne deformacije tekstilnih materijala opisuju se preko parametra drapiranja, koji predstavlja deformaciju površine tekstilnog materijala pri slobodnom padu i pod utjecajem vlastite težine, a ovisi o vlačnim i smičnim svojstvima te debljini i plošnoj masi materijala. Pad tkanine uzrokuje velika pomicanja i male vlačne, smične i savojne deformacije koje se očituju u obliku nabora [133,147]. Za analizu drapiranja koristi se mjerni uređaj Cusick Drape Meter kojim se na temelju odnosa između površine projekcije deformiranog oblika i nedeformiranog oblika kružnog uzorka tekstilnog materijala određuje koeficijent drapiranja  $Kd$ . Vrijednost koeficijenta drapiranja se kreće u rasponu od nula do jedan, pri čemu nula označava potpuno fleksibilne, a jedan potpuno krute tkanine, a određuje se preko izraza (41):

$$Kd = \frac{A - \pi R_1^2}{\pi(R_2^2 - R_1^2)} \quad (41)$$

Kod Cusick Drape Meter metode, kružni uzorak tkanine se horizontalno postavlja između dva mala diska. Pri slobodnom padu pod utjecajem vlastite težine tkanina se deformira u kompleksan trodimenzionalni oblik, određen vlačnim i savojnim svojstvima ispitivane tkanine. S donje strane uređaja je postavljeno svjetlo, tako da se specifična sjena koju tkanina ostvaruje pri padu može uhvatiti digitalnom kamerom kao dvodimenzionalna slika, koja služi za daljnju razradu i izračun parametara drapiranja, sl. 36 [133,159,160].



**Slika 36** Cusick Drape Meter za ispitivanje drapiranja



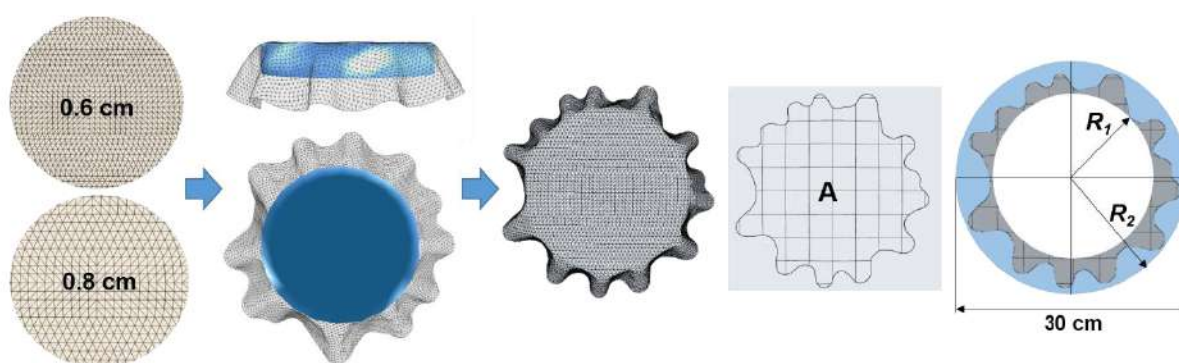
Veći broj autora, istraživao je utjecaj parametara mehaničkih svojstava na drapiranje [161-164]. Collier je primjenom regresijske analize utvrdilo da su za predviđanje drapiranja tekstilnog materijala značajniji smični parametri od savojnih, koji su se do tada smatrali najznačajnijim čimbenikom kompleksne deformacije. Posebno je istaknut značaj parametra smične histereze pri smičnoj deformaciji od 5° stupnjeva [165]. Jedda i suradnici su analizirali odnos između koeficijenata drapiranja i parametara mehaničkih svojstava utvrđenih primjenom FAST sustava i utvrdili da parametri smične i savojne krutosti puno bolje koreliraju s drapiranjem od parametra debljine materijala [166]. Osim koeficijenta drapiranja, broj, oblik i dimenzije nabora materijala su također vrlo značajni parametri za opisivanje kompleksne deformacije. Dio istraživanja usmjeren je za razvoj računalnih modela koji za predviđanje drapiranja materijala, uzimaju u obzir i parametre nabora [167,168], te je utvrđeno da je varijabilnost tih parametara ovisna o veličini uzorka tkanine koja se drapira i brzini izvođenja, odnosno pada materijala kod ispitivanja [169,170].

#### *2.4.4.1. 3D simulacija i analiza kompleksnih deformacija*

Različiti CAD sustavi koriste različite algoritme za definiranje i opis ponašanja tkanine, koji u obzir uzimaju različiti broj i vrstu parametara fizikalnih i mehaničkih svojstava. Stoga je proveden veći broj istraživanja sa svrhom testiranja i vrednovanja simulacija primjenom pojedinog CAD sustava te se u takvim istraživanjima vrlo često primjenjuje upravo analiza kompleksnih deformacija, odnosno drapiranja. Kenkara i suradnici u svom radu navode da parametri drapiranja prilično variraju kod svakog pojedinačnog ispitivanja te da je varijabilnost od 15% pri usporedbi vrijednosti parametara 3D simulacije i realno izmjerenih uzoraka zadovoljavajuća preciznost. Zaključak su donijeli na temelju studije provedene na 20 različitih tkanina, pri čemu su analizirane vrijednosti parametara drapiranja utvrđene Cusick Drape Metrom i vrijednosti izmjerene primjenom tehnologije 3D skeniranja [171]. Thi i suradnici su na temelju parametara drapiranja za šest različitih tkanina vrednovali 3D simulacije u CAD sustavu V-Stitcher [172]. Buyukaslan i suradnici su analizirali parametre drapiranja 3D uzoraka pet različitih tkanina simuliranih u CAD sustavu Optitex pri čemu su kod simulacije korišteni parametri mehaničkih svojstava materijala utvrđeni FAST mjernim sustavom [173]. Na temelju subjektivne procjene parametara drapiranja i ukupnog izgleda simuliranih uzorka u usporedbi s realnim uzorcima i kriterija sličnosti od 15% prema Kenkare [171], utvrđena je zadovoljavajuća razina točnosti izvedenih 3D simulacija [173]. Rudolf i suradnici su istraživali utjecaj postavki algoritma za simulaciju u CAD sustavu Optitex, na simulaciju svojstava materijala. Za vrednovanje su koristili računalne prototipove modela suknje i usporedbu s realnim prototipom, pri čemu su kao evaluacijske kriterije koristili parametre površine

ortogonalne projekcije forme modela na duljini i linearne mjere duljine suknje na različitim pozicijama [174].

S aspekta računalne grafike, tkanina je u CAD sustavu definirana kao mreža poligona određene gustoće, prilikom čega je svaki poligon čvrsta površina i predstavlja masu tkanine, a poligoni su međusobno povezani i spojevi među njima se ponašaju u skladu sa zadanim parametrima fizikalnih i mehaničkih svojstava tkanine. Stoga, veliki utjecaj na ishod simulacije i vizualizaciju računalnog prototipa imaju i parametri površine računalnog modela odjavnog predmeta poput gustoće poligonalne mreže [6,139,171]. Petrak i suradnici su proveli kompleksnu studiju utjecaja parametra gustoće poligonalne mreže površine modela na simulaciju fizikalnih i mehaničkih svojstava na 11 različitih tkanina. Pri tome su uspoređivali koeficijente drapiranja utvrđene na realnim uzorcima primjenom Cusick Drape Metra i koeficijente utvrđene simulacijom iste metode ispitivanja u CAD sustavu Optitex, sl. 37 [175].



**Slika 37** Simulacija drapiranja s različitim parametrima gustoće poligonalne mreže i izračun koeficijenta drapiranja na temelju simuliranih uzoraka [175]

Analizirana je primjena parametra svojstava utvrđenih KES i FAST sustavom te su parametri KES sustava pokazali puno bolje rezultate simulacije u usporedbi s realnim uzorcima. Utvrđeno je da ponašanje računalnog modela tkanine uvelike ovisi o gustoći mreže poligona te da su parametar gustoće mreže i koeficijent drapiranja u proporcionalnoj korelaciji. Smanjivanjem veličine poligona, odnosno povećavanjem gustoće mreže, povećava se gibljivost, a time i utjecaj primijenjenih fizikalnih i mehaničkih svojstava i obratno, povećavanjem poligona i smanjivanjem gustoće mreže taj utjecaj se smanjuje, s obzirom da velike čvrste površine poligona onemogućavaju gibljivost i oblikovanje glatke površine modela. U tom smislu, definirane su optimalne vrijednosti veličina poligona površinske mreže tkanina ovisno o koeficijentu drapiranja tkanine, tab. 1. Kao slučajni iznimke, pokazali su se rezultati simulacije drapiranja izrazito deformabilnih tkanina s izrazito niskim vrijednostima savojne krutosti ( $B < 0,01 \text{ cNcm}$ ) i velikim poprečnim istezanjem ( $EMT-y > 30\%$ ), što je objašnjeno kao

posljedica prevelikog utjecaja gustoće poligonalne mreže koji je dodatno doprinio velikoj deformaciji površine te su bolji rezultati dobiveni simulacijom površinske mreže manje gustoće i s većom dimenzijom poligona [175].

**Tablica 1:** Optimalne veličine poligona površinske mreže modela prema koeficijentima drapiranja

| Koeficijent drapiranja ( $K_d$ ) | Veličina poligona [mm] |
|----------------------------------|------------------------|
| 0,2-0,3                          | 4                      |
| 0,35-0,45                        | 6                      |
| >0,5                             | 8                      |

## 2.5. Računalno 3D projektiranje odjeće

Računalno 3D projektiranje odjeće predstavlja vrlo značajan segment u procesu razvoja novih modela odjevnih predmeta, a podrazumijeva primjenu računalnih tehnologija u svim fazama, od dizajna i konstrukcije krojnih dijelova, do 3D simulacije odjeće i vrednovanja pristalosti računalnih prototipova [99-105]. Projektiranje i razvoj novih modela odjeće podrazumijevaju kružni proces u kojem se u višestrukim iteracijama prilagođavaju krojevi odjevnih predmeta i testira veći broj realno izrađenih prototipova, kako bi se dobila ciljana forma i pristalost modela. U ovakvom tradicionalnom pristupu projektiranju, izrada realnih prototipova, čiji se broj povećava ovisno o kompleksnosti dizajna modela, predstavlja veliki gubitak s aspekta utroška vremena i materijalnih sredstava. U tom smislu, jedna od najistaknutijih prednosti primjene CAD sustava za projektiranje odjeće je mogućnost 3D simulacije i analize pristalosti krojeva na računalnim 3D modelima tijela, bez izrade realnog prototipa i prisutnosti ispitanika. Također je omogućena analiza pristalosti s aspekta utjecaja vrste tekstilnog materijala koji se planira primijeniti za izradu realnog prototipa, pri čemu se na temelju procjene računalnih prototipova omogućava pravilan izbor tekstilnog materijala s aspekta ciljanih fizikalnih i mehaničkih svojstava u realnoj proizvodnji [132,133].

Pristalost odjeće je jedan od glavnih problema istraživača u području odjevnog tehnologije, a definira se kao odnos između tijela i odjevnog predmeta koji direktno utječe na udobnost, izgled i funkcionalnost odjeće. Odjevni predmeti su vjerojatno jedini proizvodi kod kojih se tijekom izrade, bez neposrednog fizičkog preoblikovanja materijala, dvodimenzionalna tekstilna plošna tvorevina transformira u trodimenzionalno oblikovan proizvod, što je povezano s fizikalnom pojavom složenosti strukture tkanine [133,176]. Dobru pristalost, u procesu razvoja osiguravaju četiri bitna segmenta: dizajn, precizno utvrđene tjelesne mjere, konstrukcija kroja



te pravilan izbor tekstilnog materijala za izradu odjevnog predmeta s aspekta svojstava koja se iskazuju na temelju vrijednosti pojedinih mehaničkih i fizikalnih parametara. Ciljani stupanj pristalosti ovisi o vrsti i namjeni odjevnog predmeta, a postiže se sustavnim inženjerskim pristupom u procesu projektiranja i razvoja novog modela [44,177]. Visoki zahtjevi za pristalošću posebno su izraženi kod odjeće specijalnih namjena, poput zaštitne i sportske odjeće. Pristalost odjeće danas se sagledava s dva aspekta, statičkog koji se odnosi na osnovnu geometrijsku 3D formu i dimenzijsku pristalost odjevnog predmeta obliku ljudskog tijela te dinamičkog aspekta koji se odnosi na pristalost odjeće na tijelu u pokretu, pri čemu odjevni predmet ne smije ograničavati pokret tijela niti pokret smije izazvati pretjerano naprezanje u tekstilnom materijalu od kojeg je odjevni predmet izrađen.

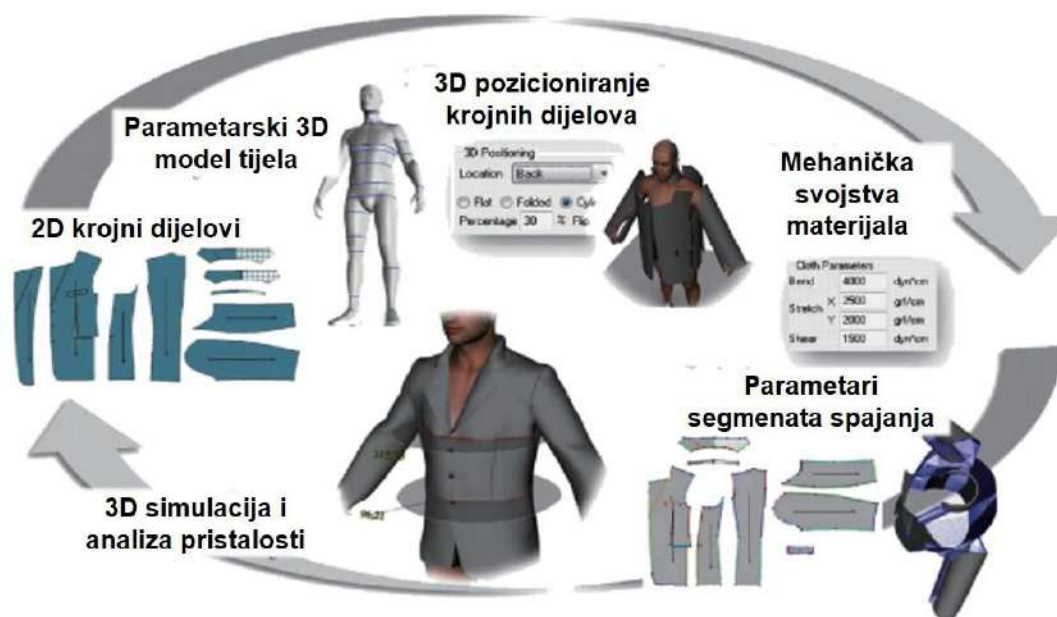
### **2.5.1. CAD sustavi za računalno 3D projektiranje odjeće**

Vodeći proizvođači sustava za računalno projektiranje odjeće kao što su: Lectra, Optitex, Assyst, Clo3D, Browzwear Solutions i dr., nude široke palete programskih rješenja koja omogućavaju provedbu cjelovitog procesa razvoja novih modela odjevnih predmeta, od dizajna i konstrukcije 2D krojnih dijelova, 3D simulacije na modelu tijela i analize računalnih prototipova odjeće, do iskrojavanja krojnih dijelova te povezivanja proizvodnog procesa s marketingom, gdje se računalni 3D prototipovi koriste za vizualizaciju odjevnih predmeta prilikom on-line prodaje ili predstavljanje novih kolekcija preko virtualnih modnih revija. Pojedini sustavi nude i mogućnost povezivanja sa samim kupcima u smislu kodizajna, gdje se korisniku prilikom odabira odjevnog predmeta nudi mogućnost izbora elemenata kroja na modelu, poput različitih vrsta vratnih izreza ili ovratnika, orukvica, džepova, duljina, vrsta rukava i slično, kao i različite kombinacije boja i uzoraka tekstilnog materijala, koje se odabirom vizualiziraju na 3D modelu odjevnog predmeta i na taj način kupcu olakšavaju i omogućavaju izbor dizajna upravo prema vlastitim željama i potrebama [100,101,178].

Svi sustavi za računalno projektiranje odjeće primjenjuju metode fizikalne 3D simulacije na temelju unosa vrijednosti parametara fizikalnih i mehaničkih svojstava materijala. U tom segmentu, različiti sustavi kao ulazne podatke koriste vrijednosti parametara utvrđene različitim metodama ispitivanja. Uglavnom je omogućeno povezivanje s drugim računalnim programima i platformama preko određenih općih formata zapisa digitalnih 2D i 3D podataka. Tako većina sustava podržava uvoz i primjenu različitih modela tijela, parametarskih, skeniranih i animiranih, koji se primjenjuju u više ili manje kompleksnim analizama pristalosti odjeće s aspekta statičke i dinamičke antropometrije. Vrsta modela tijela koji će se primijeniti za simulaciju i analizu računalnog prototipa, ovisi o vrsti i namjeni odjevnog predmeta te ciljanoj razini pristalosti. Protokol izvođenja 3D simulacija u većini CAD sustava je isti i u osnovi



podrazumijeva definiranje parametara površina 2D krojnih dijelova i parova segmenata čijim spajanjem oko modela tijela odjevni predmet poprima ciljanu 3D formu, sl. 38. Razvoj računalnih 3D prototipova odjeće je kružni proces kod kojeg se na temelju procjene dimenzijske pristalosti odjavnog predmeta na računalnom modelu tijela, uočeni nedostaci korigiraju na 2D krojnim dijelovima te se kružni proces 3D simulacije ponavlja do postizanja zadovoljavajuće razine pristalosti [100,103,179].



**Slika 38** Protokol izvođenja 3D simulacija u CAD sustavu Optitex [103]

## **Lectra**

Lectra je jedan od vodećih proizvođača cjelovitih CAD/CAM rješenja za razvoj tekstilnih proizvoda, s fokusom na modnu i odjevnju industriju, automobilsku industriju i industriju namještaja. Kao snažni zagovornici Industrije 4.0., Lectra nudi programska rješenja koja u digitalnom smislu transformiraju životni ciklus proizvoda u cjelini i donose preciznost i fleksibilnost u cjeloviti proces od dizajna do gotovog proizvoda, što podrazumijeva povezivanje segmenata razvoja i procesa proizvodnje, prodajnih mjesta i marketinških aktivnosti. Preuzimanjem tvrtki Gerber Technology, Neteven, Retviews i Gemini CAD Systems, Lectra je postala grupacija s još većom ponudom inovativnih rješenja koja pokrivaju široki spektar potreba korisnika duž proizvodnog lanca. U segmentu 2D/3D projektiranja i konstrukcijske pripreme odjeće, Lectra nudi cijelu paletu modula programa za svaki pojedini segment u industrijskom procesu razvoja novih modela odjevnih predmeta [178].

Modaris Expert je dodatni modul Modaris programa za rad s 2D krojnim dijelovima koji omogućava povezivanje segmenata i definiranje matematičkih odnosa dimenzija na temelju kojih se tijekom prilagodbe krojnih dijelova, promjenom dimenzije jednog segmenta simultano modificiraju svi ostali povezani segmenti prema definiranom odnosu. Sam proces povezivanja segmenata i definiranja odnosa predstavlja prilično kompleksan proces, kod kojeg metodologija nije egzaktno definirana, već se razlikuje ovisno o modelu i konstrukciji kroja te ciljanoj razini prilagodbe. No, jednom kada je kroj modela parametriziran, omogućava vrlo brzu i preciznu prilagodbu ciljanim tjelesnim mjerama i karakteristikama za neograničeni broj korisnika. Modaris 3D je modul programa za razvoj računalnih 3D prototipova, koji se temelji na fizikalnoj simulaciji krojeva odjeće na različitim 3D modelima tijela i nudi jedinstvene alate za provjeru pristalosti krojeva. Za simulaciju ciljanog tekstilnog materijala dostupna je opsežna baza podataka o materijalima, kategoriziranim prema fizikalnim i mehaničkim karakteristikama. Modaris 3D omogućava simulaciju više slojeva odjeće, povezivanjem pojedinačnih simulacija i dodavanjem jednog po jednog odjevnog predmeta na isti model tijela, što je značajan napredak u odnosu na druge sustave i standardni pristup kod kojeg se svi odjevni predmeti, odnosno njihovi krojni dijelovi u procesu simulacije spajaju simultano, što uzrokuje prilično velike probleme kod kompleksnih i višeslojnih odjevnih kombinacija, sl. 39 [178].



**Slika 39** CAD sustav za 2D/3D projektiranje odjeće Lectra Modaris 3D [178]

### **Optitex**

Tvrtka Optitex nudi paletu programa koji pokrivaju cjelovit proces konstrukcijske pripreme u proizvodnji odjeće i računalno 3D projektiranje. Program PDS 3D omogućuje izvođenje 3D simulacija temeljenih na unosu vrijednosti fizikalnih i mehaničkih parametara materijala utvrđenih različitim mjernim sustavima. Jedna od prednosti programa je primjena parametara materijala utvrđenih sustavima KES i FAST, za koje možemo reći da su najzastupljeniji i najstandardniji načini vrednovanja uporabnih svojstava tekstila. Prilikom unosa parametara u program, vrijednosti se konvertiraju u format koji omogućava simulaciju ciljanog tekstilnog

materijala. Parametarski model tijela koji se koristi za 3D simulacije omogućava djelomičnu prilagodbu oblika i držanja tijela, što je vrlo značajno u razvoju krojeva prema individualnim mjerama i predstavlja prednost u odnosu na parametarske modele u drugim sustavima koji ne nude takve mogućnosti. U programu su direktno dostupni i modeli zadanih dimenzija, koji podržavaju animaciju manekenskog hoda i mogu se koristiti za prezentaciju kolekcija u obliku virtualnih revija. Dodatno program podržava većinu standardnih 3D formata i uvoz skeniranih i/ili animiranih modela tijela iz različitih CAD programa za 3D modeliranje i animaciju [100].

### 2.5.2. Računalna konstrukcija krojeva

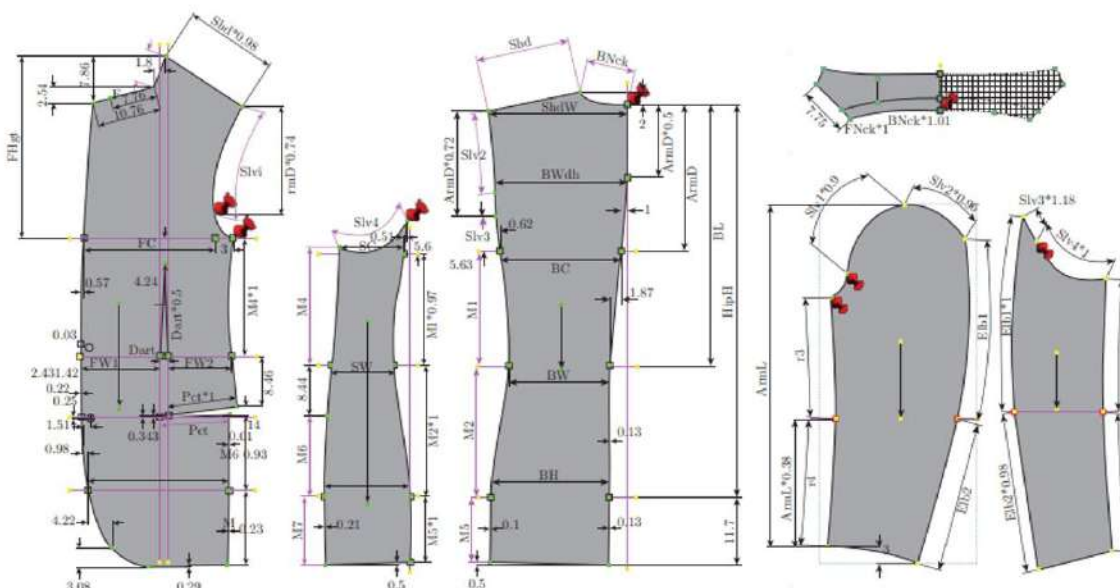
Ovisno o vrsti i namjeni odjevnog predmeta, krojni dijelovi se konstruiraju i gradiraju prema određenom sustavu odjevnih veličina ili prema individualnim mjerama ciljanog korisnika. Računalna konstrukcija odjeće podrazumijeva primjenu alata CAD programa za konstrukciju 2D krojnih dijelova prema pravilima i metodama konvencionalne konstrukcije odjeće. Može se reći da kod ovakvog standardnog pristupa, 2D površine krojnih dijelova spajanjem oblikuju ciljanu 3D formu modela odjevnog predmeta.

U literaturi se može pronaći popriličan broj radova koji se bave razvojem metoda za prilagodbu krojeva prema individualnim mjerama [103,180,181]. Transformacije krojnih dijelova primjenom konvencionalnih 2D CAD sustava izvede se transformacijama pojedinih točaka segmenata kontura krojnih dijelova. Za te potrebe najpogodnijim se pokazala uporaba vektorske algebre, vektorskih transformacija te uporaba matrica i matričnih transformacija [182]. Pri tome, izvođenje transformacija jednog krojnog dijela nije u ovisnosti s drugim krojnim dijelom te se stoga pri računalnoj obradi krojnih dijelova svaki krojni dio treba zasebno tretirati. CAD sustavi poput Lectre i Optitexa omogućavaju izvođenje istovremenih modifikacija na više krojnih dijelova, ali korisnik prethodno treba za to utvrditi razvojne korake kroz koje će se omogućiti postupno prevođenje krojnih dijelova iz vektorskog u parametarski oblik zapisa [183].

Program Modulate tvrtke Optitex omogućava parametrizaciju krojnih dijelova za prilagodbu prema individualnim mjerama. Kao ulazne podatke koristi gradirane setove 2D krojnih dijelova na kojima se sustavnim nizom zahvata nad krojnim dijelovima definiraju procedure i matematički izrazi na temelju kojih se krojni dijelovi prevode iz vektorskog u parametarski zapis, koji u konačnici omogućuje sinkroniziranu prilagodbu povezanih krojnih dijelova. Postavljanjem i povezivanjem mjera između točaka, moguće je utjecati na istovremene promjene više povezanih segmenata krojnih dijelova, sl. 40. Mjere se međusobno povezuju preko nazivlja, a odnos između korespondentnih mjera određuje se matematičkim izrazom. Pri



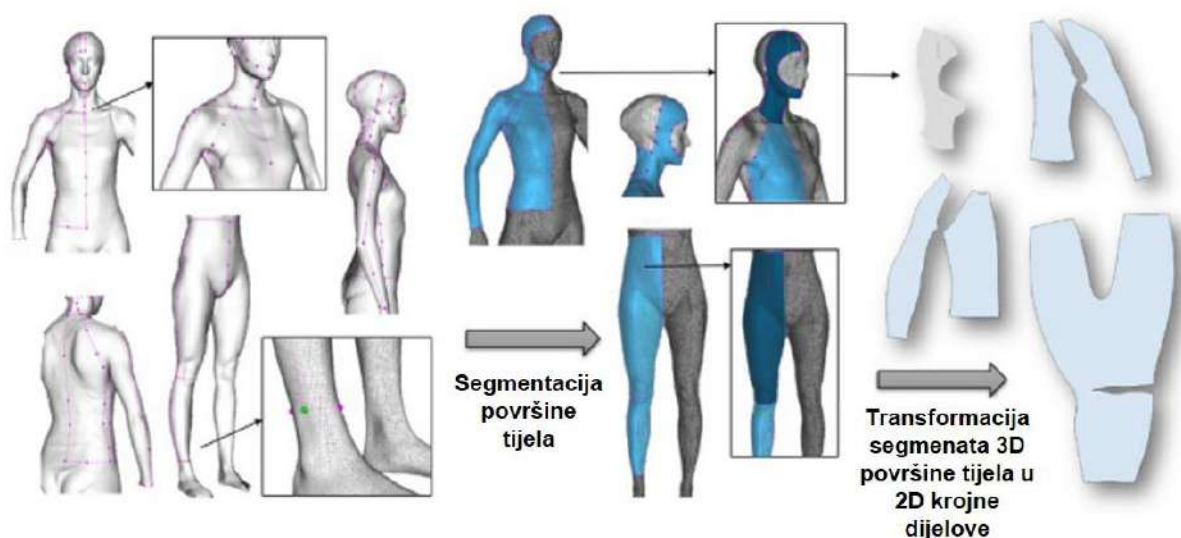
tome ne postoji strogo definirana metodologija parametrizacije kroja, već proces ovisi i specifičan je za pojedini odjevni predmet i ciljanu razinu prilagodbe. Petrak i suradnici su u svojim radovima istraživali mogućnosti parametrizacije kroja s aspekta prilagodbe individualnim mjerama i tipovima tijela [36,103] te s aspekta zamjene tradicionalnih metoda gradiranja krojeva metodom parametrizacije [183].



**Slika 40** Parametarski kroj muškog sakoa [103]

Metode 3D konstrukcije odjeće podrazumijevaju konstrukciju kroja na 3D modelu tijela [69,80]. Kod ovakvih metoda segmentirani dijelovi 3D površina transformiraju se u 2D krojne dijelove, što predstavlja obrnuti postupak u odnosu na standardni 2D/3D pristup, sl. 41. Transformacija površina iz 3D u 2D format naziva se 3D flatenning i najčešće se primjenjuje kod razvoja i konstrukcije odjeće koja naliježe blisko uz tijelo i mora dobro pratiti oblik i formu tijela poput različitih uskih kombinezona, odjeće za ples, sportske odjeće te donjeg rublja [8].





**Slika 41** Računalna 3D konstrukcija primjenom flattening metode [8]

### 2.5.3. Procjena pristalosti računalnih 3D prototipova odjeće

Procjena pristalosti predstavlja završnu fazu u procesu projektiranja novih modela odjevnih predmeta. Pristalost odjeće definira se kao odnos između tijela i odjevnog predmeta. Procjena pristalosti standardno se provodi na realno izrađenom prototipu odjevnog predmeta, kombiniranjem subjektivnog i objektivnog vrednovanja određenih parametara od strane stručnjaka iz područja odjevne tehnologije [42,132]. Danas se u procesu razvoja novih modela odjevnih predmeta, za procjenu pristalosti koriste digitalni 3D prototipovi na kojima se provodi računalno mjerenje dimenzija pojedinih segmenata kroja i analiza deformacija odjevnog predmeta na 3D modelu tijela, iz čega se procjenjuje pristalost [1].

Različiti CAD sustavi za 3D projektiranje odjeće nude alate za analizu pristalosti poput poprečnog presijecanja računalnog prototipa odjevnog predmeta na modelu tijela, pri čemu se iz razlika u opsezima može utvrditi iznos ili analizirati distribucija komocije odjevnog predmeta. Omogućena je i analiza pritiska odjevnog predmeta na tijelo te analiza deformacija poput zona istezanja u smjeru osnove ili potke, pri čemu se razina pristalosti procjenjuje u odnosu na parametre mehaničkih svojstava materijala koji se simulira [8,184]. Zangue i suradnici su na primjeru muškog sakoa istraživali mogućnosti analize pristalosti računalnih prototipova i usporedili rezultate dobivene primjenom tri različita CAD sustava za projektiranje odjeće [184]. U radu ističu da je procjena pristalosti računalnih prototipova veliki izazov kod kojeg je potrebno kombinirati razumijevanje simulacijskih algoritama te znanje i iskustvo u području projektiranja i konstrukcije odjeće.

Za vrednovanje cjelovitog procesa simulacije i pristalosti računalnog prototipa u istraživanjima se najčešće primjenjuju različite usporedbe i evaluacijski kriteriji sličnosti između digitalnog i realnog prototipa, pri čemu se ocjenjuje izgled prototipova u cijelosti te se utvrđuju i uspoređuju pozicije i dimenzije pojedinih segmenata odjevnog predmeta na tijelu [8,50,185]. Kim i suradnici su razvili metodu vrednovanja na temelju usporedbe digitalnih i realnih prototipova modela suknje. Za analizu realnih prototipova korištena je tehnologija 3D skeniranja te je utvrđivanje parametara izvedeno na skeniranim modelima realnih prototipova, što je omogućilo bolju preciznost mjerenja. Poseban doprinos metode je u tome što je provedeno i subjektivno vrednovanje postavljenih kriterija izgleda prototipova te je na temelju korelacije vrednovanja subjektivnih i objektivnih kriterija postavljena regresijska jednadžba za vrednovanje 3D prototipa [186]. Lapkovska i Dabolina su također provele studiju vrednovanja 3D simulacije usporedbom računalnih i simuliranih prototipova modela suknje, pri čemu su kao usporedbeni kriterij vrednovanja koristile parametre oblika i dimenzija presjeka modela na različitim visinama. Za analizu realnih prototipova također su primijenile tehnologiju 3D skeniranja s obzirom da zbog nabora materijala, konvencionalnim metodama nije moguće jednostavno i precizno utvrditi oblik i dimenzije presjeka modela odjevnog predmeta na tijelu [187].

#### **2.5.4. Računalno 3D projektiranje odjeće s aspekta dinamičke antropometrije**

S aspekta dinamičke antropometrije, sva odjeća prvenstveno mora omogućavati lakoću kretanja u svakodnevnim aktivnostima. Dio istraživača fokusiran je na primjenu podataka o promjenama dimenzija tijela u pokretu u procesu konstrukcije odjeće, u smislu definiranja ciljanih vrijednosti komocije na pojedinim dijelovima odjevnog predmeta i razvoju metoda za prilagodbu krojeva. Istraživanja u ovom području su uglavnom fokusirana na razvoj zaštitne i sportske odjeće te se u literaturi može pronaći vrlo mali broj istraživanja koja se s aspekta dinamičke antropometrije bave projektiranjem i razvojem modnih proizvoda. Jedno od takvih istraživanja proveli su Avandanei i suradnici, u okviru čega su na temelju studije promjena mjera na tijelu u pokretu na uzorku od 50 ispitanika, razvili metodu za modifikaciju kroja muškog sakoa koja u obzir uzima funkcionalne mjere tijela. Metodu konstrukcije su testirali izvođenjem 3D simulacija i analizom računalnih 3D prototipova na statičkom modelu tijela i modelu tijela u karakterističnim dinamičkim položajima, pri čemu su utvrđivali i analizirali odnose linijskih mjera duljina, položaja rukava i deformacija na području leđa. Razvijena metoda pokazala je dobre rezultate prilagodbe kroja i bolju procjenu dinamičke pristalosti modela sakoa u odnosu na prototip konstruiran konvencionalnom metodom. Nedostatak je u tome što razvijeni algoritam nije primjenjiv za drugačiji dizajn modela sakoa ili druge odjevne predmete, ali se prema istom principu primjene podataka o promjenama tjelesnih dimenzija u

različitim položajima, algoritam može prilagoditi ili razviti potpuno novi za ciljani model odjevnog predmeta [5].

Većina istraživanja bavi se razvojem i primjenom različitih računalnih tehnologija i metoda u procesu projektiranja odjeće specijalnih namjena, s ciljem zadovoljavanja visokih kriterija statičke i dinamičke pristalosti. Takva odjeća koristi se u ekstremnim uvjetima i pri ekstremnom gibanju tijela te ukoliko nema dobru pristalost, može ograničavati kvalitetu izvedbe pokreta i time ugroziti zdravlje i sigurnost onoga tko nosi takvu odjeću. CAD sustavi za računalno 3D projektiranje odjeće omogućuju simulaciju odjevnog predmeta na različitim modelima tijela te se na temelju sustavne analize deformacija računalnih prototipova mogu predvidjeti izgled i ponašanje realnog odjevnog predmeta na tijelu.

Vrednovanje računalnih prototipova s aspekta dinamičke pristalosti, prema dostupnoj literaturi najčešće podrazumijeva primjenu parametarskih modela tijela postavljenih u ciljani položaj ili 3D modela tijela skeniranih u različitim položajima, koji se u procesu razvoja koriste za izvođenje 3D simulacija i analizu modela. Pri tome, kod parametarskih modela tijela ograničavajuću okolnost predstavlja limitiran broj položaja u koje se model može postaviti.

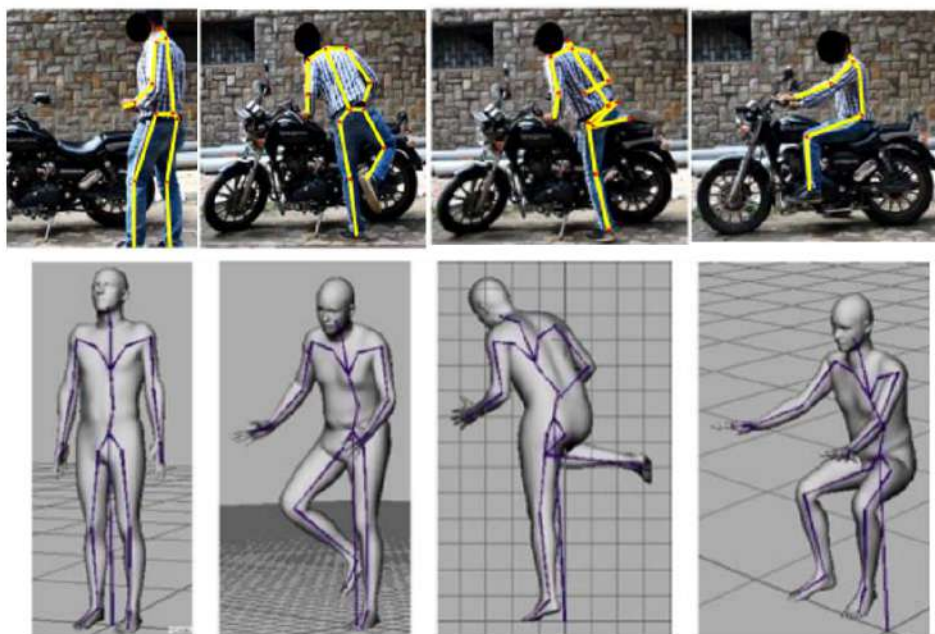
U tom smislu, Tama i suradnici su proveli studiju promjena dimenzija na tijelu u specifičnim položajima s primjenom rezultata u razvoju i konstrukciji modela odjela za alpsko skijanje. Studija je provedena na 31 muškom ispitaniku, koji se rekreativno bave alpskim skijanjem primjenom konvencionalne metode mjerenja tijela s markerima pozicioniranim na pozicije antropometrijskih mjernih točaka na tijelu, kako bi se omogućilo precizno mjerenje i usporedba dimenzija u statičkom i tjelesnim položajima specifičnim za alpsko skijanje. Utvrđeni postotci promjene tjelesnih mjera primijenjeni su u konstrukciji kroja te su izvedene 3D simulacije modela odjevnog predmeta na parametarskom modelu tijela postavljenom u ciljani položaj, sa svrhom analize deformacija. Pri tome su uočena značajna ograničenja u smislu prilagodbe položaja parametarskog modela tijela koji je dostupan u korištenom CAD sustavu te je za simulacije korišten model postavljen u položaj približan položaju u kojem je provedeno 3D skeniranje i analiza funkcionalnih mjera. U smislu verifikacije konstrukcije kroja s primjenom podataka o funkcionalnim mjerama tijela u specifičnim položajima, isti model odijela konstruiran je i standardnom metodom. Analizom deformacija i naprezanja računalnih prototipova utvrđena je bolja pristalost modela razvijenog na temelju podataka o funkcionalnim mjerama, čime se potvrđuje značaj dinamičke antropometrije i primjene takvih istraživanja u procesu razvoja sportske odjeće [188]. S obzirom na ograničenja prilagodbe položaja parametarskih modela tijela, istraživači sa Sveučilišta u Mariboru razvili su jednostavan kinematički kostur primjenom komercijalnih računalnih alata i algoritama, koji se pokazao

dostatnim za primjenu i prilagodbu položaja modela tijela osobama s ograničenom pokretljivošću donjih ekstremiteta. Razvijeni model primijenili su u istraživanju razvoja odjeće za osobe s invaliditetom [189]. Bogović i suradnici su u svom radu za razvoj računalnog prototipa modela sportskog kombinezona za pilote, koristili model tijela skeniran u sjedećem položaju, na kojem je izvedena simulacija i provedena analiza deformacija istezanja tkanine po zonama odjevnog predmeta [50].

Primjena parametarskih ili skeniranih modela tijela u različitim položajima, kod simulacije odjeće ne daje u potpunosti ispravnu informaciju o ponašanju i deformacijama odjevnog predmeta u dinamičkim uvjetima. S obzirom da se kod izvođenja 3D simulacija krojni dijelovi povezuju direktno oko modela tijela u ciljanom položaju, ostvaruje se potpuno drugačija deformacija odjevnog predmeta, u odnosu na realne uvjete gdje se tijelo najčešće iz uspravnog stojećeg položaja, na kojem se i temelji cjelokupan proces konstrukcije odjeće, dovodi u određeni ciljani položaj, a odjevni predmet se deformira u skladu s dinamikom cjelovitog pokreta. Veliko ograničenje u analizi dinamičke pristalosti računalnih prototipova predstavljaju teško dostupni animirani modeli tijela, s obzirom na kompleksnost cjelokupnog procesa animacije.

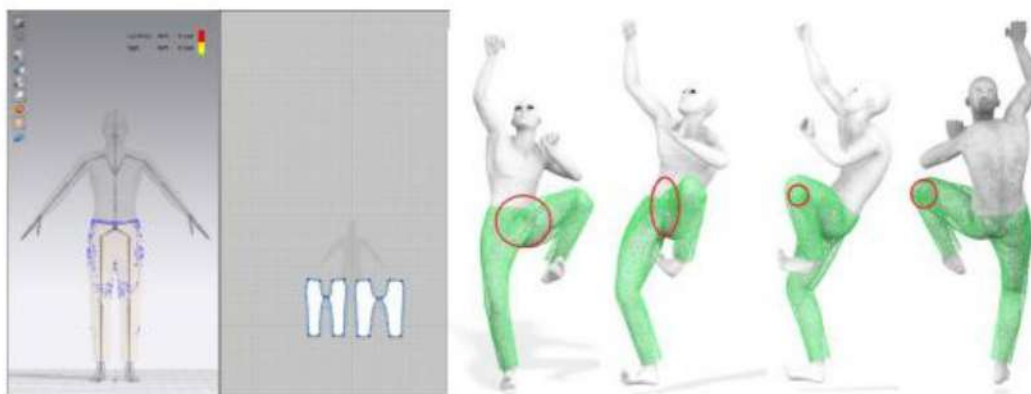
Jolly i suradnici su za razvoj modela motociklističkog odijela primijenili 3D flattening metodu 3D konstrukcije krojeva na animiranim modelima tijela u ciljanim položajima. Za animaciju su koristili SMPL model tijela i tehniku animacije ključnim položajima u programu Autodesk Maya [190]. Za definiranje ključnih položaja tijela, prethodno je provedena studija kinematičkih parametara položaja karakterističnih kod sjedanja i vožnje motocikla te su definirana četiri ključna položaja za analizu, sl. 42. Animacija za svaki pokret izvedena je brzinom od 100 sličica između osnovnog i ključnog položaja. Modeli tijela u četiri dinamička položaja korišteni su za analizu oblika i površina segmenata transformiranih primjenom 3D flattening metode, pri čemu je dobiven detaljan uvid u potrebe za modifikacijom kroja i prilagodbom parametara konstrukcije prema dinamičkim promjenama tijela u pokretu [190]. Istraživanje je pokazalo zanimljive rezultate i predstavlja vrlo inovativan pristup 3D projektiranju odjeće, ali nedostaje završno testiranje metode i verifikacija na računalnim i/ili realnim prototipovima.





**Slika 42** Kinematički model tijela za analizu motorističkog odijela, Jolly i sur. [190]

Viziteu i suradnici su razvili kinematički model tijela za primjenu u razvoju sportske odjeće za slobodno penjanje, sl. 43. Pri tome su koristili komercijalno dostupan površinski model tijela s integriranim mišićnim međuslojem i online aplikaciju Mixamo koja omogućava automatski postupak kreiranja unutarnjeg modela kostura (*eng. rigging*) i animacije površinskih modela. Razvijeni kinematički model korišten je za razvoj računalnog prototipa modela hlača za slobodno penjanje, primjenom CAD sustava Clo3D. Izvođenjem 3D simulacija i analizom računalnog prototipa pomoću alata dostupnih u Clo3D sustavu, utvrđene su zone najvećeg naprezanja modela hlača ovisno o pokretu, te je sa svrhom poboljšanja pristalosti ispitana mogućnost primjene 3D flattening metode konstrukcije odjeće na razvijenom kinematičkom modelu. U tom smislu, na kinematičkom modelu tijela postavljenom u položaj u kojem su prethodno utvrđena najveća naprezanja modela hlača, kreirane su razdjelne krivulje novog modela te su segmentirani dijelovi 3D površine tijela transformirani u 2D krojne dijelove. Tako razvijen prototip modela hlača pokazao je puno bolje rezultate s aspekta pristalosti u odnosu na tradicionalnu metodu konstrukcije [191].



**Slika 43** Kinematički model tijela, Viziteu i sur. [191]

U većini provedenih istraživanja završni korak u procesu razvoja modela odjevnog predmeta je izrada realnog prototipa čime se na temelju subjektivnog vrednovanja u uvjetima nošenja vrednuje cjelokupni proces razvoja. Petrak i suradnici su za vrednovanje računalnih prototipova ronilačkih odijela, razvijenih primjenom 3D flattening metode, koristili komparativnu analizu s realno izrađenim prototipovima. Osim vrednovanja statičke pristalosti u smislu izgleda, dimenzija i pozicija pojedinih segmenata odjevnih predmeta, provedeno je i vrednovanje dinamičke pristalosti u specifičnim položajima tijela. Uz subjektivno vrednovanje pritiska odijela na tijelo pri izvođenju zadanih pokreta u realnim uvjetima nošenja, od strane stručnjaka iz područja i profesionalne sportašice, prema čijim tjelesnim karakteristikama su odijela projektirana, provedeno je i objektivno vrednovanje, gdje su analizirane vrijednosti pritiska odijela na tijelo u ciljanim točkama utvrđene računalnom metodom na 3D prototipovima i vrijednosti pritiska na istim karakterističnim točkama na realnom prototipu utvrđene pomoću PicoPress mjernog uređaja [8]. Wu i Kuzmichev su se također bavili računalnim projektiranjem ronilačkih odijela te su s aspekta dinamičke antropometrije analizirali prototip simuliran na skeniranom modelu tijela u položaju karakterističnom kod ronjenja [7].

Glavni nedostatak dostupnih analiza naprezanja i deformacija računalnih prototipova su modeli tijela koji, iako neki simuliraju utjecaj mekog tkiva na deformacije površine modela poput SMPL i DYNA modela [126-128], još uvijek su u konačnici čvrsti modeli i ne simuliraju interakciju između mekog tkiva i odjeće. Stoga, ni mape naprezanja dostupne u CAD sustavima, prilikom vrednovanja ne uzimaju u obzir parametre elastičnosti kože i kompresibilnosti mekog tkiva na tijelu. U tom smislu, dio istraživanja bavi se razvojem modela koji simuliraju meko tkivo (*eng. soft tissue models*). Neke od prvih metoda bazirale su se na teoriji kontaktne mehanike i metodi konačnih elemenata [192,193]. U najnovijim istraživanjima, Rannow i suradnici predlažu drugačiji pristup modeliranju mekog tkiva, koji se temelji na prilagodbi topologije površine modela linijama tijela iz područja medicinskih znanosti poput BEST linija (*eng. BioDynamic*

*Excisional Skin Tension*) koje određuju smjer mehaničkih naprezanja kože i MFL linije (*eng. Main Fold Lines*) koje određuju pojavu pregiba na tijelu uzrokovanih gibanjem mekog tkiva. Detaljno utvrđivanje parametara i analiza linija na tijelu u pokretu mogu se provesti tehnologijom 4D skeniranja [194]. Brake i suradnici su uspoređivali simulaciju odjeće na čvrstom avataru i avataru na kojem su u programu Blender primijenili ugrađeni plug-in koji omogućava deformacije mekog tkiva. Analiza i usporedba prototipova izvedena je preklapanjem geometrije simuliranih modela i utvrđivanjem ciljanih dimenzija, pri čemu je simulacija na modelu koji omogućuje simulaciju mekog tkiva pokazala puno bolje rezultate [195].

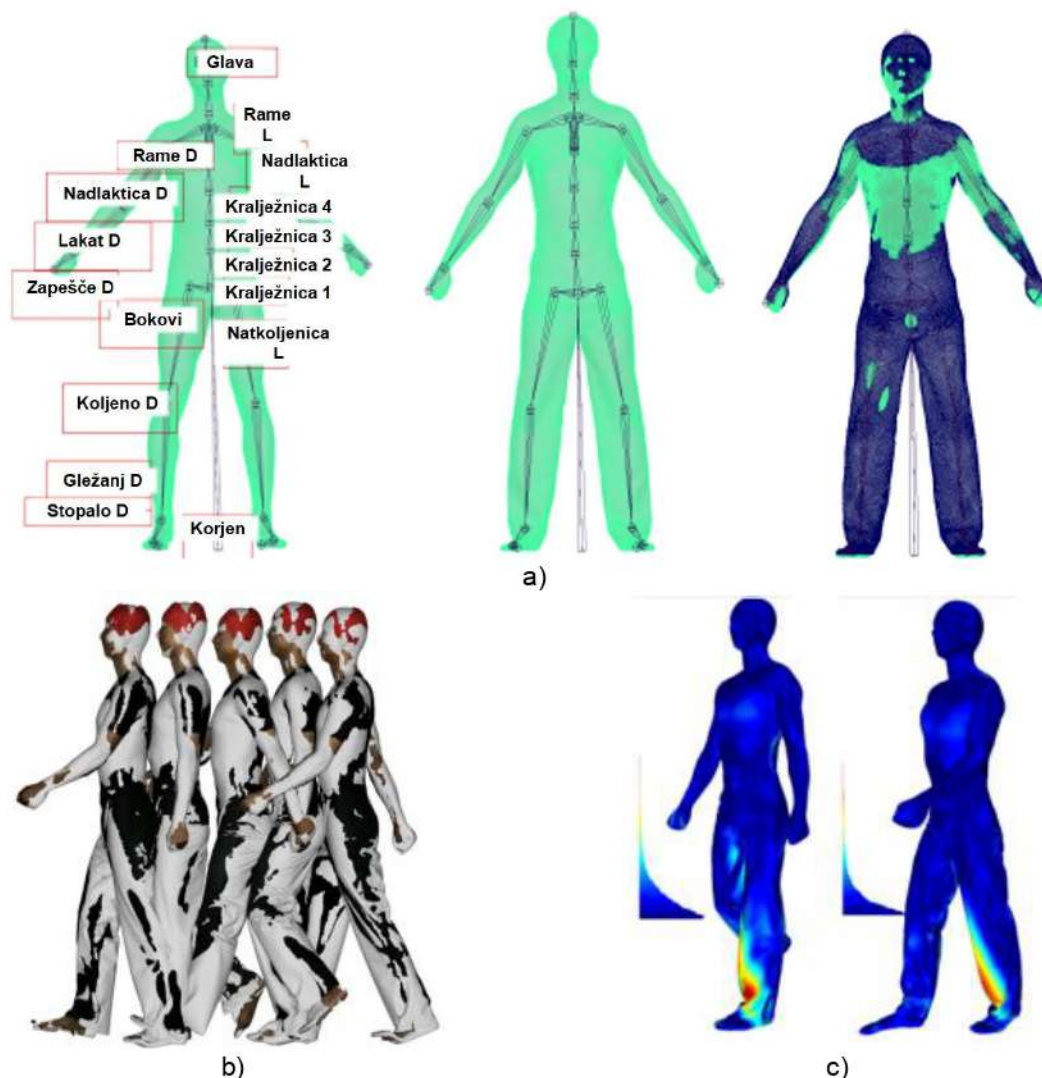
Broj istraživanja koja se bave objektivnom procjenom dinamičke pristalosti računalnih prototipova i vrednovanjem u smislu usporedbe deformacija simuliranih i realnih prototipova modela odjeće vrlo je ograničen, s obzirom da je ispitivanje realnih odjevnih predmeta u tom smislu vrlo kompleksno i ne postoje ciljane metode za analizu deformacija odjevnog predmeta na tijelu u pokretu u realnim uvjetima.

Klepster i suradnici razvili su metodu procjene pristalosti odjeće na tijelu u pokretu primjenom 4D skenera. Metoda se temelji na snimanju izvođenja zadanih pokreta ispitanika odjevenih u donje rublje i klasičnu gornju odjeću. Pri tome, skenirani modeli u donjem rublju predstavljaju osnovni 3D prostor koji zauzima ljudsko tijelo, a odjeveni skenirani modeli predstavljaju tijelo u mogućem ograničenom stanju. Obradom i preklapanjem snimljenih odjevenih i neodjevenih modela tijela u pokretu, primjenom Geomagic programa, omogućena je analiza zračnih međuprostora između tijela i odjevnog predmeta te područja međusobnog prodiranja dijelova površina, koja ukazuju na moguće ograničavanje osnovnog 3D prostora koji zauzima tijelo. Nedostatak metode je prilično kompleksan i dugotrajan proces preklapanja snimljenih sekvenci pokreta odjevenih i neodjevenih ispitanika i obrade modela za provedbu analize i mjerenja. Također, rezultati ispitivanja uvelike ovise o izvedbi pokreta ispitanika, pri čemu je izrazito teško ciljani pokret izvesti dva puta na identičan način te je s tog aspekta metoda ograničena na analizu pristalosti odjeće kod jednostavnijih tjelesnih pokreta [196].

Zhang i suradnici su u svom istraživanju predložili metodu za numeričku evaluaciju računalnih prototipova odjeće temeljenu na preklapanjanju površinske geometrije sa modelom dobivenim primjenom 4D skenera, sl. 44. Kreirali su pojednostavljeni kinematički kostur za animaciju površinskih modela tijela koji omogućava preklapanje odjevenog i neodjevenog modela. Pokreti tijela definirani su na temelju podataka o translacijama i rotacijama točaka na tijelu u vremenskim intervalima, dobivenim 4D skeniranjem. Neodjeveni model korišten je za simulaciju modela hlača u tri različita pokreta, nakon čega je simulacija preključena sa



skeniranim realnim modelom hlača pri izvođenju ciljanih pokreta. Pristalost je analizirana na temelju kriterija istezanja i deformacija na pojedinim dijelovima i izgleda odjevnog predmeta u cijelosti [197].



**Slika 44** Metoda evaluacije računalnih prototipova odjeće primjenom 4D skenera prema Zhang i sur. [198]

Terrier je u svom radu razvio metodu simulacije modela biciklističkog odijela temeljenu na metodi konačnih elemenata, primjenom programa Abaqus, te je za verifikaciju metode 3D simulacije modela biciklističkog odijela na skeniranom modelu tijela, predložio primjenu optičkog 3D mjernog sustava Aramis za snimanje i analizu deformacija koji se primarno koristi u područjima strojarstva i građevine [198]. Naglasak istraživanja stavljen je na analizu zona kompresije modela biciklističkog odijela na tijelo, na segmentima gdje su na model ugrađene elastične trake koje daju dodatnu potporu tijelu prilikom vožnje bicikla. Ovakav pristup i metoda verifikacije na temelju egzaktno mjerljivih parametara deformacija računalnih i realnih

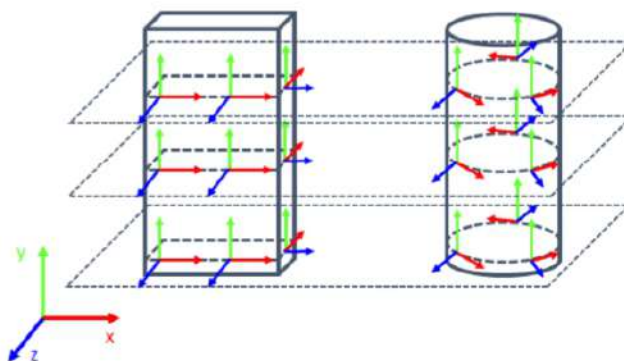


prototipova omogućavaju puno objektivniju procjenu pristalosti računalnih 3D prototipova. Do sada, nisu istražene mogućnosti primjene Aramis sustava za analizu deformacija ljudskog tijela u pokretu, kao ni za analizu kompleksnijih modela odjevnih predmeta ili modela koji ne prijanjaju uz tijelo već imaju određenu komociju.

#### 2.5.4.1. Optički sustav za analizu 3D deformacija Aramis

Sustav Aramis njemačke tvrtke ZEISS GmbH (do 2024. tvrtka GOM GmbH) je optički sustav za analizu 3D deformacija koji se temelji na metodi stereofotogrametrije kod koje se trodimenzionalne deformacije snimanog objekta rekonstruiraju na temelju dvije ili više slika iz različitih položaja [200]. U okviru eksperimentalnog dijela doktorskog rada istražene su mogućnosti primjene Aramis sustava za analizu deformacija ljudskog tijela i odjevnih predmeta u pokretu. Metodologija mjerenja podrazumijeva pripremu modela za snimanje, u smislu kreiranja kontrastnog točkastog stohastičkog uzorka na temelju kojeg se utvrđuju koordinate točaka i prate pomaci i deformacije na površini snimanog objekta u pokretu. Prateći programi za obradu nude široki spektar alata koji omogućavaju precizno utvrđivanje različitih parametara linijskih i površinskih deformacija, koji su usporedivi s parametrima koji se primjenjuju kod analize 3D simulacija i računalnih prototipova odjeće.

Inicijalni globalni koordinatni sustav uobičajeno se definira pri prvoj kalibraciji slike pomoću pozicije kalibracijskog panela. Deformacije u x smjeru se uvijek izračunavaju kao koordinate materijala, odnosno kao lokalne koordinate koje se kreću zajedno s materijalom. Stoga, svaka točka ima svoj koordinatni sustav. Program izračunava deformacije u pokretnom koordinatnom sustavu, a ne globalnom koordinatnom sustavu. Smjer z koristi se kao smjer debljine. Program koristi normalu kompenzacijske ravnine oko odgovarajuće točke u z smjeru. Lokalni x smjer rezultira kao produkt presjeka vektora normale ravnine i globalne y osi, a lokalni y smjer rezultira kao produkt lokalne z i x osi, sl. 45 [199].



**Slika 45** Pozicioniranje lokalnog koordinatnog sustava na površini objekta u sustavu Aramis [199]

Deformacija se definira kao omjer produljenja i referentne početne duljine uslijed djelovanja sile. Kod tehničke deformacije omjer istežanja elemenata predstavlja kvocijent trenutne duljine  $l_1$  i referentne duljine  $l_0$  i može se predstaviti izrazom (42):

$$\lambda = \frac{l_1}{l_0} = \frac{l_0 + \Delta l}{l_0} = 1 + \varepsilon \Leftrightarrow l_1 = l_0 \lambda = l_0 (1 + \varepsilon) \Rightarrow \lambda = 1 + \varepsilon \quad (42)$$

Deformacije tijela mogu se sagledavati u nekoliko koraka. Ako se tijelo produlji za  $\Delta l$ , u svakom deformacijskom koraku tijelo ima novu referentnu duljinu:

$$\Delta l = \Delta l_1 + \Delta l_2 + \dots + \Delta l_n = \sum_{i=1}^n \Delta l_i \quad (43)$$

Za tehničku deformaciju vrijedi nejednakost:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta l_i}{l_0} \neq \frac{\Delta l_1}{l_0} + \frac{\Delta l_2}{l_0 + \Delta l_1} + \dots + \frac{\Delta l_n}{l_0 + \sum_{i=1}^{n-1} \Delta l_i} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \dots + \varepsilon_n = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \quad (44)$$

Što znači da ukupna deformacija nije jednaka zbroju pojedinačnih deformacija. Infinitesimalna promjena deformacija elementa definirana je kao:

$$d\varepsilon = \frac{dl}{l} \quad (45)$$

Stoga se deformacija može promatrati kao integral infinitesimalne promjene:

$$\varepsilon = \int_{l_0}^{l_1} \frac{1}{l} dl = [\ln(l)]_{l_0}^{l_1} = \ln(l_1) - \ln(l_0) = \ln\left(\frac{l_1}{l_0}\right) = \ln(\lambda) = \ln(1 + \varepsilon) \quad (46)$$

Ova deformacija naziva se stvarna ili logaritamska deformacija. S obzirom da deformacija uzima u obzir infinitesimalne promjene, uvijek se referira na trenutno stanje.

Tehnička deformacija:

$$l_2 = \lambda_2 \cdot l_1 = \lambda_2 \cdot (\lambda_1 \cdot l_0) = (\lambda_2 \cdot \lambda_1) \cdot l_0 = (1 + \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_1 \varepsilon_2) \cdot l_0 \quad (47)$$

Stvarna deformacija:

$$l_2 = \ln(\lambda_1 \cdot \lambda_2) \cdot l_0 = [\ln(\lambda_1) + \ln(\lambda_2)] \cdot l_0 = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) \cdot l_0 \quad (48)$$

Položaj u postoru ( $x$ ) i vrijeme ( $t$ ) mogu se opisati funkcijom:  $\vec{x} = x(\vec{X}, t)$ .

Koordinate u početnoj konfiguraciji mogu se opisati pomoću Kartezijevih jediničnih vektora  $\vec{e}_1, \vec{e}_2, \vec{e}_3$ .

$$\vec{X} = \sum_{i=1}^3 X_i \cdot \vec{e}_i \quad (49)$$

Deformacija tijela je promjena oblika u prostoru kroz vrijeme. Promjena funkcije u prostoru je njen gradijent. Stoga se gradijent deformacije može definirati kao:

$$F = \text{grad}(\vec{X}(\vec{X}, t)) = \frac{dX_i}{dX_j} \vec{e}_i \vec{e}_j = \begin{bmatrix} F_{11} & F_{12} & F_{13} \\ F_{21} & F_{22} & F_{23} \\ F_{31} & F_{32} & F_{33} \end{bmatrix} \quad (50)$$

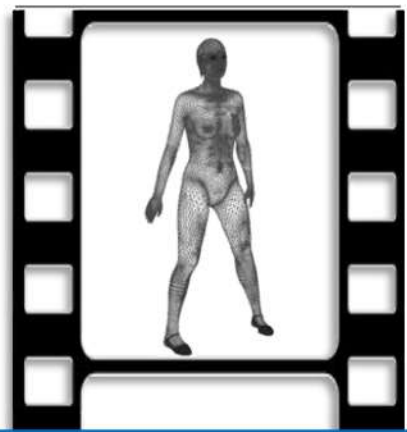
pri čemu je:

$$F_{ij} = \frac{\partial X_i}{\partial X_j} \quad (51)$$

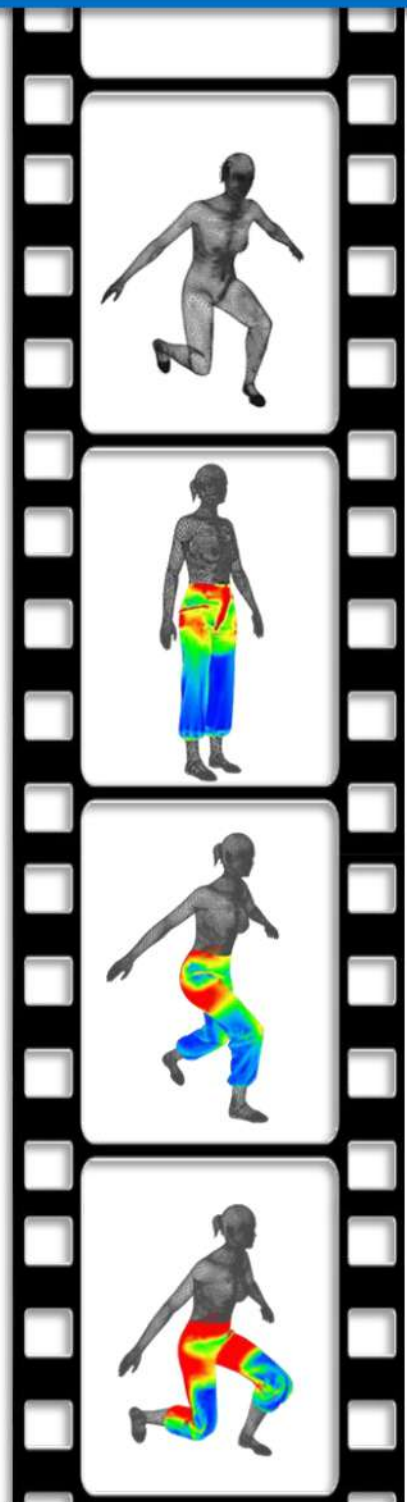
S obzirom da definicija uzima u obzir materijalne koordinate,  $F$  se naziva materijalni deformacijski gradijent ili Green-Lagrange tenzor naprezanja [199].





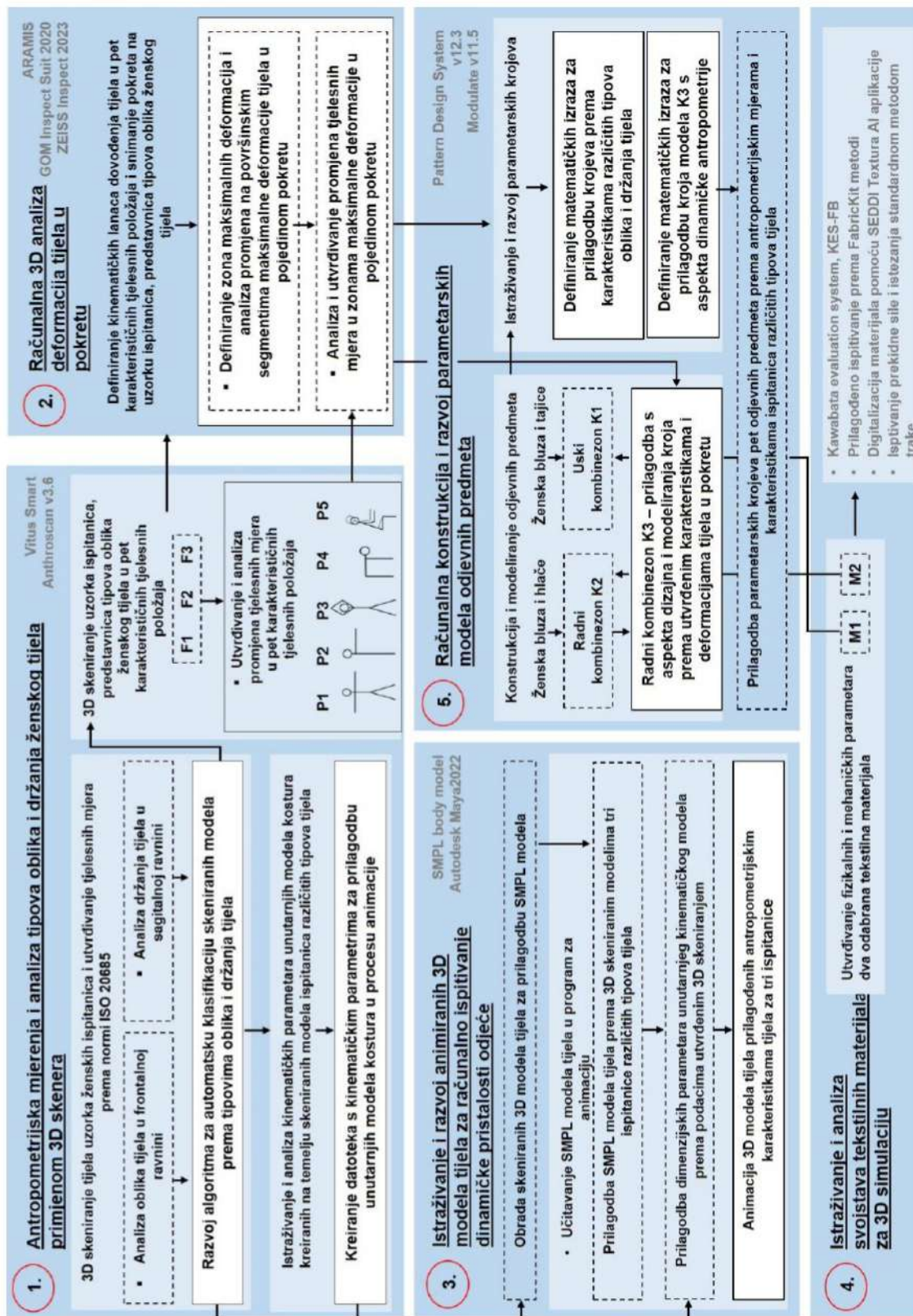


### 3. METODOLOGIJA

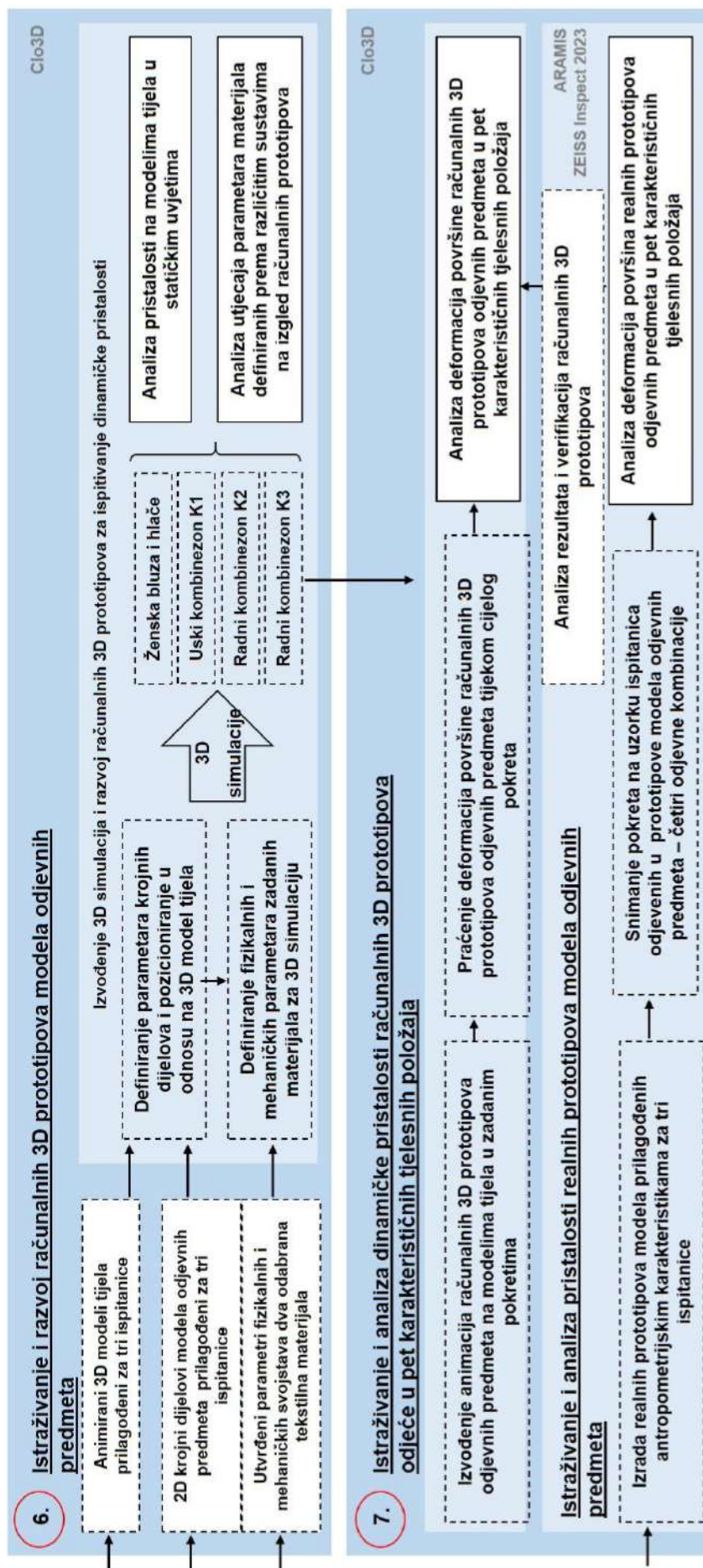


### 3. METODOLOGIJA

Na temelju postavljenih hipoteza definirana je metodologija doktorskog istraživanja, prikazana u narednim točkama. Na sl. 46 i sl. 47 prikazan je plan rada doktorskog istraživanja.



Slika 46 Plan rada doktorskog istraživanja – (A)



Slika 47 Plan rada doktorskog istraživanja – (B)



### 3.1. Antropometrijska mjerenja i analiza tipova oblika i držanja ženskog tijela primjenom 3D skenera

U ovoj točki rada prikazana je prva cjelina istraživanja, koja obuhvaća antropometrijsku analizu tipova oblika i držanja ženskog tijela primjenom 3D skenera te razvoj algoritma za klasifikaciju tipova tijela na temelju skeniranih 3D modela. Za statističku obradu podataka u istraživanju, korišten je program *Statistica*.

#### 3.1.1. 3D skeniranje i analiza strukture uzorka ispitanica na temelju glavnih tjelesnih mjera

Primjenom laserskog 3D skenera Vitus Smart provedeno je skeniranje uzorka ženske populacije od 126 odraslih ispitanica u dobi od 20 do 40 godina. Ispitanice su skenirane prema ISO normi 20685, opisanoj u toč. 2.2.3.2. Primjenom programa *Anthroscan*, metodom automatskog utvrđivanja tjelesnih mjera, na skeniranim 3D modelima tijela utvrđene su 133 mjere za svaku ispitanicu. Dodatno su interaktivnim postupkom mjerenja određene dodatne mjere širina tijela na karakterističnim opsezima u frontalnoj ravnini, potrebne kod definiranja varijabli za daljnju analizu oblika tijela. S obzirom da se odjevne veličine i konvencionalna konstrukcija odjeće temelje na glavnim tjelesnim mjerama, prvenstveno mjeri opsega grudi, pri statističkoj obradi, analiza strukture uzorka provedena je upravo s obzirom na glavne tjelesne mjere opsega grudi (*Og*), struka (*Os*) i bokova (*Ob*), što je prikazano u poglavlju Rezultati i rasprava, točka 4.1.1.

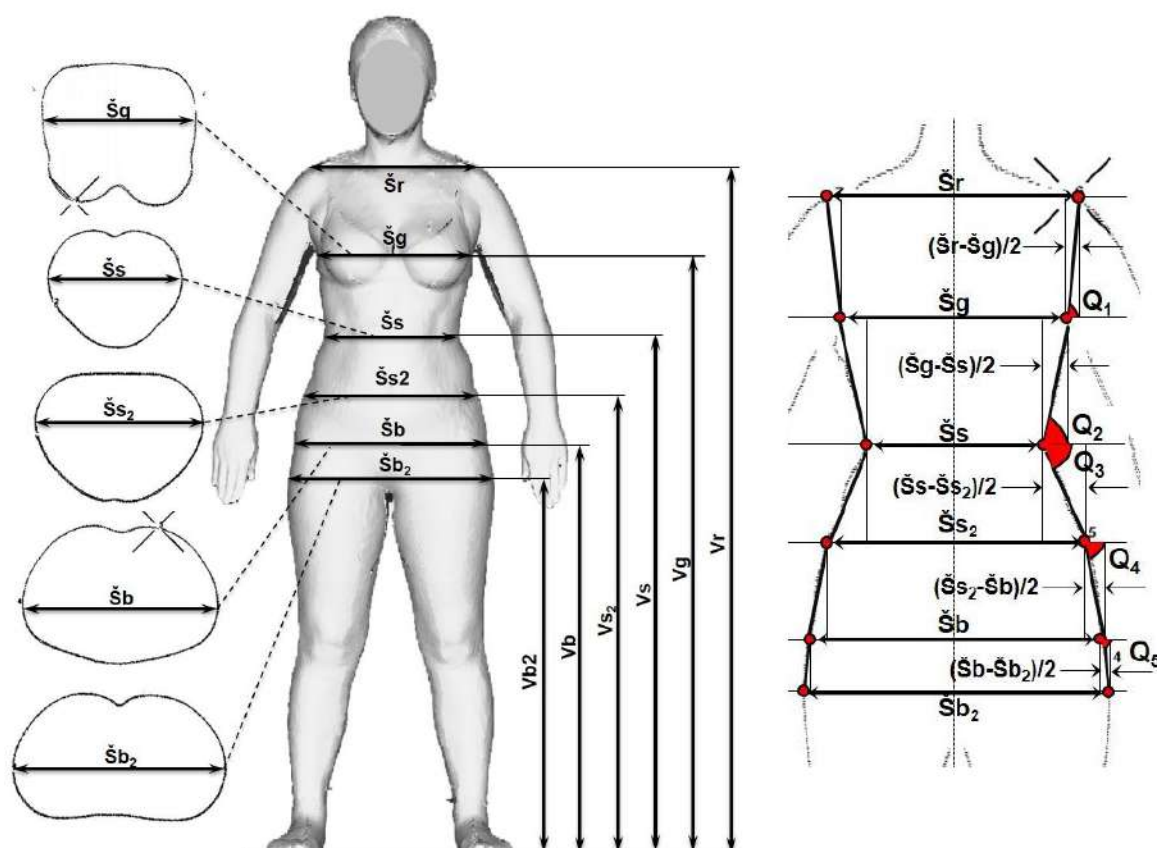
#### 3.1.2. Analiza oblika tijela u frontalnoj ravnini

Iz ukupnog seta antropometrijskih mjera selektirano je 12 mjera na temelju kojih su definirani indikatori oblika tijela, tab. 2. Pretpostavka je da se utvrđivanjem odnosa vrijednosti odabranih mjera mogu opisati bočne krivulje figure tijela i na taj način klasificirati oblik figure. Odabrano je šest mjera širina tijela na karakterističnim područjima ramena, grudi, struka i bokova, gledano u frontalnoj ravnini, zajedno sa šest pripadajućih visina mjerenih od tla u stojećem položaju. Odnosima vrijednosti odabranih mjera moguće je opisati bočne krivulje figure tijela i na taj način klasificirati oblik, sl. 48.



**Tablica 2** Selektirane tjelesne mjere za izračun indikatora oblika tijela

| RB  | Oznaka          | Opis tjelesne mjere                                                                |
|-----|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | $\bar{S}_r$     | Širina ramena mjerena između točaka vrha ramena                                    |
| 2.  | $V_r$           | Visina ramena mjerena od vrha ramena do podloge                                    |
| 3.  | $\bar{S}_g$     | Širina grudi mjerena na liniji opsega grudi                                        |
| 4.  | $V_g$           | Visina grudi mjerena od linije opsega grudi do podloge                             |
| 5.  | $\bar{S}_s$     | Širina struka mjerena na liniji opsega struka definiranog kao najužeg opsega torza |
| 6.  | $V_s$           | Visina struka mjerena od linije opsega struka do podloge                           |
| 7.  | $\bar{S}_{s_2}$ | Širina struka 2 mjerena na liniji opsega spuštenog struka                          |
| 8.  | $V_{s_2}$       | Visina struka 2 mjerena od linije spuštenog struka do podloge                      |
| 9.  | $\bar{S}_b$     | Širina bokova mjerena na liniji opsega najistaknutijeg dijela stražnjice           |
| 10. | $V_b$           | Visina bokova mjerena od linije opsega stražnjice do podloge                       |
| 11. | $\bar{S}_{b_2}$ | Širina bokova 2 mjerena na liniji najvećeg opsega bokova                           |
| 12. | $V_{b_2}$       | Visina bokova 2 mjerena od linije najvećeg opsega bokova do podloge                |

**Slika 48** Definiranje kutova bočne krivulje tijela kao indikatora oblika

Na temelju selektiranih mjera, izračunati su kutovi između ravnina pozicioniranih kroz karakteristične antropometrijske točke koji opisuju bočne krivulje tijela u frontalnoj ravnini. Definirano je pet indikatora oblika tijela: kut  $Q_1$  između linije ramena i grudi (izraz 52), kut  $Q_2$  između linije grudi i struka (izraz 53), kut  $Q_3$  između linije struka i spuštenog struka (izraz 54), kut  $Q_4$  između linije spuštenog struka i bokova (izraz 55), i kut  $Q_5$  između linije bokova i linije najvećeg opsega bokova (izraz 56).

$$Q_1 = \arctan \frac{(\dot{s}_r - \dot{s}_g)/2}{V_r - V_g} [^\circ] \quad (52)$$

$$Q_2 = \arctan \frac{(\dot{s}_g - \dot{s}_s)/2}{V_g - V_s} [^\circ] \quad (53)$$

$$Q_3 = \arctan \frac{(\dot{s}_s - \dot{s}_{s2})/2}{V_s - V_{s2}} [^\circ] \quad (54)$$

$$Q_4 = \arctan \frac{(\dot{s}_{s2} - \dot{s}_b)/2}{V_{s2} - V_b} [^\circ] \quad (55)$$

$$Q_5 = \arctan \frac{(\dot{s}_b - \dot{s}_{b2})/2}{V_b - V_{b2}} [^\circ] \quad (56)$$

### 3.1.2.1. Klaster analiza prema definiranim indikatorima oblika tijela

Za podjelu uzorka u broj klastera maksimalno različitih oblika tijela korištena je k-means klaster metoda. Metoda omogućuje samostalno definiranje broja klastera, a analizom varijance mogu se utvrditi razlike između skupina u svakom pokazatelju. Kako bi se definirao maksimalan broj klastera, provedene su i analizirane varijante s tri i četiri klastera. Analizom varijanci, pri čemu se gleda međusobna udaljenost između klastera i blizina unutar klastera te značajnost srednje vrijednosti indikatora  $p$ , utvrđena je najbolja podjela na tri maksimalno različite skupine oblika tijela u promatranom uzorku ispitanica, tab. 3.

Diskriminantna analiza korištena je s ciljem utvrđivanja razlika između dobivenih klastera u definiranim indikatorima oblika tijela te određivanja značajnosti indikatora za pripadnost pojedinom klasteru. Pri tome su utvrđene dvije diskriminantne funkcije (DF1 i DF2) koje statistički značajno razlikuju tri tipa oblika tijela u frontalnoj ravnini, tab. 4.

**Tablica 3** Podjela uzorka na tri i četiri klastera oblika tijela i analiza varijanci

| Broj<br>klastera |           | Indikatori oblika tijela |                |                |                |                |
|------------------|-----------|--------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                  |           | Q <sub>1</sub>           | Q <sub>2</sub> | Q <sub>3</sub> | Q <sub>4</sub> | Q <sub>5</sub> |
| 3                | SS između | 366,57                   | 82,23          | 613,43         | 470,26         | 259,27         |
|                  | SS unutar | 709,99                   | 551,53         | 796,37         | 585,38         | 766,93         |
|                  | <i>F</i>  | 31,75                    | 9,17           | 47,37          | 49,41          | 20,79          |
|                  | <i>p</i>  | 0,0000                   | 0,0001         | 0,0000         | 0,0000         | 0,0000         |
| 4                | SS između | 459,12                   | 92,82          | 724,48         | 564,56         | 339,75         |
|                  | SS unutar | 617,44                   | 540,93         | 685,32         | 491,08         | 686,45         |
|                  | <i>F</i>  | 30,24                    | 6,98           | 42,99          | 46,75          | 20,13          |
|                  | <i>p</i>  | 0,0000                   | 0,0002         | 0,0000         | 0,0000         | 0,0000         |

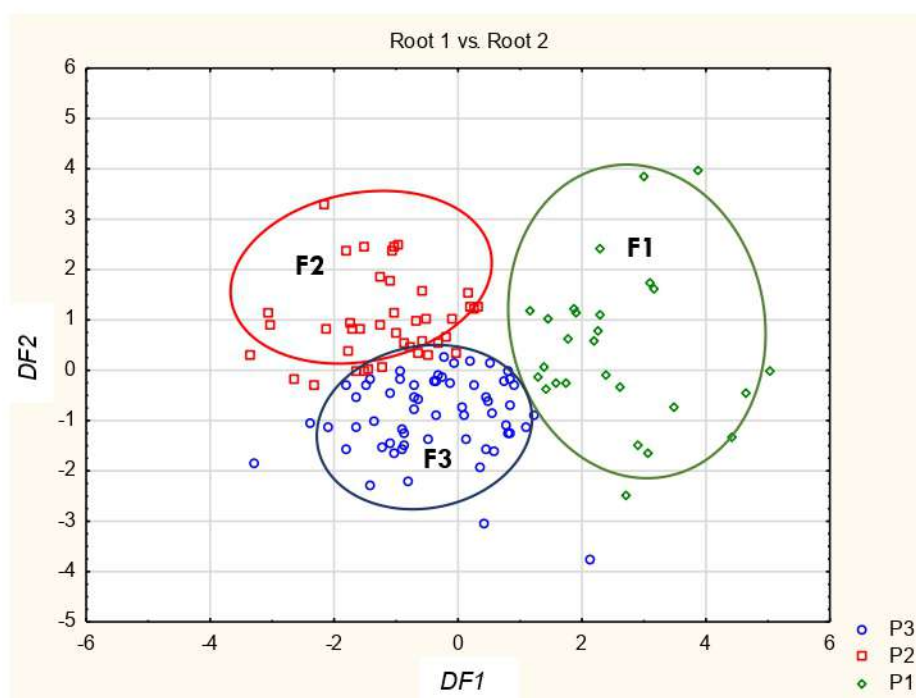
*SS između* – varijanca između grupa, *SS unutar* – varijanca unutar grupa, *F* – empirijski omjer, *p* – razina značajnosti (značajne su vrijednosti  $p < 0,05$ )

**Tablica 4** Diskriminantna analiza tipova oblika tijela

| Diskriminantna<br>funkcija | $\lambda$ | $R_c$ | $W\lambda$ | <i>df</i> | <i>p</i> |
|----------------------------|-----------|-------|------------|-----------|----------|
| DF1                        | 1,863     | 0,807 | 0,194      | 10        | 0,000    |
| DF2                        | 0,796     | 0,666 | 0,557      | 4         | 0,000    |

$\lambda$  – svojstvena vrijednost diskriminantne funkcije,  $R_c$  – kanonski koeficijent korelacije,  $W\lambda$  – Wilksova lambda diskriminantne funkcije, *p* – razina značajnosti

Na sl. 49 prikazani su centriodi klastera u koordinatnom sustavu prve i druge diskriminantne funkcije, na kojoj je vidljiv utjecaj pojedine funkcije na razliku između klastera. Uočljivo je da prva diskriminantna funkcija razlikuje tip F1 od tipa F2 i F3, dok druga diskriminantna funkcija razlikuje tipove F2 i F3. Analizom strukture diskriminantnih funkcija i položaja centroida utvrđenih klastera oblika tijela utvrđena je korelacija s indikatorima oblika tijela. Prema rezultatima korelacije indikatora oblika tijela s prvom diskriminacijskom funkcijom, indikator Q<sub>4</sub> najviše pridonosi razlici između klastera, a slijede ga indikatori Q<sub>3</sub> i Q<sub>1</sub> s također značajnim vrijednostima. S obzirom da prema grafikonu položaja centroida, prva diskriminantnom funkcija razlikuje tip F1 od tipova F2 i F3, možemo zaključiti da su indikatori Q<sub>4</sub>, Q<sub>3</sub> i Q<sub>1</sub> najznačajniji za razlikovanje oblika tijela tip F1.



**Slika 49** Centroidi tipova oblika tijela u koordinatnom sustavu prve i druge diskriminantne funkcije

**Tablica 5** Struktura diskriminantnih funkcija

|                                 | DF1    | DF2    |
|---------------------------------|--------|--------|
| Q <sub>1</sub>                  | 0,472  | 0,320  |
| Q <sub>2</sub>                  | -0,177 | 0,419  |
| Q <sub>3</sub>                  | -0,498 | 0,738  |
| Q <sub>4</sub>                  | 0,658  | 0,065  |
| Q <sub>5</sub>                  | 0,384  | 0,412  |
| Svojstvena vrijednost $\lambda$ | 1,863  | 0,796  |
| Kumulativna proporcija          | 0,701  | 1,000  |
| F1                              | 2,531  | 0,502  |
| F2                              | -1,186 | 1,005  |
| F3                              | -0,291 | -0,920 |

Prema kumulativnoj proporciji objašnjene varijance, prva diskriminantna funkcija je odgovorna za 71,8% različitosti u ukupnom uzorku. Također, s obzirom na višu vrijednost kanonskog koeficijenta (0,807), što pokazuje veću značajnost prve diskriminantne funkcije na razlikovanje tipova, možemo zaključiti da se tip F1 značajnije razlikuje od tipova F2 i F3, tab. 5. Korelacija indikatora oblika tijela s drugom diskriminantnom funkcijom pokazuje da indikator Q<sub>3</sub>, a zatim indikator Q<sub>2</sub> i Q<sub>5</sub> najviše doprinose razlici između klastera. S obzirom da druga diskriminantna funkcija prema položaju centroida razlikuje tip F2 i tip F3 možemo zaključiti da su indikator Q<sub>3</sub>, Q<sub>2</sub> i Q<sub>5</sub> najznačajniji za razlikovanje tipova F2 i F3, tab. 5.

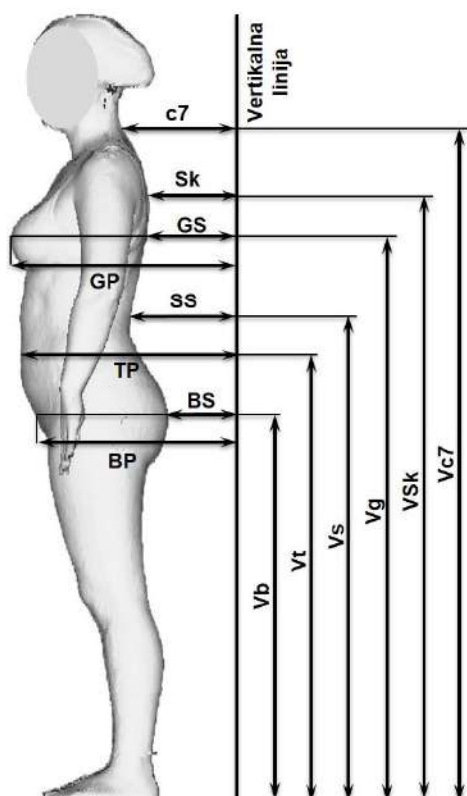


### 3.1.3. Analiza držanja tijela u sagitalnoj ravnini

Iz ukupnog seta antropometrijskih mjera selektirano je 14 mjera na temelju kojih su definirani indikatori držanja tijela u sagitalnoj ravnini, tab. 6, sl. 50.

**Tablica 6** Selektirane tjelesne mjere za izračun indikatora držanja tijela

| RB  | Oznaka     | Opis tjelesne mjere                                                                                  |
|-----|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | <i>c7</i>  | Udaljenost sedmog vratnog kralješka od vertikalne posteriorne ravnine                                |
| 2.  | <i>Vc7</i> | Visina sedmog vratnog kralješka mjereno od podloge                                                   |
| 3.  | <i>Sk</i>  | Udaljenost najistaknutije točke scapule od vertikalne posteriorne ravnine                            |
| 4.  | <i>VSk</i> | Visina najistaknutije točke scapule mjereno od podloge                                               |
| 5.  | <i>GS</i>  | Udaljenost točke na stražnjoj sredini linije grudi od vertikalne posteriorne ravnine                 |
| 6.  | <i>Vg</i>  | Visina grudi mjerena od linije opsega grudi do podloge                                               |
| 7.  | <i>SS</i>  | Udaljenost točke na stražnjoj sredini linije struka od vertikalne posteriorne ravnine                |
| 8.  | <i>Vs</i>  | Visina struka mjerena od linije opsega struka do podloge                                             |
| 9.  | <i>BS</i>  | Udaljenost najistaknutije točke na stražnjoj sredini linije bokova od vertikalne posteriorne ravnine |
| 10. | <i>Vb</i>  | Visina bokova mjerena od linije opsega stražnjice do podloge                                         |
| 11. | <i>GP</i>  | Udaljenost točke na prednjoj sredini linije grudi od vertikalne posteriorne ravnine                  |
| 12. | <i>TP</i>  | Udaljenost najistaknutije točke na prednjoj strani trbuha od vertikalne posteriorne ravnine          |
| 13. | <i>Vt</i>  | Visina najistaknutije točke na prednjoj strani trbuha mjereno od podloge                             |
| 14. | <i>BP</i>  | Udaljenost najistaknutije točke na prednjoj strani opsega bokova od vertikalne posteriorne ravnine   |



**Slika 50** Odabrane tjelesne mjere za izračun indikatora držanja tijela

Na temelju selektiranih mjera, indikatori držanja definirani su kao kutovi koji opisuju krivulju stražnje sredine tijela u sagitalnoj ravnini, sl. 51 te se izračunavaju prema definiranim izrazima (57) do (62).

$$Q_1 = \arctan \frac{\Delta c7-GS}{\Delta Vc7-Vg} [^\circ] \quad (57)$$

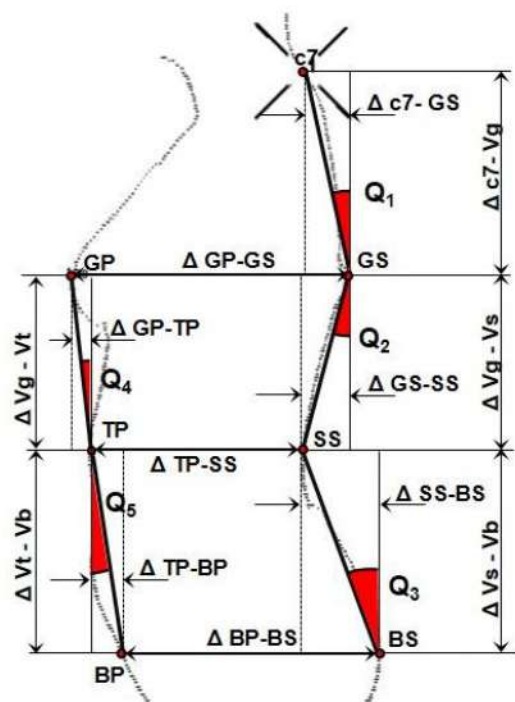
$$Q_2 = \arctan \frac{\Delta GS-SS}{\Delta Vg-Vs} [^\circ] \quad (58)$$

$$Q_3 = \arctan \frac{\Delta SS-BS}{\Delta Vs-Vb} [^\circ] \quad (59)$$

$$Q_4 = \arctan \frac{\Delta GP-TP}{\Delta Vg-Vt} [^\circ] \quad (60)$$

$$Q_5 = \arctan \frac{\Delta TP-BP}{\Delta Vt-Vb} [^\circ] \quad (61)$$

$$Q_6 = \arctan \frac{\Delta c7-Sk}{\Delta Vc7-VSk} [^\circ] \quad (62)$$



**Slika 51** Definiranje kutova prednje i stražnje krivulje tijela kao indikatora držanja

Analiza držanja tijela podijeljena je u dvije faze. U prvoj fazi analizirano je držanje gornjeg dijela tijela u području između sedmog vrtnog kralješka i linije opsega struka, pri čemu su uzeti u obzir indikatori  $Q_6$ ,  $Q_1$ ,  $Q_2$  i  $Q_4$ . U drugoj fazi analizirano je držanje donjeg dijela tijela u području od linije grudi do linije bokova s naglaskom na područje zdjelice, pri čemu su uzeti u obzir indikatori  $Q_2$ ,  $Q_3$  i  $Q_5$ . S obzirom da se područje struka najčešće uzima kao granica između gornjeg i donjeg dijela trupa i u području medicinske dijagnostike strukturalne promjene kralježnice se uglavnom procjenjuju u odnosu na zakrivljenost tog dijela tijela, indikator  $Q_2$  obuhvaćen je i u prvoj i u drugoj fazi analize držanja.

### 3.1.3.1. Klaster analiza prema definiranim indikatorima držanja tijela

Za podjelu uzorka u broj klastera maksimalno različitih tipova držanja gornjeg i donjeg dijela tijela korištena je k-means klaster metoda pri čemu su provedene i analizirane varijante s tri i četiri klastera. Analizom varijanci utvrđena je najbolja podjela na tri maksimalno različite skupine držanja gornjeg i donjeg dijela tijela u promatranom uzorku ispitanica, tab. 7 i tab. 8.

**Tablica 7** Podjela uzorka na tri i četiri klastera i analiza varijanci – gornji dio tijela

| Broj klastera |           | Indikatori držanja gornjeg dijela tijela |                |                |                |
|---------------|-----------|------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|
|               |           | Q <sub>6</sub>                           | Q <sub>1</sub> | Q <sub>2</sub> | Q <sub>4</sub> |
| 3             | SS između | 1166,263                                 | 1039,984       | 942,708        | 988,774        |
|               | SS unutar | 1248,951                                 | 853,796        | 1526,766       | 1585,246       |
|               | F         | 57,428                                   | 74,911         | 37,973         | 38,360         |
|               | p         | 0,000                                    | 0,000          | 0,000          | 0,000          |
| 4             | SS između | 1256,722                                 | 1082,159       | 1228,121       | 1197,984       |
|               | SS unutar | 1158,493                                 | 811,622        | 1241,353       | 1376,036       |
|               | F         | 44,115                                   | 54,222         | 40,233         | 35,405         |
|               | p         | 0,000                                    | 0,000          | 0,000          | 0,000          |

SS između – varijanca između grupa, SS unutar – varijanca unutar grupa, F – empirijski omjer, p – razina značajnosti (značajne su vrijednosti  $p < 0,05$ )

**Tablica 8** Podjela uzorka na tri i četiri klastera i analiza varijanci – donji dio tijela

| Broj klastera |           | Indikatori držanja donjeg dijela tijela |                |                |
|---------------|-----------|-----------------------------------------|----------------|----------------|
|               |           | Q <sub>2</sub>                          | Q <sub>3</sub> | Q <sub>5</sub> |
| 3             | SS između | 1319,308                                | 705,676        | 1233,831       |
|               | SS unutar | 1150,165                                | 916,602        | 1312,852       |
|               | F         | 70,544                                  | 47,348         | 57,798         |
|               | p         | 0,000                                   | 0,000          | 0,000          |
| 4             | SS između | 1317,946                                | 789,742        | 1771,926       |
|               | SS unutar | 1151,528                                | 832,535        | 774,757        |
|               | F         | 46,544                                  | 38,576         | 93,008         |
|               | p         | 0,000                                   | 0,000          | 0,000          |

SS između – varijanca između grupa, SS unutar – varijanca unutar grupa, F – empirijski omjer, p – razina značajnosti (značajne su vrijednosti  $p < 0,05$ )

Diskriminantnom analizom, i kod gornjeg i kod donjeg dijela tijela utvrđene su dvije funkcije koje prema svojstvenim vrijednostima kanonskih koeficijenata ( $R_c$ ) statistički značajno razlikuju tri tipa držanja gornjeg dijela tijela u sagitalnoj ravnini. Kod gornjeg dijela tijela utvrđene vrijednosti kanonskih koeficijenata prve i druge diskriminantne funkcije su približno jednake (DF1 0,784 i DF2 0,707) što ukazuje na približno jednaku značajnost obje diskriminantne funkcije na razlikovanje tipova držanja gornjeg dijela tijela tab. 9. Na sl. 52 prikazani su centri klastera u koordinatnom sustavu prve i druge diskriminantne funkcije na kojoj je vidljiv

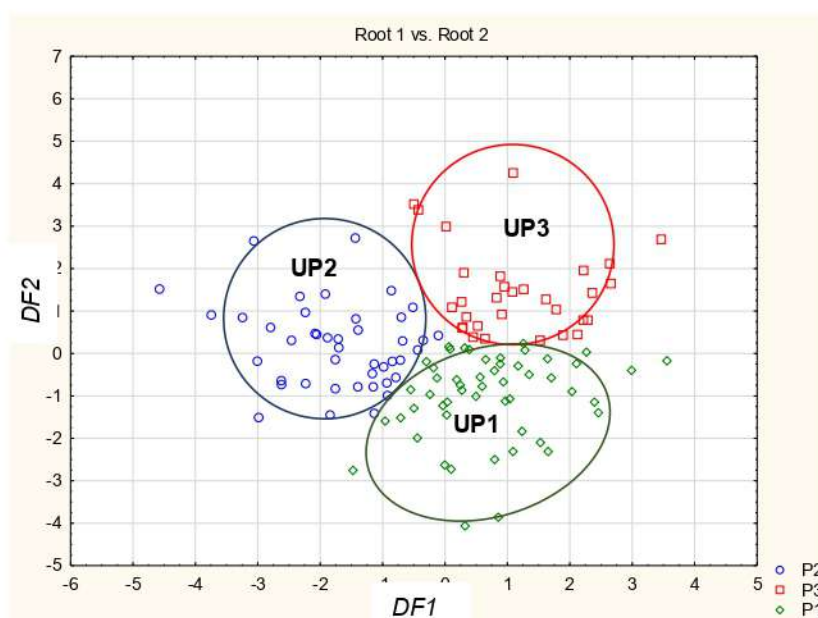


utjecaj pojedine funkcije na razliku između klastera držanja gornjeg dijela tijela. Uočljivo je da prva diskriminantna funkcija razlikuje tip UP2 od tipova UP1 i UP3, dok druga diskriminantna funkcija razlikuje tipove UP1 i UP3.

**Tablica 9** Diskriminantna analiza tipova držanja gornjeg dijela tijela

| Diskriminantna funkcija | $\lambda$ | $R_c$ | $W\lambda$ | $df$ | $p$   |
|-------------------------|-----------|-------|------------|------|-------|
| DF1                     | 1,590     | 0,784 | 0,193      | 8    | 0,000 |
| DF2                     | 0,998     | 0,707 | 0,500      | 3    | 0,000 |

$\lambda$  – svojstvena vrijednost diskriminantne funkcije,  $R_c$  – kanonski koeficijent korelacije,  $W\lambda$  – Wilksova lambda diskriminantne funkcije,  $p$  – razina značajnosti



**Slika 52** Centroidi tipova držanja gornjeg dijela tijela u koordinatnom sustavu prve i druge diskriminantne funkcije

Analizom strukture diskriminantnih funkcija i položaja centroida utvrđenih klastera držanja gornjeg dijela tijela, utvrđena je korelacija s definiranim indikatorima. Prema rezultatima korelacije indikatora držanja gornjeg dijela tijela s prvom diskriminantnom funkcijom, indikator  $Q_1$  najviše pridonosi razlici između klastera, a slijedi ga indikator  $Q_6$ . S obzirom da prema grafikonu položaja centroida, prva diskriminantna funkcija razlikuje tip UP2 od tipova UP3 i UP1, možemo zaključiti da su indikatori  $Q_1$  i  $Q_6$  najznačajniji za razlikovanje UP2 tipa držanja gornjeg dijela tijela, sl. 52. Prema kumulativnoj proporciji objašnjene varijance, prva diskriminantna funkcija je odgovorna za 61,4% različitosti u ukupnom uzorku, tab. 10.

Korelacija indikatora oblika tijela s drugom diskriminantnom funkcijom pokazuje da indikatori  $Q_2$  i  $Q_4$  najviše doprinose razlici između klastera. S obzirom da druga diskriminantna funkcija prema položaju centroida razlikuje tip UP1 od tipova UP2 i UP3, možemo zaključiti da su indikatori  $Q_2$  i  $Q_4$  najznačajniji za razlikovanje tipa UP1 od tipova UP2 i UP3, sl. 52.

**Tablica 10** Struktura diskriminantnih funkcija

|                                 | DF1    | DF2    |
|---------------------------------|--------|--------|
| $Q_6$                           | 0,384  | 0,123  |
| $Q_1$                           | 0,614  | 0,364  |
| $Q_2$                           | -0,437 | 0,504  |
| $Q_4$                           | 0,155  | -0,715 |
| Svojstvena vrijednost $\lambda$ | 1,590  | 0,998  |
| Kumulativna proporcija          | 0,614  | 1,000  |
| UP1                             | 0,724  | -1,028 |
| UP2                             | -1,714 | 0,190  |
| UP3                             | 1,163  | 1,462  |

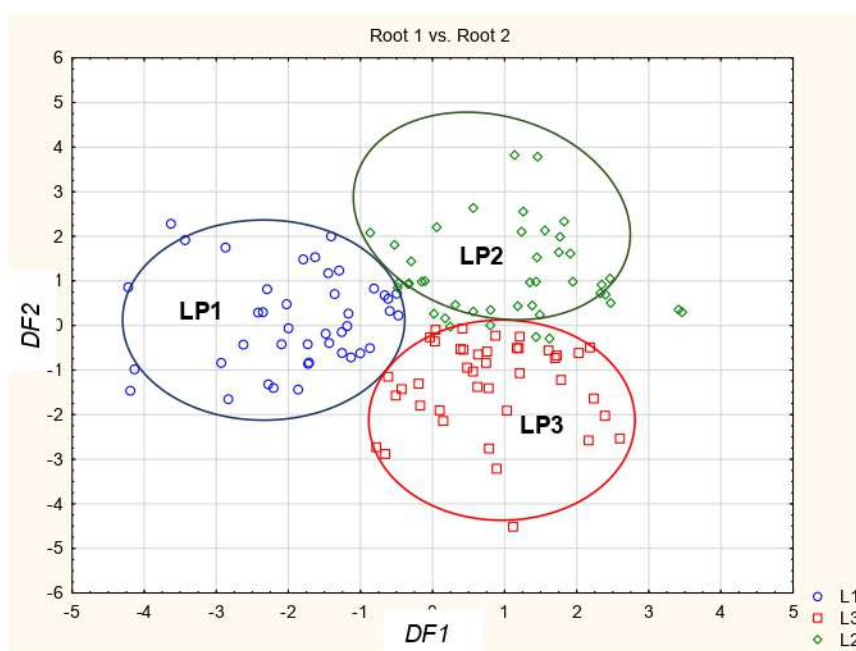
Kod donjeg dijela tijela prema utvrđenim vrijednostima kanonskih koeficijenata diskriminantnih funkcija, prva funkcija (DF1 0,803) pokazuje nešto veću značajnost kod razlikovanja tipova držanja gornjeg dijela tijela, tab. 11.

**Tablica 11** Diskriminantna analiza tipova držanja donjeg dijela tijela

| Diskriminantna funkcija | $\lambda$ | $R_c$ | $W\lambda$ | $df$ | $p$   |
|-------------------------|-----------|-------|------------|------|-------|
| DF1                     | 1,819     | 0,803 | 0,175      | 6    | 0,000 |
| DF2                     | 1,027     | 0,712 | 0,493      | 2    | 0,000 |

$\lambda$  – svojstvena vrijednost diskriminantne funkcije,  $R_c$  – kanonski koeficijent korelacije,  $W\lambda$  – Wilksova lambda diskriminantne funkcije,  $p$  – razina značajnosti

Na sl. 53 prikazani su centriodi klastera u koordinatnom sustavu prve i druge diskriminantne funkcije, na kojoj je vidljiv utjecaj pojedine funkcije na razliku između klastera. Uočljivo je da prva diskriminantna funkcija razlikuje tip LP1 od tipova LP2 i LP3, dok druga diskriminantna funkcija razlikuje tipove LP2 i LP3. Analizom strukture diskriminantnih funkcija i položaja centroida utvrđenih klastera držanja donjeg dijela tijela, utvrđena je korelacija s indikatorima držanja tijela.



**Slika 53** Centroidi tipova držanja donjeg dijela tijela u koordinatnom sustavu prve i druge diskriminantne funkcije

Prema rezultatima korelacije indikatora oblika tijela s prvom diskriminantnom funkcijom, indikator  $Q_5$  najviše pridonosi razlici između klastera, a slijede ga indikatori  $Q_2$  i zatim  $Q_3$  s također značajnim vrijednostima. S obzirom da prema grafikonu položaja centroida, prva diskriminantna funkcija razlikuje tip LP1 od tipova LP2 i LP3, možemo zaključiti da je indikator  $Q_5$  najznačajniji za razlikovanje tipa LP1 od ostala dva tipa držanja donjeg dijela tijela. Korelacija indikatora oblika tijela s drugom diskriminantnom funkcijom pokazuje da je indikator  $Q_2$  najznačajniji, a slijede ga indikatori  $Q_5$  i  $Q_3$  s nižim vrijednostima, tab. 12.

**Tablica 12** Struktura diskriminantnih funkcija i korelacija s indikatorima držanja donjeg dijela tijela

|                                 | DF1    | DF2    |
|---------------------------------|--------|--------|
| $Q_2$                           | 0,661  | -0,765 |
| $Q_3$                           | 0,418  | 0,201  |
| $Q_5$                           | 0,721  | 0,508  |
| Svojstvena vrijednost $\lambda$ | 1,819  | 1,027  |
| Kumulativna proporcija          | 0,639  | 1,000  |
| LP1                             | -1,878 | 0,120  |
| LP2                             | 1,073  | 1,134  |
| LP3                             | 0,798  | -1,311 |

S obzirom da druga diskriminantna funkcija prema položaju centroida razlikuje tipove LP2 i LP3 možemo zaključiti da indikator  $Q_2$  najjače utječe na razlikovanje ta dva tipa držanja donjeg dijela tijela. Indikator  $Q_2$  značajno korelira s obje diskriminantne funkcije pri čemu je korelacija s drugom diskriminantnom funkcijom veća, pa će se u tom kontekstu i provesti interpretacija utjecaja indikatora na razlikovanje tipova držanja donjeg dijela tijela. Tablice s rasponima vrijednosti pojedinog indikatora za pojedini tip tijela prikazane su poglavlju Rezultati i rasprava, toč. 4.1.3.

### **3.1.4. Razvoj algoritma za automatsku klasifikaciju skeniranih modela prema definiranim tipovima oblika i držanja tijela**

Na temelju rezultata statističke obrade podataka i podjele uzroka na klastere prema definiranim indikatorima oblika i držanja tijela, kreirana je klasifikacijska matrica i razvijen algoritam za automatsku klasifikaciju skeniranih modela na tipove oblika i držanja. Algoritam na temelju vrijednosti mjera utvrđenih 3D skeniranjem, prema matematičkim izrazima (52) do (62), prikazanim u toč. 3.1.2. i 3.1.3., izračunava indikatore držanja i određuje pripadnost ispitanika pojedinom tipu tijela prema definiranim rasponima vrijednosti pojedinog indikatora za svaki tip. Algoritam je razvijen u programskom jeziku *Python*. Shematski prikaz razvijenog algoritma dan je u poglavlju Rezultati i rasprava, toč. 4.1.4.

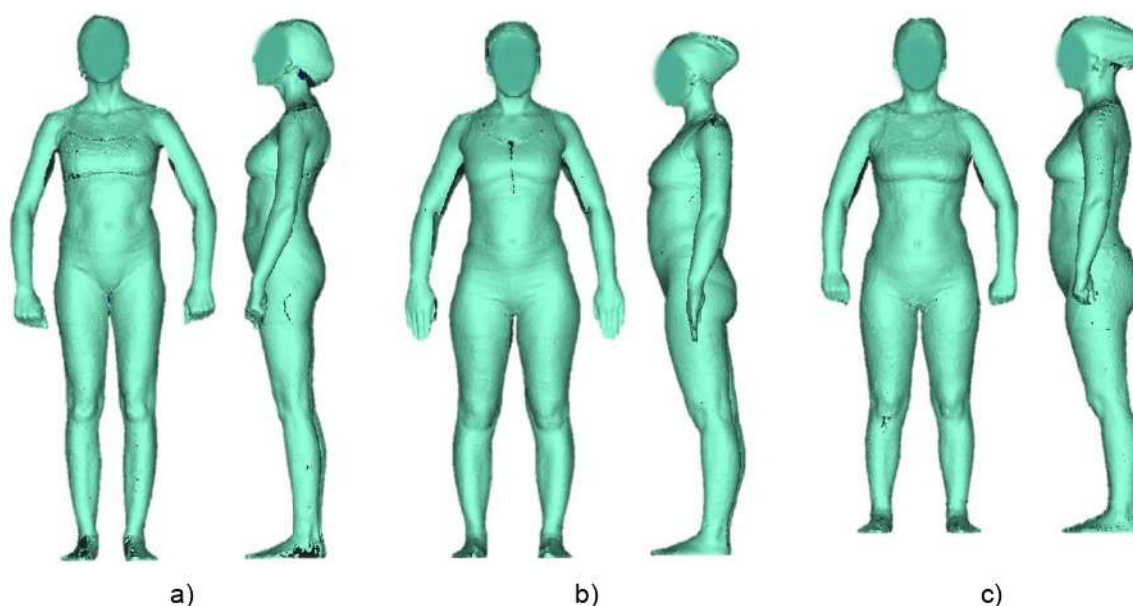
## **3.2. Istraživanje i analiza karakteristika dinamičke antropometrije tijela primjenom različitih 3D mjernih sustava**

U ovoj točki rada prikazana je cjelina istraživanja koja se odnosi na analizu karakteristika tijela s aspekta dinamičke antropometrije. Istraživanje je provedeno primjenom laserskog 3D skenera tijela Vitus Smart pri čemu su na skeniranim 3D modelima u pet definiranih karakterističnih tjelesnih položaja, analizirane promjene tjelesnih mjera. U drugom dijelu prikazane su mogućnosti i primjena optičkog mjernog sustava za analizu 3D deformacija Aramis za analizu antropometrijskih karakteristika tijela u pokretu. Pri tome su osim promjena na tjelesnim mjerama, analizirane deformacije segmenata površine tijela značajne za konstrukciju i projektiranje odjeće. Kako bi se omogućila usporedba rezultata mjerenja između dva primjenjena mjerna sustava, sva mjerenja su izvedena u istom danu, na uzorku od tri ispitanice koje reprezentativno opisuju pojedini od tri prethodno definirana tipa oblika tijela, prikazana u toč. 3.1.2. Na pozicije karakterističnih antropometrijskih točaka na tijelima ispitanica postavljeni su markeri, kako bi se omogućilo precizno utvrđivanje tjelesnih mjera i usporedba rezultata.



### 3.2.1. Uzorak ispitanica za analizu karakteristika dinamičke antropometrije tijela

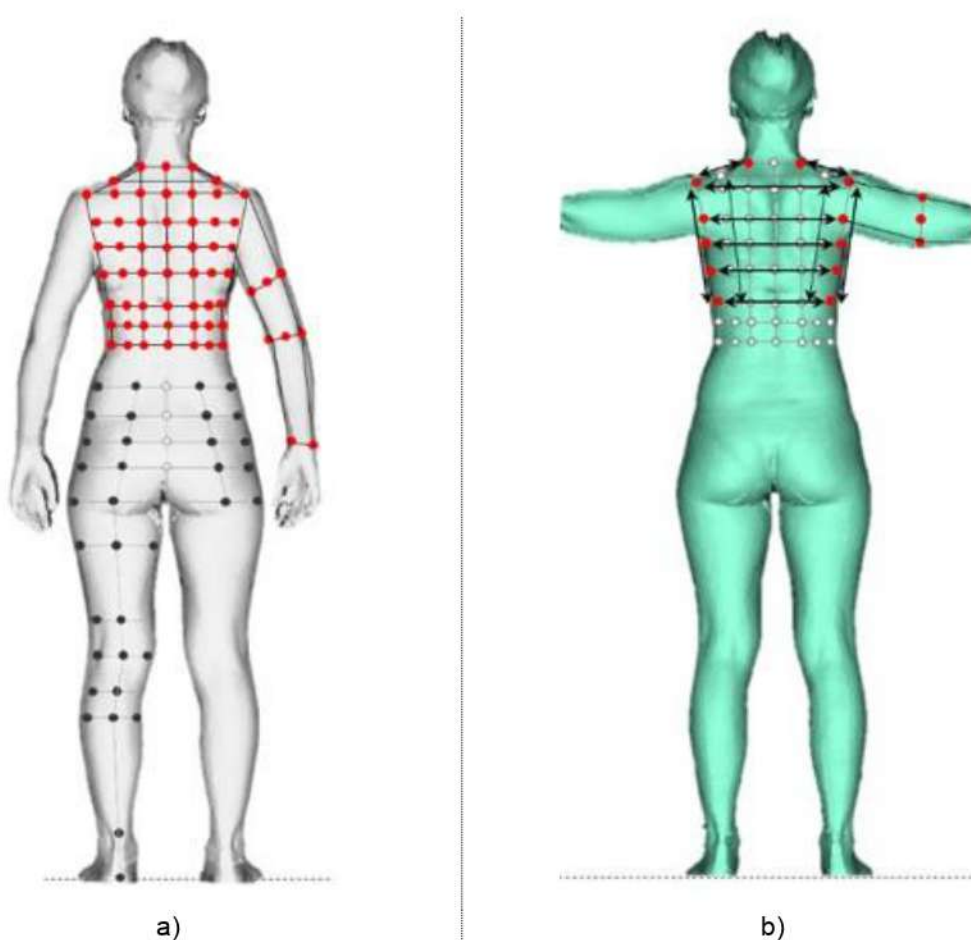
Prva ispitanica (I1) odgovara tipu oblika tijela F1 kojeg karakteriziraju gotovo jednake širine na području grudni, trbuha i bokova i nenaglašen struk, odnosno vrlo blage bočne krivulje tijela, sl. 54a. Prema konstituciji, možemo reći da ispitanica I1 pripada kombiniranom leptosomno/atletskom tipu tijela, opisanom u toč. 2.2.2. Druge dvije ispitanice (I2 i I3) imaju značajnije izražen struk i bočne krivulje tijela, a razlikuju se u području kukova i bokova. Ispitanica I2 odgovara tipu oblika tijela F2, kojeg karakteriziraju kosi nagibi bočne krivulje i specifična trokutasta forma frontalnog presjeka između struka i bokova, a prema konstituciji pripada atletskom tipu tijela, sl. 54b. Ispitanica I3 odgovara tipu tijela F3 kojeg karakterizira zaobljena bočna krivulja frontalnog presjeka u području između struka i bokova, a prema konstituciji pripada kombiniranom atletsko/pikničkom tipu tijela, sl. 54c. Tablica s vrijednostima svih tjelesnih mjera utvrđenih automatskim mjerenjem skeniranih 3D modela prema normi ISO 20685, za tri odabrane ispitanice, dana je kao prilog rezultatima istraživanja Prilog A.1



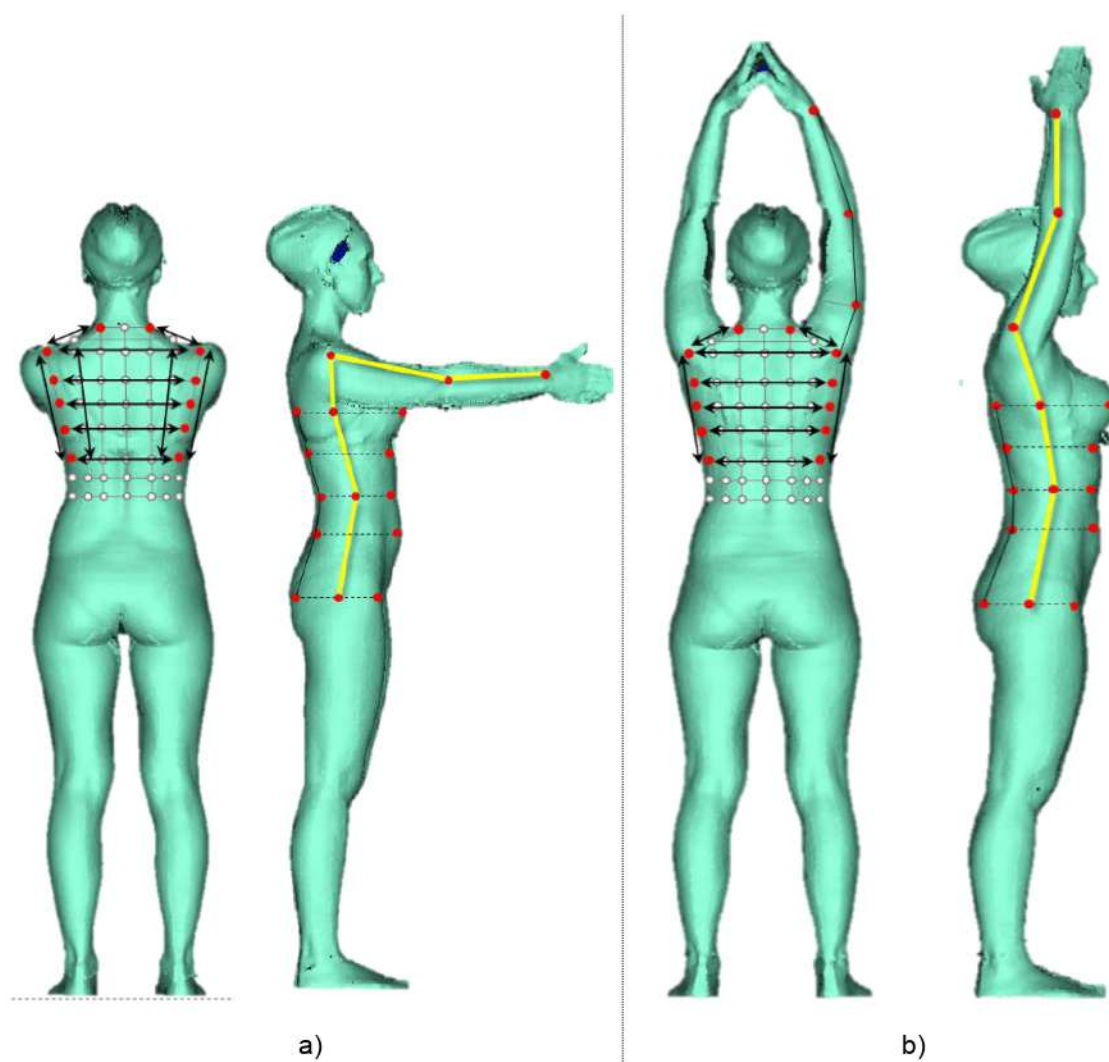
**Slika 54** Skenirani modeli tri ispitanice, predstavnice različitih tipova tijela u standardnom uspravnom položaju: a) I1 - tip tijela 1, b) I2 - tip tijela 2, c) I3 - tip tijela 3

### 3.2.2. Istraživanje i analiza promjena tjelesnih mjera u karakterističnim položajima tijela primjenom 3D skenera

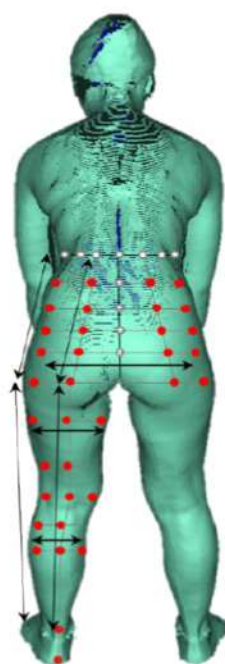
Ispitanice su dodatno skenirane u pet karakterističnih tjelesnih položaja: razručenje (P1), predručenje (P2), nadručenje (P3), pretklon (P4) i čučanj (P5), sl. 55. do 58. Definiran je set od ukupno 10 tjelesnih mjera, čije su vrijednosti utvrđene interaktivnim mjerenjem na skeniranim 3D modelima u pet karakterističnih položaja tijela, prema antropometrijskim točkama označenim markerima, tab. 13.



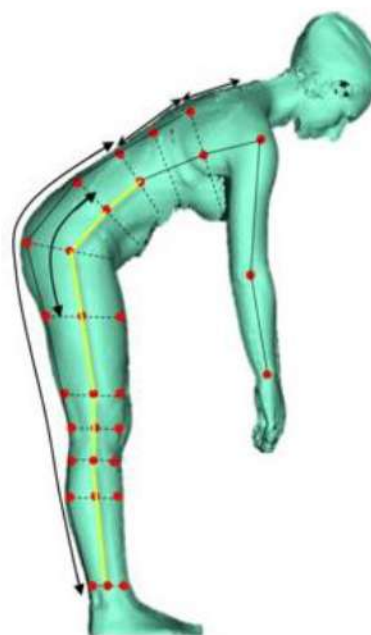
**Slika 55** Skenirani model tijela ispitanice I2 s označenim mrežama tjelesnih krivulja i mjera za analizu u tjelesnim položajima: a) standardni položaj prema ISO 20685 (P0), b) razručenje (P1)



**Slika 56** Skenirani model tijela ispitanice I2 s označenim mrežama tjelesnih krivulja i mjera za analizu u položajima: a) predručenje (P2), b) nadručenje (P3)

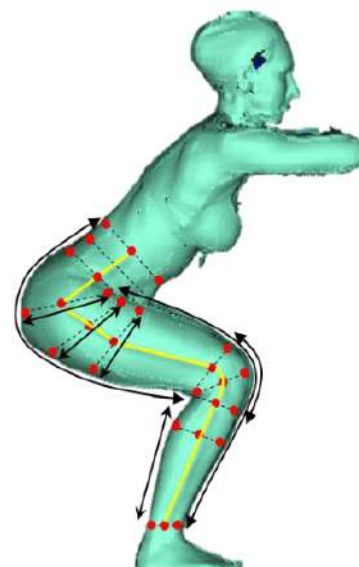
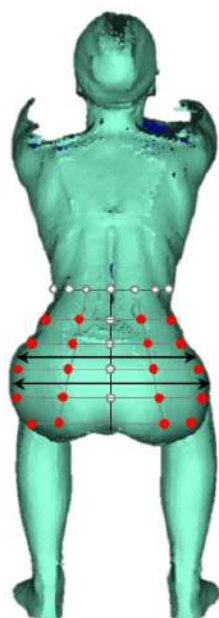


a)



b)

**Slika 57** Skenirani model tijela ispitanice I2 s označenim mrežama tjelesnih krivulja i mjera za analizu u položaju pretklona (P4)



**Slika 58** Skenirani model tijela ispitanice I2 s označenim mrežama tjelesnih krivulja i mjera za analizu u položaju čučnja (P5)



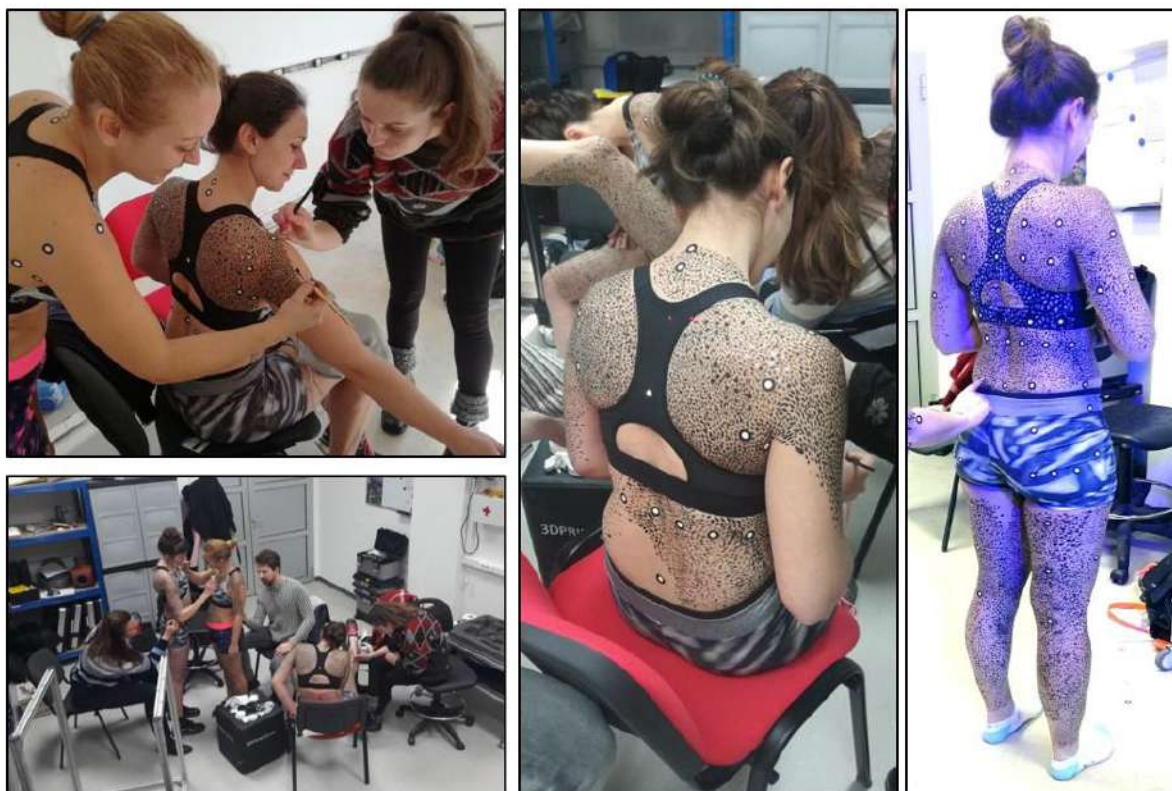
**Tablica 13** Set tjelesnih mjera za analizu promjena u karakterističnim tjelesnim položajima

|     | Mjera                                                                                             | Položaji   |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 1.  | $\dot{S}_1$ – širina leđa mjerena preko vrhova lopatica                                           | P1, P2, P3 |
| 2.  | $\dot{S}_2$ – širina leđa mjerena u visini pazuha                                                 |            |
| 3.  | $BDps$ – bočna duljina gornjeg dijela tijela mjerena između visine pazuha i opsega struka         | P3         |
| 4.  | $S\dot{S}b$ – stražnja širina bokova                                                              | P4, P5     |
| 5.  | $\dot{S}nk$ – širina natkoljenice                                                                 |            |
| 6.  | $SDgk$ – duljina krivulje na stražnjem dijelu tijela između opsega grudi i opsega koljena         |            |
| 7.  | $SDgs$ – duljina krivulje na stražnjem dijelu tijela između opsega grudi i opsega struka          |            |
| 8.  | $SDsb$ – duljina krivulje na stražnjem dijelu tijela između opsega struka i opsega bokova         |            |
| 9.  | $SDbnk$ – duljina krivulje na stražnjem dijelu tijela između opsega bokova i opsega natkoljenice  |            |
| 10. | $SDnkk$ – duljina krivulje na stražnjem dijelu tijela između opsega natkoljenice i opsega koljena |            |

Prema utvrđenim vrijednostima analizirane su promjene tjelesnih mjera u odnosu na standardni uspravni tjelesni položaj, što je prikazano u poglavlju Rezultati i rasprava, toč. 4.2.1.

### 3.2.3. Snimanje pokreta tijela ispitanica različitih tipova tijela primjenom optičkog mjernog sustava za analizu 3D deformacija

Primjenom optičkog mjernog sustava za analizu 3D deformacija Aramis, na iste tri ispitanice različitih tipova tijela (I1, I2 i I3), snimljeno je pet pokreta čiji krajnji položaj odgovara prethodno definiranim karakterističnim položajima tijela P1 do P5. Prema metodologiji procesa snimanja opisanoj u toč. 2.5.4.1., na tijelima ispitanica odjevenih u sportsko donje rublje, ručno je apliciran crni stohastički točkasti uzorak pomoću boje za tijelo. Na pozicije antropometrijskih točkaka, kao i kod 3D skeniranja, postavljeni su crno-bijeli kružni markeri, kako bi se osiguralo precizno pozicioniranje točaka u procesu kasnije obrade mjerne površine modela i analize deformacija, sl. 59.



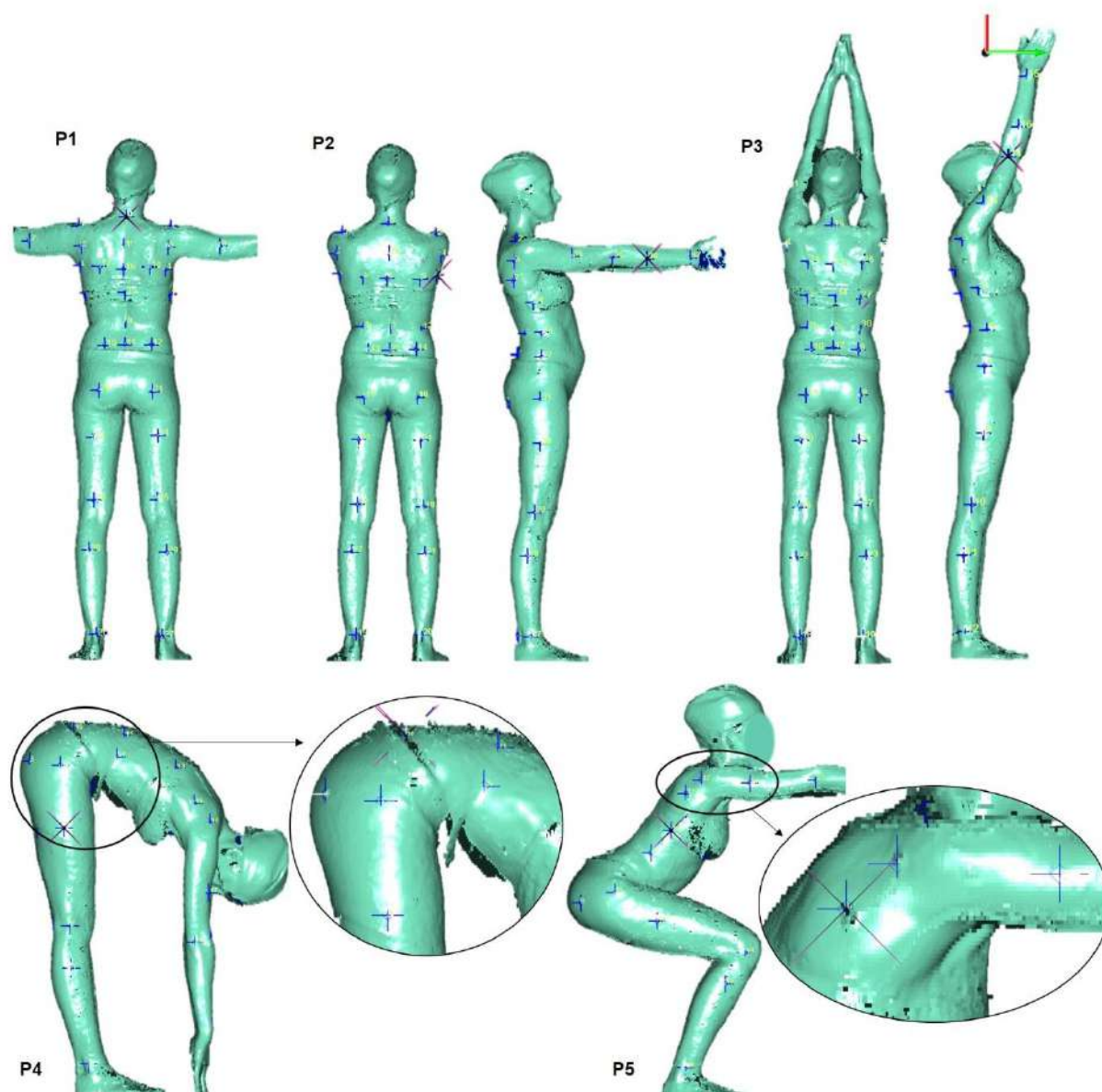
**Slika 59** Priprema ispitanica za snimanje pokreta primjenom sustava Aramis

### 3.2.3.1. Definiranje pokreta za snimanje i analizu deformacija tijela

Definirano je pet pokreta tijela koji su snimljeni primjenom sustava Aramis, sl. 60, u posteriornoj, sagitalnoj i frontalnoj ravnini. Kinematički lanci koji definiraju pokret dovođenja tijela u pojedini karakteristični položaj, sl. 61, opisani su u nastavku.



**Slika 60** Aramis mjerni sustav

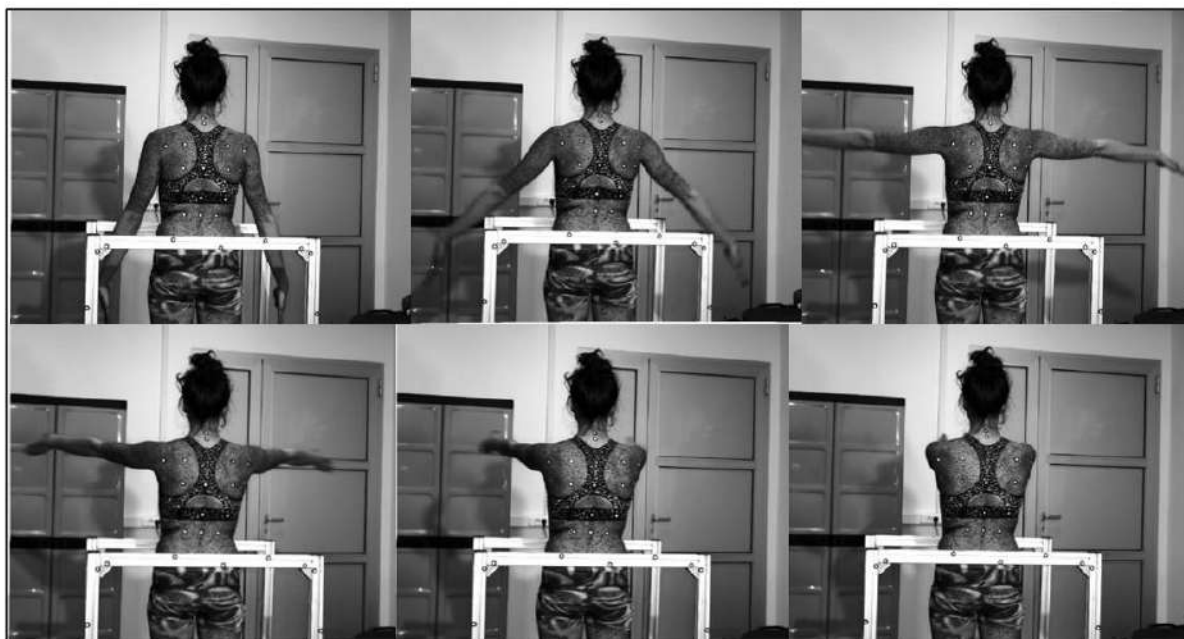


**Slika 61** Skenirani modeli tijela s istaknutim markerima za analizu mjera u karakterističnim položajima prema kojima su definirani pokreti za snimanje

### **Kinematički lanac 1 – razručenje (P1) / predručenje (P2):**

Snimanje u posteriornoj ravnini. Ispitanica stoji u uspravnom stojećem položaju s raskorakom u širini kukova. Ruke su ispružene pored tijela s dlanovima okrenutim prema nazad. Polaganim pomakom iz ramena i rotacijom u posteriornoj ravnini, ispružene ruke se dovode u položaj razručenja s dlanovima okrenutim prema dolje (položaj P1). U tom položaju ispitanica zastane 2 sekunde. Nakon toga, polaganim pomakom iz ramena i rotacijom u transverzalnoj ravnini, ispružene ruke se dovode u položaj predručenja (položaj P2). U položaju ispitanica zastane 2 sekunde, sl. 62.



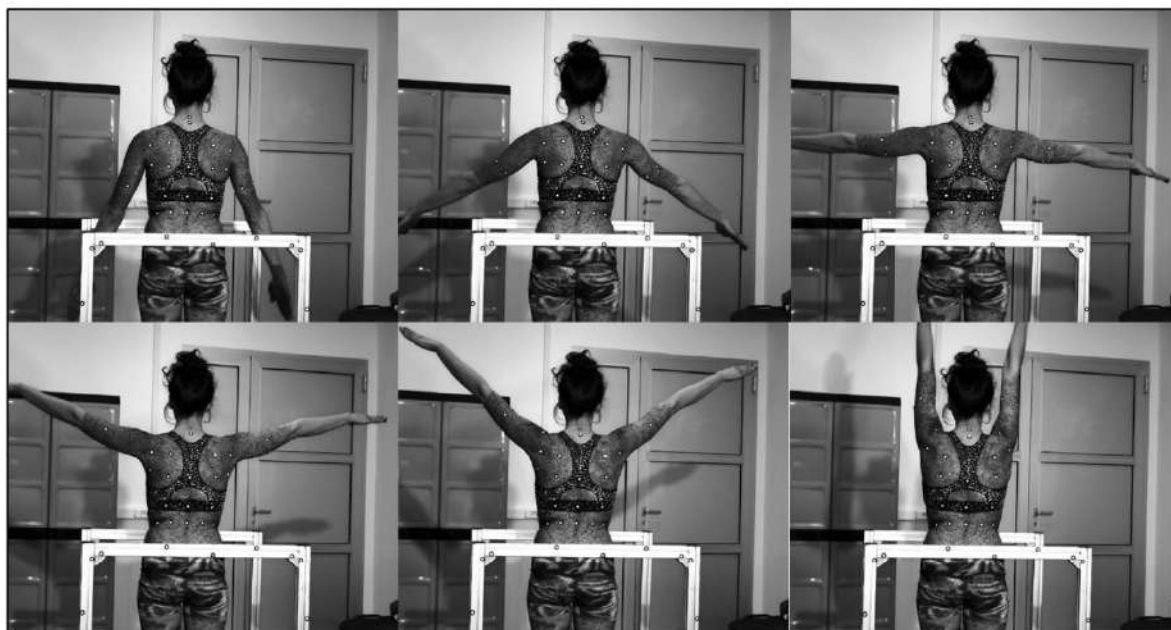


**Slika 62** Snimanje pokreta primjenom Aramis sustava - KL 1, I1

### **Kinematički lanac 2 – razručenje (P1) / nadručenje (P3):**

Snimanje u posteriornoj ravnini. Ispitanica stoji u uspravnom stojećem položaju s raskorakom u širini kukova. Ruke su ispružene pored tijela s dlanovima okrenutim prema nazad. Polaganim pomakom iz ramena i rotacijom u posteriornoj ravnini, ispružene ruke se dovode u položaj razručenja s dlanovima okrenutim prema dolje (položaj P1). U tom položaju ispitanica zastane 2 sekunde. Nakon toga, polaganim pomakom iz ramena se nastavlja rotacija u posteriornoj ravnini do položaja nadručenja (položaj P3). U položaju ispitanica zastane 2 sekunde, sl. 63.





**Slika 63** Snimanje pokreta primjenom Aramis sustava - KL 2, I1

### **Kinematički lanac 3 – predručenje (P2) / nadručenje (P3):**

Snimanje u sagitalnoj ravnini. Ispitanica stoji u uspravnom stojećem položaju s rukama u položaju predručenja sa spojenim dlanovima i raskorakom u širini kukova (položaj P2). Polaganim pomakom iz ramena i rotacijom u sagitalnoj ravnini, ispružene ruke se dovode u položaj nadručenja (položaj P3). U tom položaju ispitanica zastane 2 sekunde, sl. 64.



**Slika 64** Snimanje pokreta primjenom Aramis sustava - KL 3, I1

### **Kinematički lanac 4 – pretklon (P4):**

Snimanje u sagitalnoj ravnini. Ispitanica stoji u uspravnom stojećem položaju s rukama u položaju predručenja sa spojenim dlanovima i raskorakom u širini kukova. Polaganim savijanjem kralježnice i trupa prema naprijed u sagitalnoj ravnini, tijelo se prvo dovodi u položaj

pretklona s rukama u visini koljena, gdje zastane 2 sekunde, nakon čega se trup dovodi u maksimalnu fleksiju (položaj P4). U tom položaju ispitanica zastane 2 sekunde, sl. 65.



**Slika 65** Snimanje pokreta primjenom Aramis sustava - KL 4, I1

### **Kinematički lanac 5 – čučanj (P5):**

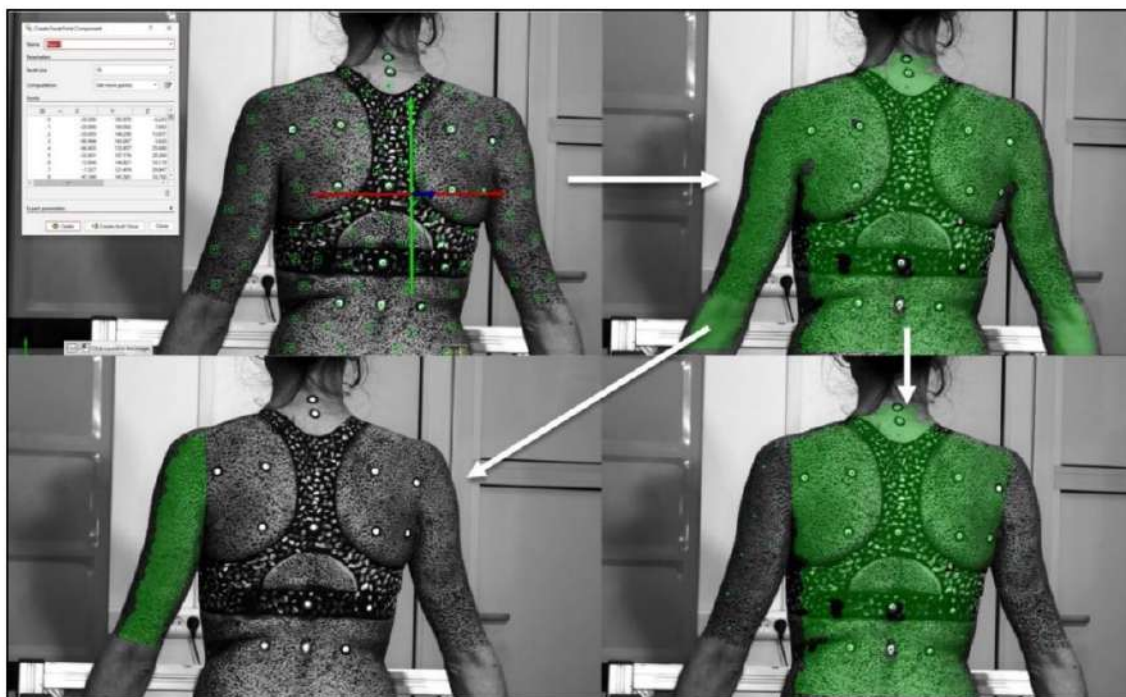
Snimanje u posteriornoj i sagitalnoj ravnini. Ispitanica stoji u uspravnom stojećem položaju s rukama u položaju predručenja, dlanovima okrenutim prema dolje i raskorakom u širini kukova. Polaganim spuštanjem trupa i savijanjem koljena, tijelo se prvo dovodi u položaj čučnja (položaj P5). U tom položaju ispitanica zastane 2 sekunde, sl. 66.



**Slika 66** Snimanje pokreta primjenom Aramis sustava - KL 5, I1

### 3.2.3.2. Kreiranje 3D površina i definiranje parametara površinske geometrije za analizu deformacija tijela

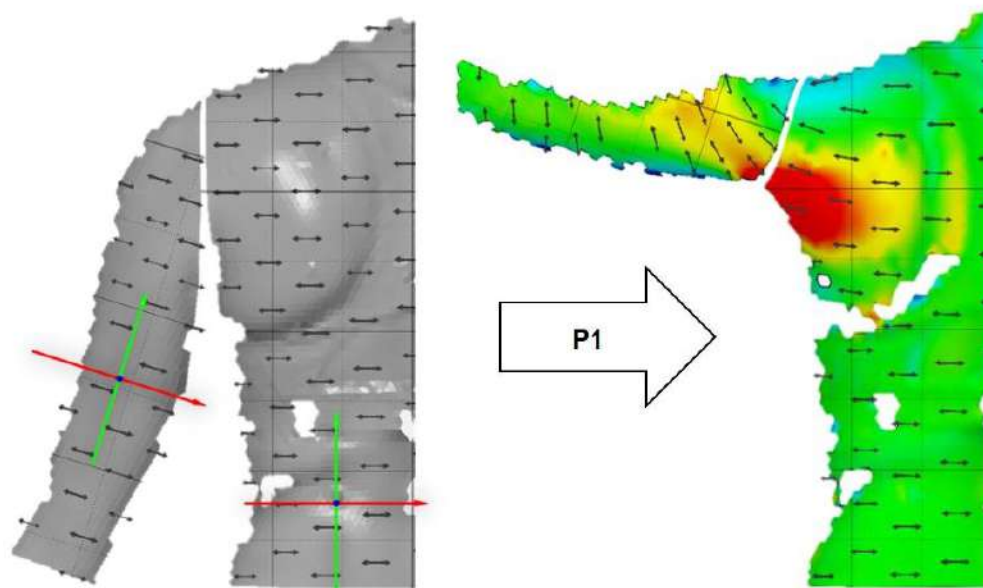
Obrada snimljenih rezultata i geometrijska 3D analiza deformacija površine tijela u snimljenim pokretima provedena je primjenom programa GOM Inspect Suit 2020 i ZEISS Inspect Correlate v.2023. Obrada rezultata snimanja obuhvaća kreiranje 3D površine tijela za analizu i segmentaciju dijelova površine ovisno o pokretu i zonama koje se analiziraju, sl. 67, te prilagodbu koordinatnog sustava pojedinog segmenta površine, sl. 68. S obzirom da je zbog odjeće kontinuitet stohastičkog uzorka prekinut na dijelovima površine tijela, kao i zbog markera koji veličinom odstupaju od ostatka uzorka, kod kreiranja mjernih 3D površina za ispitivanje prvo su kreirane dodatne točke (*eng. facets*) kako bi se dobila kvalitetnija geometrija mjerne površine. Na donjim dijelovima tijela uočeni su veći nedostaci mjernih površina zbog pokrivenosti područja bokova i stražnjice donjim rubljem. S obzirom da se kod pokreta savijanja tijela u pretklon (P4) i spuštanja u čučanj (P5) najznačajnije promjene očekuju upravo na tom području, u analizu deformacija tijela u pokretima P3 do P5 uključeno je snimanje i analiza ispitanica odjevenih u ženski triko, konstrukcijski prilagođen tjelesnim mjerama i karakteristikama ispitanica. Razvoj i prilagodba modela ženskog trikoa K1 prikazani su u okviru naredne cjeline istraživanja, u toč. 3.5. Kombinezoni su izrađeni od pletiva s visokim udjelom elastanskih vlakana (materijal M1), čije su karakteristike i svojstva prikazani u toč. 3.4. Stohastički točkasti uzorak apliciran je na materijal tehnikom digitalnog tiska.



**Slika 67** Obrada modela - kreiranje površinskih komponenata za analizu



Zbog oblika ljudskog tijela, posebno s obzirom na položaj ruku i nogu, na jedinstvenoj mjernoj površini nije moguće pozicionirati koordinatni sustav tako da su tenzori na cijeloj mjernoj površini pozicionirani u željenom smjeru. Stoga su kod svakog pokreta, dijelovi površine segmentirani ovisno o početnom položaju tijela te je smjer koordinatnog sustava prilagođen ovisno o segmentu površine tijela koji se analizira, sl. 68.



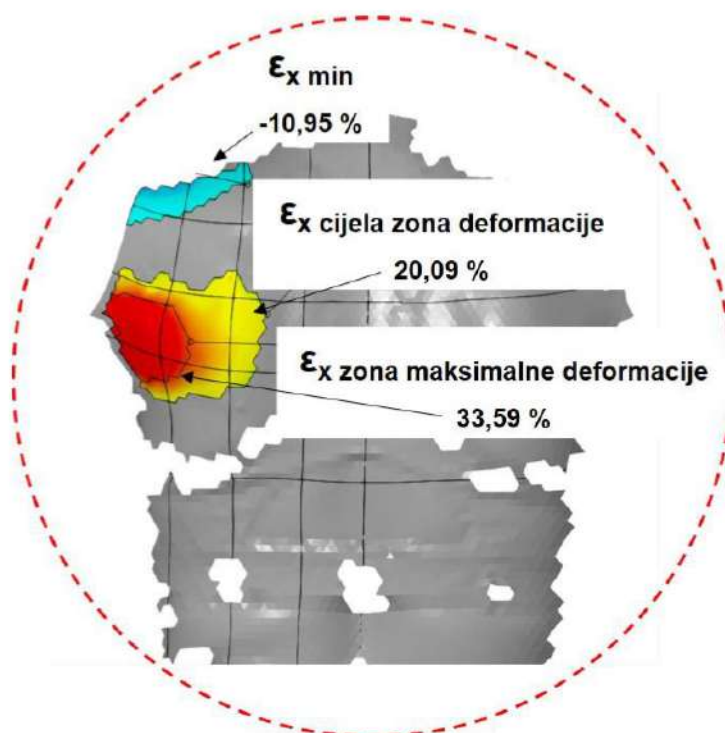
**Slika 68** Prilagodba koordinatnog sustava prema segmentima – KL 1

### 3.2.4. Analiza deformacija i promjena tjelesnih mjera ovisno o pokretu

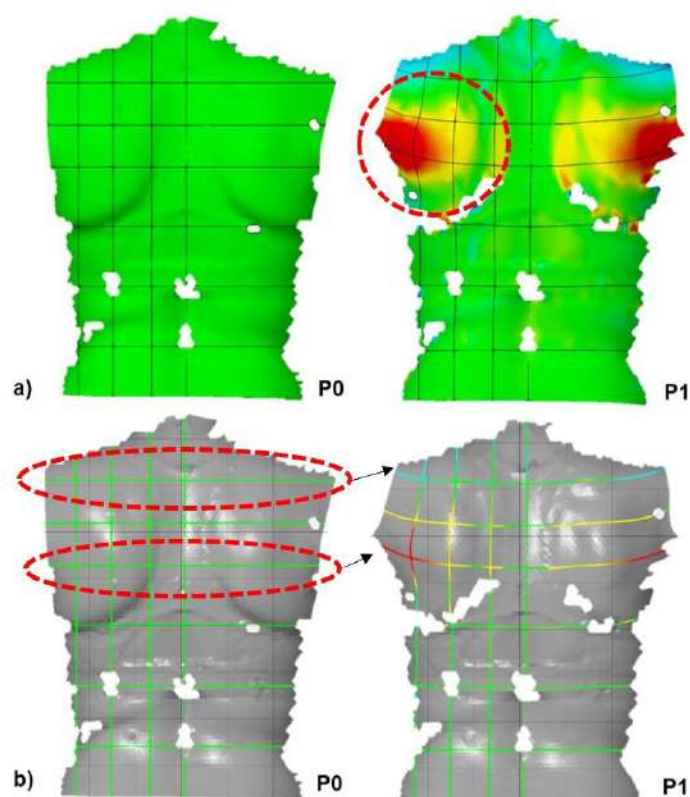
Za analizu i preciznije praćenje deformacija površinske geometrije tijela po zonama u svakom pokretu, na snimljenim 3D mjernim površinama su pomoću transverzalnih i sagitalnih presjeka na linijama karakterističnih tjelesnih opsega i mjera kreirane mreže krivulja koje povezuju analizu deformacija tijela s konstrukcijom kroja. Pozicije presjeka i krivulja za svaku ispitanicu su određene na temelju mjera utvrđenih 3D skeniranjem.

U svakom od pet definiranih pokreta analizirane su deformacije u transverzalnom i longitudinalnom smjeru površine tijela te su utvrđene zone najvećih deformacija za svaku od tri ispitanice. Na temelju utvrđenih zona kreirani su segmenti površina te su analizom utvrđene vrijednosti maksimalnih deformacija izražene kao srednja vrijednost deformacije segmenta u pojedinom smjeru izražene u postocima, sl. 69. Daljnjom analizom, istražene su promjene tjelesnih mjera, zahvaćenih zonama deformacija te su utvrđene dimenzije ciljanih tjelesnih krivulja i njihovih segmenata, odnosno promjene tjelesnih mjera u definiranim pokretima, sl. 70 i 71.

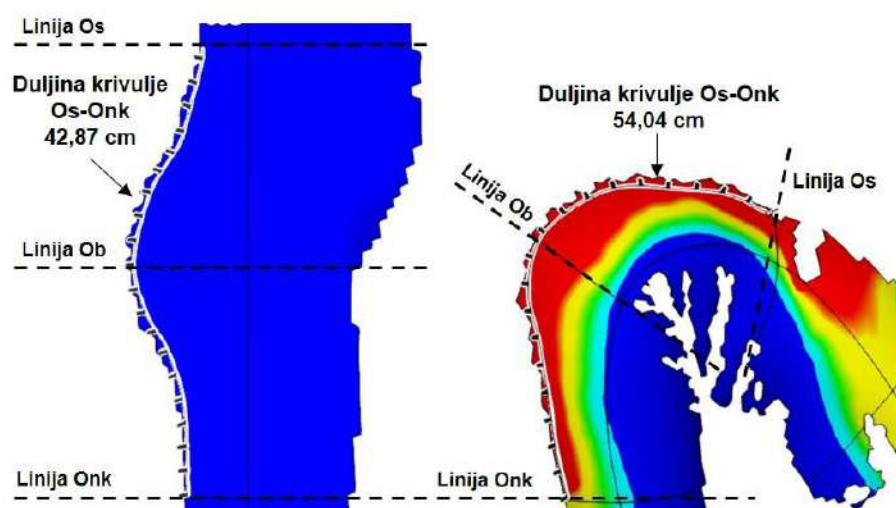




**Slika 69** Analiza segmenata površina i utvrđivanje vrijednosti maksimalnih deformacija tijela – poprečne (x) deformacije tijela u položaju P1, ispitanica I1



**Slika 70** Analiza deformacija tijela u x smjeru, na tijelu u položaju P1: a) analiza površinskih segmenata, b) analiza krivulja na karakterističnim presjecima

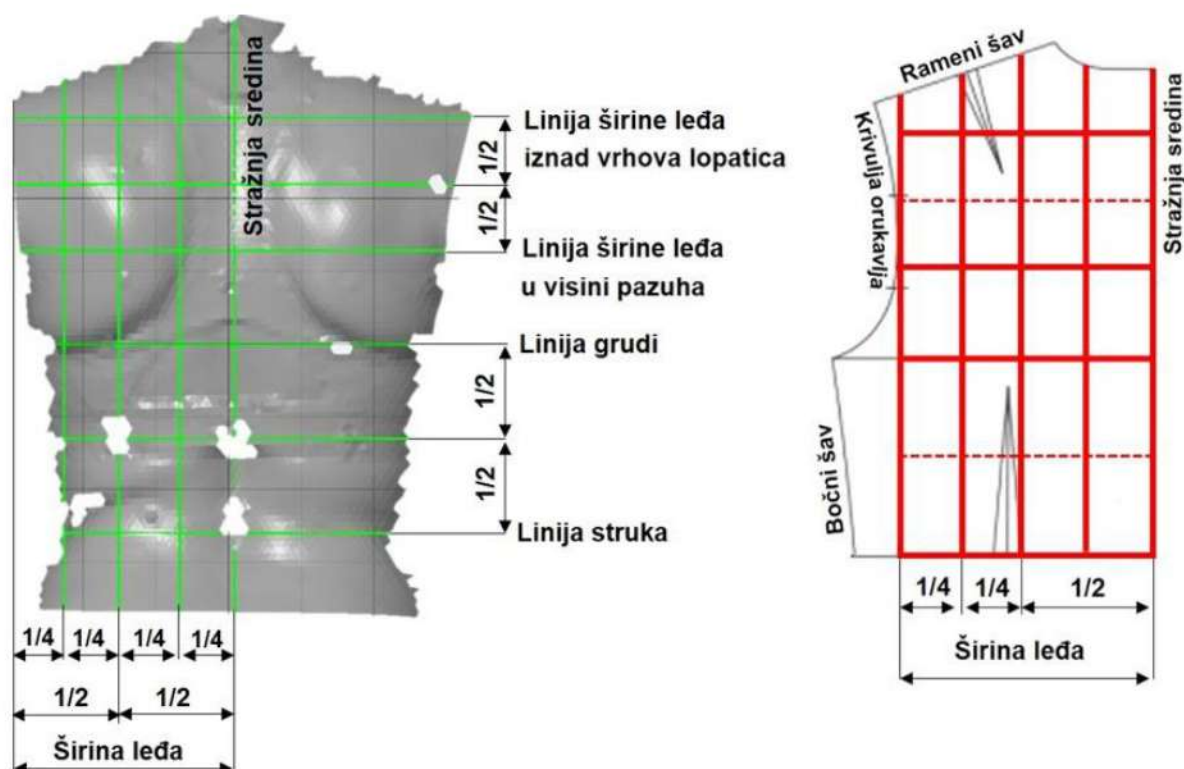


**Slika 71** Analiza promjena duljine stražnje krivulje tijela u položaju P4

Pomoću prethodno definiranih mreža krivulja na tijelu, utvrđene zone deformacija u pojedinom pokretu preslikane su na 2D površine korespodentnih krojnih dijelova na temelju čega je u daljnjem istraživanju postavljena metoda za parametrizaciju i prilagodbu kroja s aspekta dinamičke antropometrije, prikazana u toč. 3.5.2.

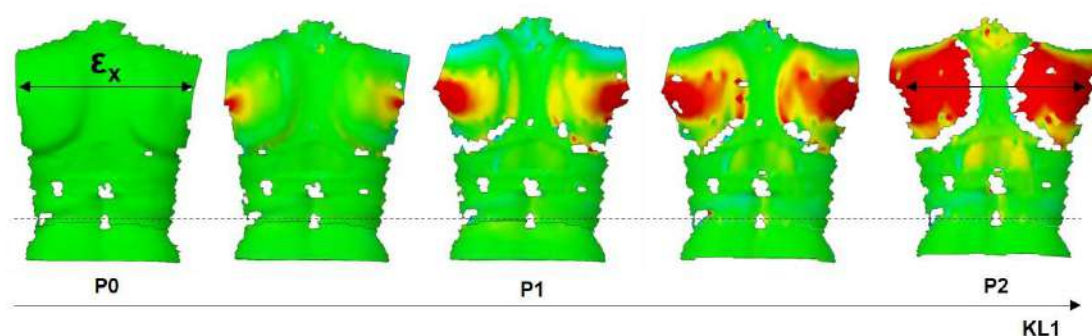
#### *3.2.4.1. Analize deformacija i promjena tjelesnih mjera kod pokreta ruku – položaji P1, P2 i P3*

Deformacije površine tijela kod pokreta ruku analizirane su prema mreži krivulja koju određuju transversalni presjeci na liniji visine lopatica, liniji širine leđa u visini pazuha, liniji opsega grudi, liniji opsega struka i dva pomoćna presjeka, te presjeci sagitalnom ravninom na liniji stražnje sredine, liniji širine leđa u visini pazuha i tri pomoćna presjeka koja dijele širinu leđa na četvrtine, sl. 72. U zonama najvećih deformacija, analizirane su promjene dimenzija krivulja na definiranim presjecima koje su korespodentne tjelesnim mjerama širine leđa iznad lopatičnih kostiju i širine leđa u visini pazuha. Utvrđene dimenzije i promjene tjelesnih mjera analizirane su u odnosu na rezultate mjerenja na skeniranim 3D modelima tijela u karakterističnim položajima razručenja (P1), predručenja (P2) i nadručenja (P3). Utvrđene vrijednosti i rezultati analize deformacija površine tijela za tri ispitanice različitih tipova prikazani su u poglavlju Rezultati i rasprava, toč. 4.2.2.1.



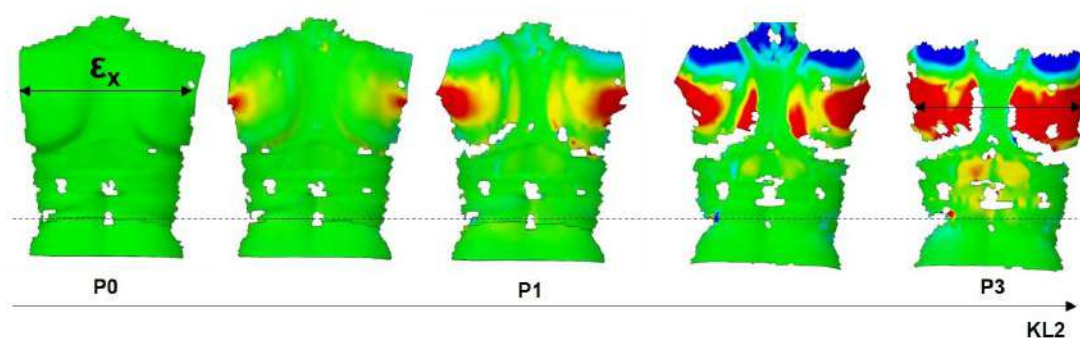
**Slika 72** Karakteristični presjeci za analizu gornjeg dijela tijela u položajima P1 do P3 i povezivanje s konstrukcijskim mjerama

U nastavku je dan prikaz poprečnih (x) i uzdužnih (y) deformacija po fazama kinematičkih lanaca snimljenih pokreta ruku, na primjeru ispitanice I1, sl. 73 i 74.



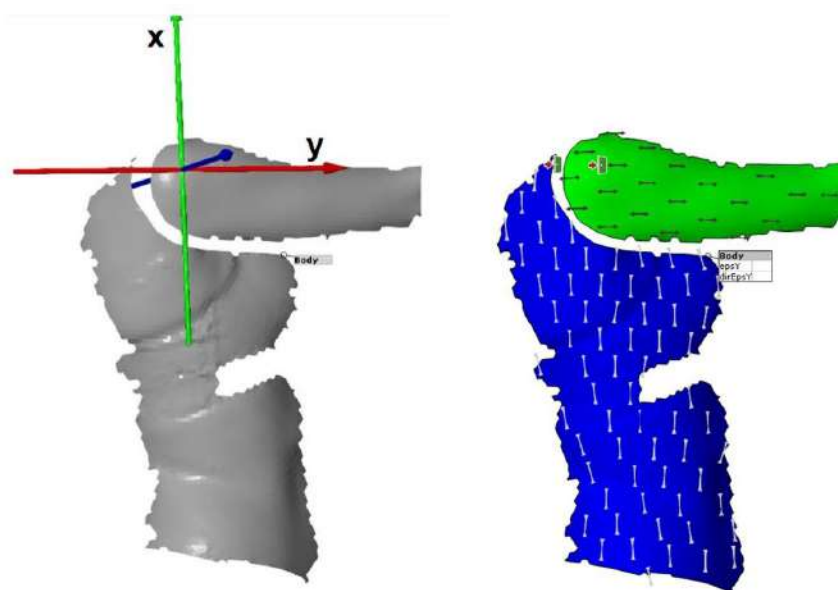
**Slika 73** Poprečna deformacija tijela ( $\epsilon_x$ ) po fazama kinematičkog lanca KL 1 koja obuhvaća položaje razručenja (P1) i predručenja (P2) – ispitanica I1 posteriorno





**Slika 74** Poprečna deformacija tijela ( $\epsilon_x$ ) po fazama kinematičkog lanaca KL 2 koja obuhvaća položaje razrušenja (P1) i nadručenja (P3) – ispitanica I1 posteriorno

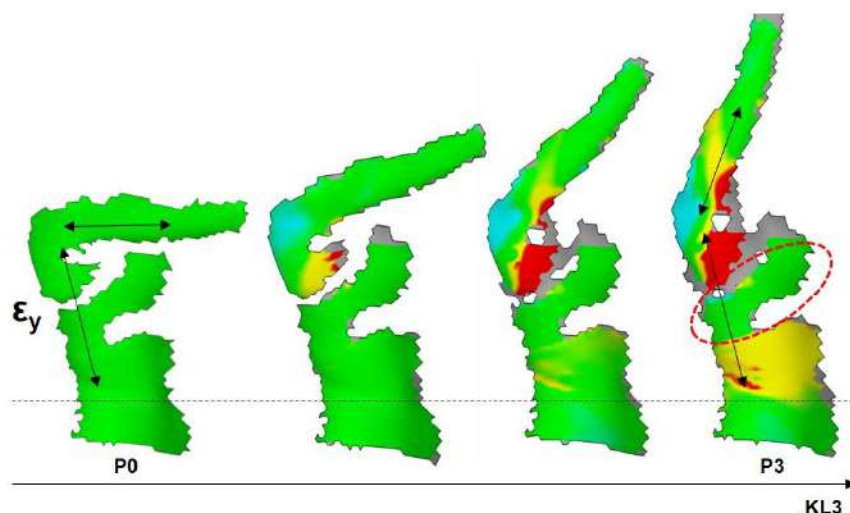
Kod analize uzdužnih deformacija u pokretu nadručenja (KL 3), zbog početnog položaja ruku, mjerna površina je podijeljena na segment trupa i ruke te je koordinatni sustav na segmentu površine ruke prilagođen tako da smjer x i dalje prati poprečnu, a smjer y uzdužnu dimenziju, sl. 75.



**Slika 75** Prilagodba koordinatnog sustava u početnom položaju – KL 3

Na sl. 76, vidljivi su prekidi površine na dijelovima tijela oko linije opsega grudi, zbog pokrivenosti tog dijela tijela odjećom. Stoga su, kod utvrđivanja ukupnih dimenzija krivulja na bočnom dijelu, ti dijelovi krivulje izmjereni kao udaljenost između rubnih točaka krivulje na gornjem i donjem dijelu površine.

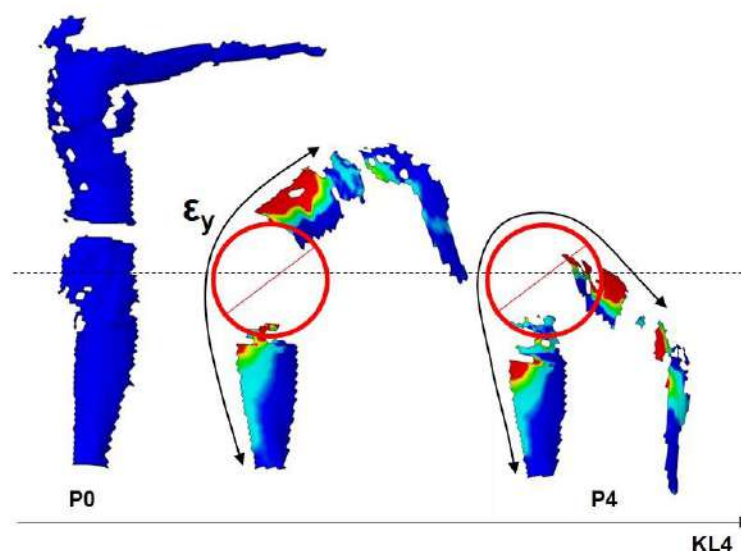




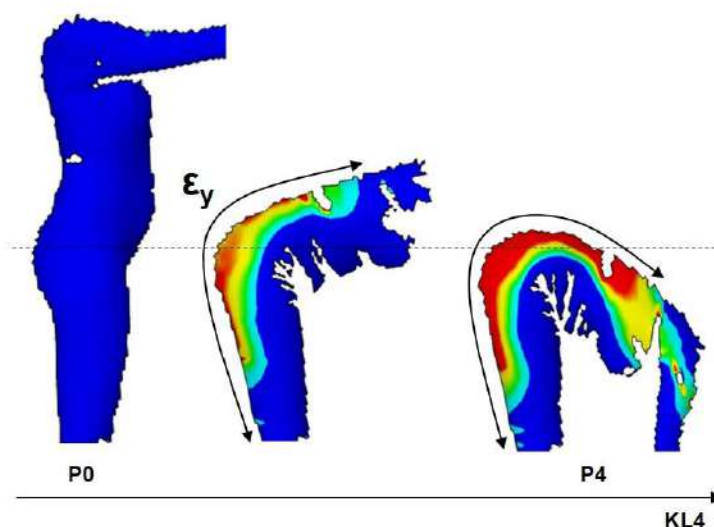
**Slika 76** Uzdužna deformacija tijela ( $\epsilon_y$ ) po fazama kinematičkog lanaca KL 3 koja obuhvaća položaje predručenja (P2) i nadručenja (P3) – ispitanica I1 sagitalno

#### 3.2.4.2. Analiza deformacija i promjena tjelesnih mjera pri savijanju tijela u položaj pretklona - položaj P4

Deformacije površine gornjeg dijela tijela pri savijanju u položaj pretklona analizirane su u posteriornoj ravnini, prema mreži krivulja koja je određena istim presjecima kao i kod analize položaja P1 do P3, sl. 72. Deformacije površine donjeg dijela tijela analizirane su u frontalnoj i sagitalnoj ravnini. Mreža krivulja u frontalnoj ravnini određena je transverzalnim presjecima na liniji opsega grudi, struka, bokova, bedra, koljena i potkoljenice, longitudinalnim presjekom na sredini tijela koji odgovara liniji bočnog šava te sagitalnim presjecima koji dijele širinu bokova na četvrtine. U nastavku je dan prikaz uzdužnih ( $y$ ) deformacija po fazama snimljenog kinematičkog lanaca KL4, na primjeru ispitanice I1, sl. 77 i 78. Kod savijanja tijela u položaj pretklona, mjerna 3D površina snimljena na ispitanicama u donjem rublju je zbog pokrivenosti rubljem prekinuta u području bokova što je onemogućilo analizu deformacija na najznačajnijem dijelu tijela, sl. 77. Stoga je u analizu uključeno mjerenje na ispitanicama odjevenim u model ženskog trikoa K1, koji je opisan u okviru pete cjeline istraživanja, u toč. 3.5. S obzirom da model usko priliježe uz tijelo, deformacije površine tijela se direktno odražavaju na površinu odjevnog predmeta, što je u ovom dijelu istraživanja iskorišteno kako bi se dobile cjelovitije i kvalitetnije mjerne površine za analizu, sl. 78.



**Slika 77** Uzdužna deformacija tijela ( $\epsilon_y$ ) po fazama kinematičkog lanaca KL 4 savijanja tijela u položaj pretklona (P4) – ispitanica I1 sagitalno



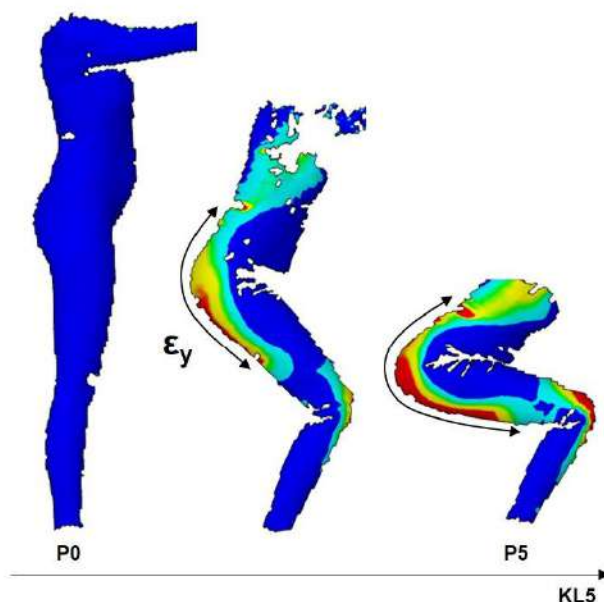
**Slika 78** Uzdužna deformacija tijela ( $\epsilon_y$ ) po fazama kinematičkog lanaca KL 4 savijanja tijela u položaj pretklona (P4) – ispitanica I1 sagitalno, ženski triko K1

U zonama najvećih deformacija, analizirane su promjene dimenzija krivulja na definiranim presjecima koje su korespondentne tjelesnim mjerama stražnje širine bokova i segmentima stražnje duljine, od opsega grudi do opsega natkoljenice. Utvrđene dimenzije i promjene tjelesnih mjera analizirane su s obzirom na rezultate mjerenja na skeniranim 3D modelima tijela u karakterističnom položaju pretklona (P4). Utvrđene vrijednosti deformacija i rezultati analize za tri ispitanice različitih tipova tijela prikazani su u poglavlju Rezultati i rasprava, toč. 4.2.2.2.

### 3.2.4.3. Analiza deformacija i promjena tjelesnih mjera pri spuštanju tijela u položaj čučnja – položaj P5

Deformacije površina gornjeg i donjeg dijela tijela pri spuštanju u položaj čučnja analizirane su prema istoj metodologiji kao i kod položaja P4. Analiza je provedena na modelima ispitanica odjevenih u model ženskog trikoa K1, sl. 79, pri čemu su utvrđene zone maksimalnih deformacija površine i promjene tjelesnih mjera.

Utvrđene vrijednosti deformacija na tri ispitanice različitih tipova tijela i rezultati analize s obzirom na rezultate mjerenja na skeniranim 3D modelima tijela u karakterističnom položaju čučnja (P5), prikazani su u poglavlju Rezultati i rasprava, toč. 4.2.2.3.



**Slika 79** Uzdužna deformacija tijela ( $\epsilon_y$ ) po fazama kinematičkog lanaca KL 5 spuštanja tijela u položaj čučnja (P5) – ispitanica I1 sagitalno, ženski triko K1

### 3.3. Razvoj animiranih 3D modela tijela prilagođenih prema tri ispitanice različitih tipova

Treća cjelina istraživanja obuhvaća razvoj animiranih 3D modela tijela, odnosno avatara prilagođenih prema tri odabrane ispitanice različitih tipova tijela. Definirana metodologija prilagodbe univerzalnog poligonalnog modela tijela kao predloška prema antropometrijskim i kinematičkim karakteristikama utvrđenim 3D skeniranjem ciljanih ispitanica, te animacija prilagođenih avatara u pokrete koji dovode tijelo u pet karakterističnih položaja P1 do P5, prikazani su u narednim točkama rada. Za razvoj animiranih 3D avatara, kao univerzalni poligonalni 3D model predloška, korišten je SMPL model tijela koji je prethodno opisan u



Pregledu tematike, toč. 2.3.2.5. Metoda prilagodbe i animacije avatara razvijena je u programu *Autodesk Maya2022*.

### 3.3.1. Prilagodba SMPL modela tijela prema skeniranim 3D modelima za tri ispitanice

SMPL model tijela, razvijen na institutu Max Planck, odabran je za ovo istraživanje jer omogućava široki raspon i visoku razinu prilagodbe dimenzija i oblika površine tijela te deformaciju površinske geometrije prema kinematičkom unutarnjem modelu, koja se temelji na izrazito velikim bazama podataka skeniranih 3D modela tijela u različitim položajima. Stoga je kod prilagodbe i animacije SMPL modela, deformacija površine puno realističnija u odnosu na metodu skeletne animacije skeniranog modela. Također, jedna od prednosti je i dostupnost modela u formatima kompatibilnim za rad u različitim komercijalnim 3D programima. U ovom radu korišteni su SMPL model i pripadajući plug-in za program *Autodesk Maya2022* [127].

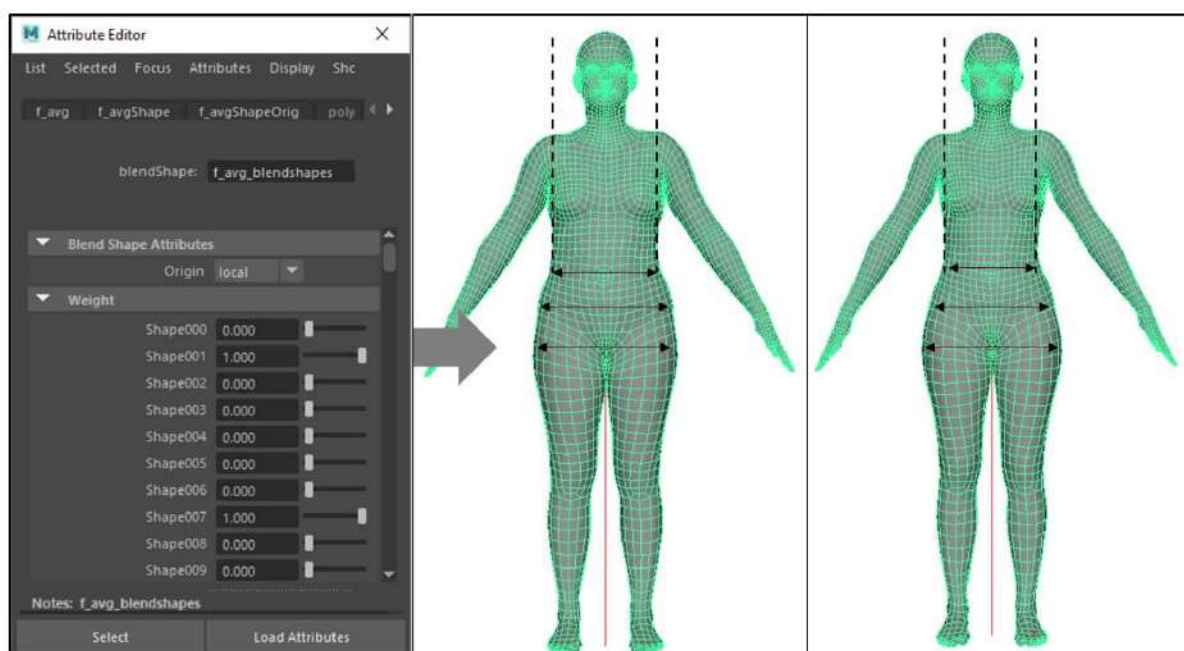
#### 3.3.1.1. Prilagodba postavki operativnog sustava i učitavanje SMPL modela u program za prilagodbu i animaciju

Za pravilno učitavanje i daljnju obradu SMPL modela potrebno je na računalo instalirati *Python* biblioteku *Numpy*, koja daje potrebnu podršku sustavu za rad sa zahtjevnim matematičkim funkcijama prilikom prilagodbe i animacije. Također je potrebno kroz operativni sustav na računalu aktivirati verziju *Python-a* ovisno o verziji u kojoj je razvijen SMPL plug-in. U tom smislu, u programu *Maya2022*, potrebno je aktivirati verziju *Python v.2*.

#### 3.3.1.2. Prilagodba SMPL modela za tri ispitanice na temelju skeniranih 3D modela kao predložaka

Učitani model omogućava interaktivnu prilagodbu preko tzv. *BlendShape* deformera, koji predstavljaju predloške za deformaciju i prilagodbu osnovne poligonalne površine. Model sadrži 216 deformera za prilagodbu dimenzija i oblika površinskog modela tijela, sl. 80. U okviru ovog istraživanja, za prilagodbu SMPL modela korišteni su obrađeni skenirani 3D modeli tijela za tri odabrane ispitanice, koji su učitani u program kao dodatni *BlendShape* parametri preko kojih je omogućena direktna prilagodba ciljanom skeniranom modelu, odnosno ispitanici. Rezultati prilagodbe SMPL modela prema tri ispitanice i analiza u odnosu na skenirane 3D modele, prikazani su u poglavlju Rezultati i rasprava, toč. 4.3.1.





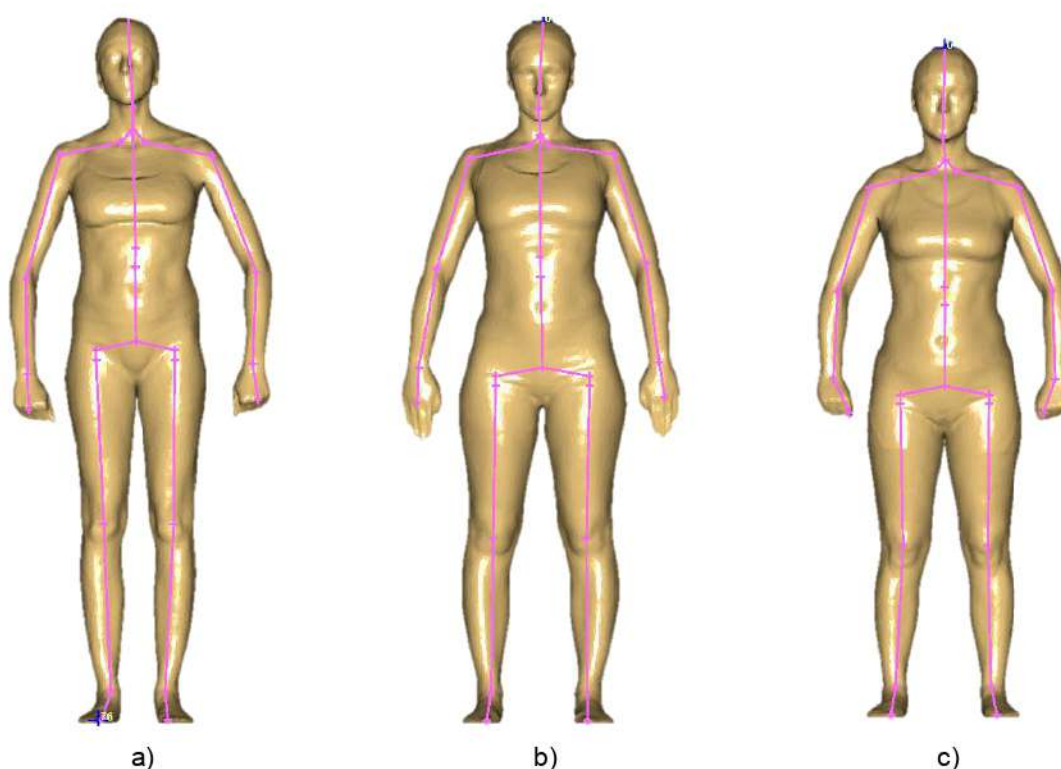
Slika 80 Prilagodba SMPL modela u programu Maya2022

### 3.3.2. Razvoj unutarnjeg kinematičkog modela na temelju podataka utvrđenih 3D skeniranjem

Nakon prilagodbe površine SMPL modela prema skeniranim 3D modelima, potrebno je prilagoditi i unutarnji kinematički model kostura. Kod interaktivne prilagodbe oblika površine preko *Blend Shape* predložaka koji su ugrađeni u sam model, model omogućava automatsku prilagodbu unutarnjeg kostura. S obzirom da je u ovom istraživanju korištena prilagodba prema skeniranim modelima kao dodanim predlošcima, što je prikazano u prethodnoj toč. 3.3.1., prilagodbu kinematičkog kostura moguće je izvesti interaktivnom metodom pomaka točaka zglobova modela ili primjenom alata za automatsku prilagodbu u programu *Maya*. Kod primjene obje metode, s obzirom da se pozicije zglobova određuju interaktivno u odnosu na površinski model i bez točnih podataka o pozicijama zglobova, postoji velika vjerojatnost pojave nepravilnosti kod deformacije površine modela prilikom animacije. U tom smislu, istražene su mogućnosti primjene podataka o pozicijama točaka zglobova utvrđene na temelju skeniranih 3D modela tijela.

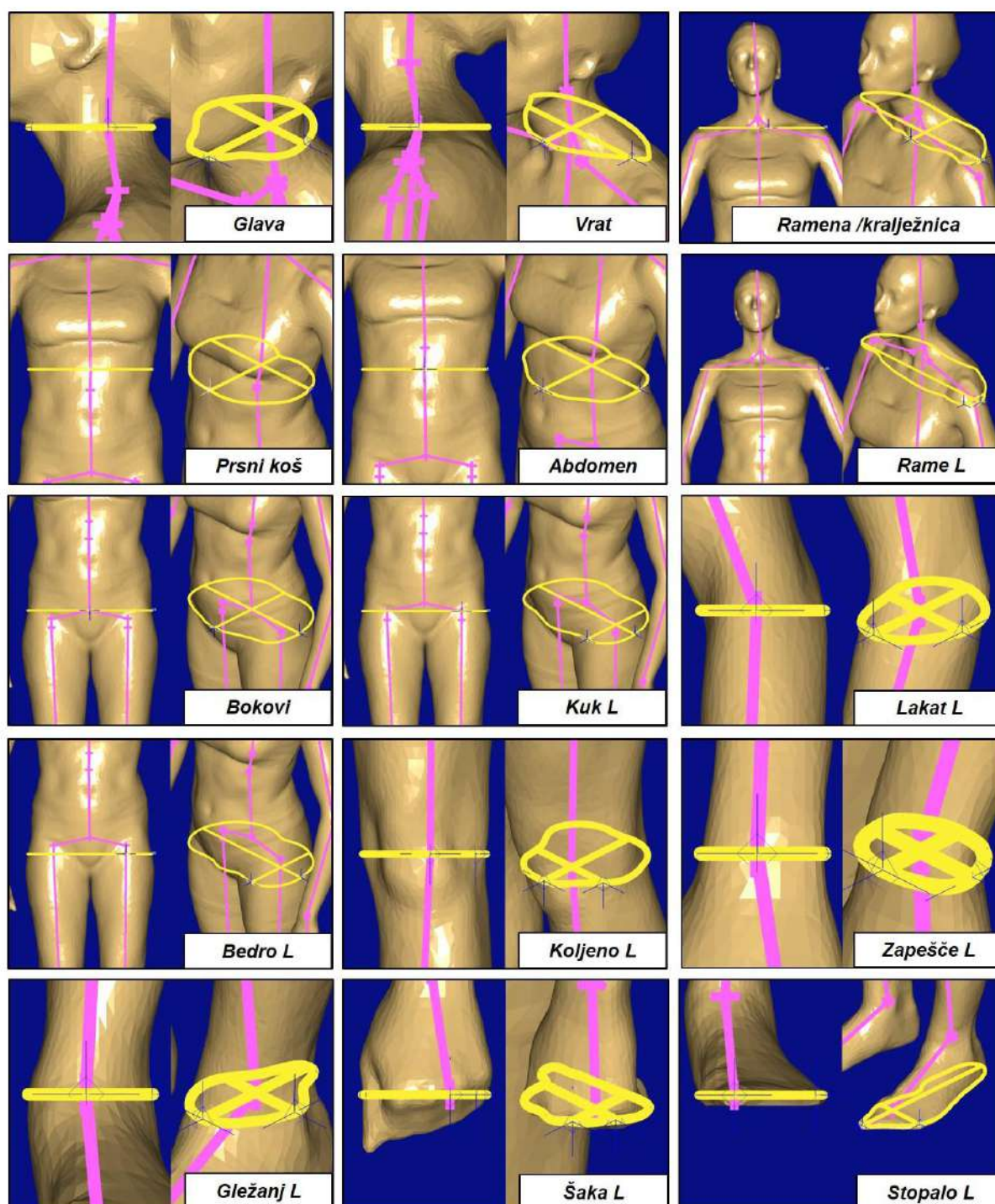
### 3.3.2.1. Analiza kinematičkih parametara skeniranih 3D modela tijela primjenom programa *Anthroscan*

U programu *Anthroscan*, na temelju skeniranih 3D modela tijela tri odabrane ispitanice, kreirani su kinematički modeli unutarnjeg kostura, sl. 81, pri čemu su pozicije točaka zglobova definirane na temelju kontrolnih antropometrijskih točaka na površini skeniranih modela, sl. 82. Analizirani su kinematički parametri i hijerarhijska struktura kostura u odnosu na strukturu kostura kod SMPL modela, sl. 83, na temelju čega su utvrđeni parametri potrebni za prilagodbu.

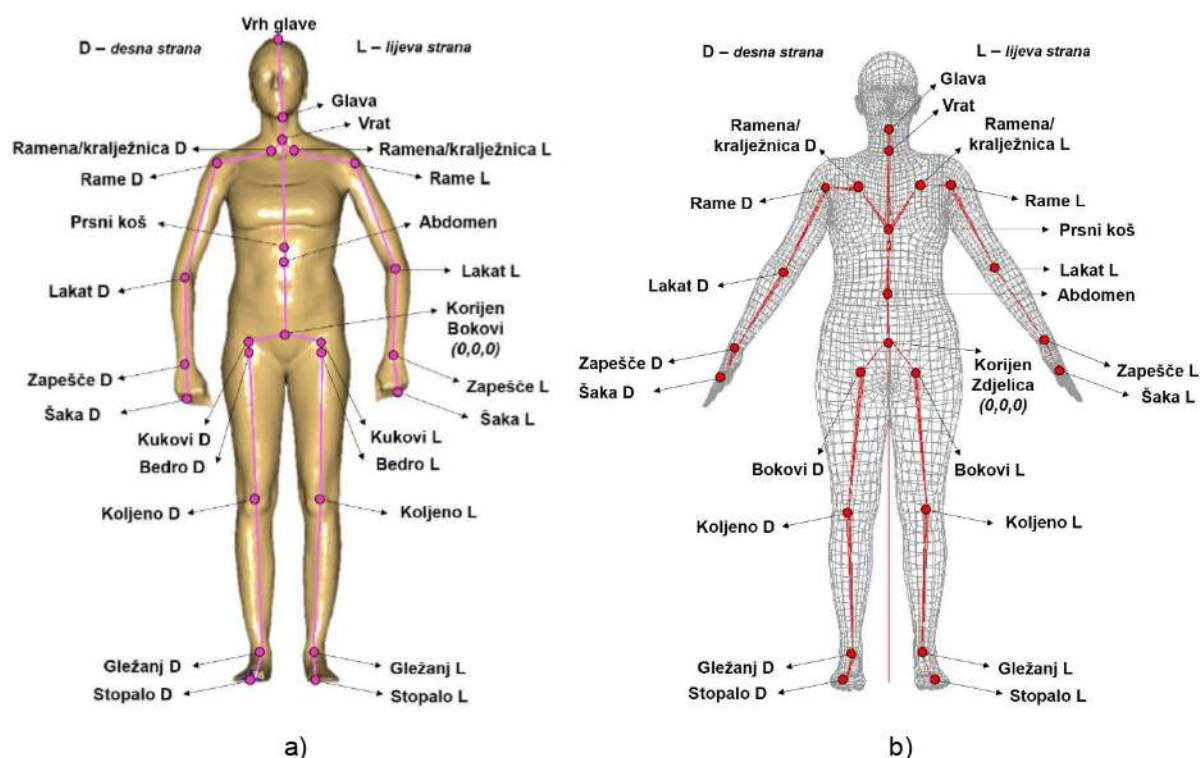


**Slika 81** Unutarnji kinematički modeli kostura kreirani na temelju skeniranih 3D modela u programu *Anthroscan* a) ispitanica I1, b) ispitanica I2, c) ispitanica I3





**Slika 82** Kreiranje i analiza kinematičkih parametara unutarnjeg kostura skeniranog modela tijela



**Slika 83** Kinematički modeli kostura: a) model kreiran na skeniranom 3D modelu tijela primjenom *Anthroscan* programa, b) SMPL model

### 3.3.2.2. Razvoj skript datoteka za automatsku prilagodbu kinematičkih parametara unutarnjeg modela prema ciljanim tjelesnim dimenzijama

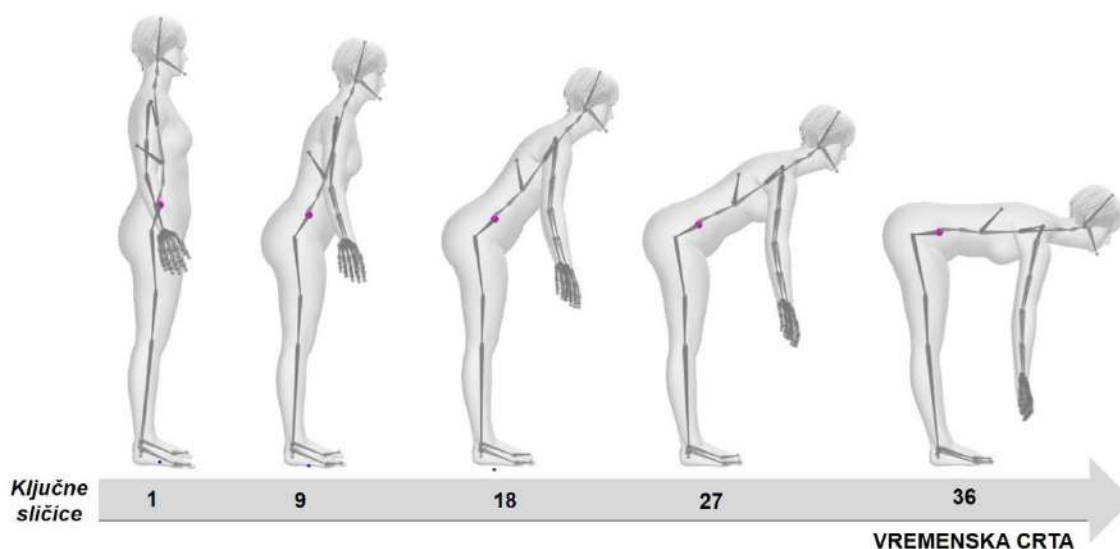
Analizom kinematičkih parametara skeniranih 3D modela utvrđene su prostorne 3D koordinate točaka, odnosno pomaci u hijerarhijskoj strukturi kreiranih kinematičkih modela, od točke korijena kostura definirane u području bokova do krajnjih točaka vezanih segmentima trupa, vrata i glave, ramena te gornjih i donjih udova. Na temelju utvrđenih koordinata, kreirane su skript datoteke u *bvh* formatu (eng. *Bounding Volume Hierarchy*), za prilagodbu unutarnjeg kinematičkog kostura SMPL modela u programu *Maya2022*. Za kreiranje skript datoteka korišten je *Python v.2*.

Primjenom skript datoteka, na modelima prethodno prilagođenim dimenzijama i obliku pojedine ispitanice u programu *Maya2022*, omogućena je automatska prilagodba kinematičkog kostura SMPL modela prema podacima utvrđenim 3D skeniranjem. Rezultati prilagodbe SMPL modela tijela prema antropometrijskim i kinematičkim karakteristikama skeniranih 3D modela tijela za tri ispitanice prikazani su u poglavlju Rezultati i rasprava, toč. 4.3.2.



### 3.3.3. Animacija prilagođenih modela tijela u zadanih pet pokreta

U procesu 3D animacije modela tijela u zadane pokrete, korištena je tehnika ključnih položaja u 36 sličica (*eng. key frame*), opisana u toč. 2.3.2.2. Za svaki pokret postavljena su tri ključna položaja, na početku (sličica 1), sredini (sličica 18) i kraju kinematičkog lanca (sličica 36) dok su položaji između dobiveni interpolacijom između ključnih sličica (sličice 9 i 27), sl. 84. Rezultati su izvezeni u fbx formatu, prikladnom za unos i primjenu u CAD programu za simulaciju odjeće te su korišteni u daljnjem istraživanju.



**Slika 84** 3D animacija modela tijela tehnikom ključnih položaja u 36 sličica

### 3.4. Ispitivanje i analiza svojstava tekstilnih materijala za 3D simulaciju

Za daljnje istraživanje i razvoj računalnih 3D prototipova modela odjevnih predmeta odabrana su dva tekstilna materijala. Za ženski triko K1 odabrano je poliestersko pletivo s udjelom elastanskih vlakana, namijenjeno za izradu sportske odjeće i odjeće za kupanje (M1). Za modele ženske bluze, hlača te modela ženskih radnih kombinezona K2 i K3 odabrana je tkanina mješovitog sirovinskog sastava pamučnih, poliesterskih i elastanskih vlakana u keper vezu, namijenjena za izradu gomje odjeće (M2). Prema prikazanom planu istraživanja, sl. 46 i sl. 47, odabrani materijali korišteni su i za izradu realnih prototipova odjevnih predmeta i analizu deformacija odjeće na tijelu u pokretu primjenom optičkog 3D mjernog sustava Aramis, stoga je na materijale tehnikom digitalnog tiska otisnut točkasti uzorak, sl. 85 i 86, definiran prema parametrima sustava Aramis.



**Slika 85** Uzorak za tisak u mjerilu 1:1



**Slika 86** Uzorak otisnut na materijal M2

### 3.4.1. Utvrđivanje strukturnih karakteristika i fizikalnih parametara tekstilnih materijala

Utvrđivanje strukturnih karakteristika i fizikalnih parametara za dva odabrana tekstilna materijala provedeno je na Zavodu za materijale, vlakna i ispitivanje tekstila, u Laboratoriju za restauraciju i konzervaciju tekstila i forenzična ispitivanja i Laboratoriju za fizikalno-kemijska ispitivanja tekstila. Sirovinski sastav, vrsta i struktura prepleta za tekstilne materijale M1 i M2 prikazani su u poglavlju Rezultati i rasprava, točka 4.4.1.

#### Sirovinski sastav

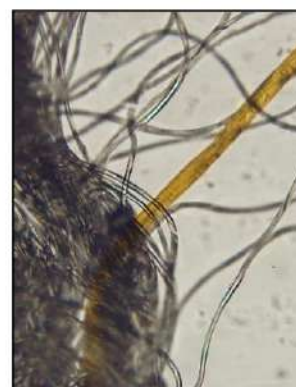
Sirovinski sastav tekstilnih materijala potvrđen je metodom mikroskopiranja sa specifičnim reagensima. Pri tome je korišten univerzalni mikroskop s digitalnom analizom slike Olympus BX51 s digitalnom kamerom DP50 i prateći programski paket AnalySIS, sl. 87 i 88, instaliran u Laboratoriju za restauraciju i konzervaciju tekstila i forenzična ispitivanja.



**Slika 87** Mikroskop  
Olympus BX51



a)



b)

**Slika 88** Identifikacija sirovinskog sastava materijala M2:  
a) osnova 100x, pamučna vlakna / kuoxam, b) potka  
100x, elastanska vlakna / ClZnJ

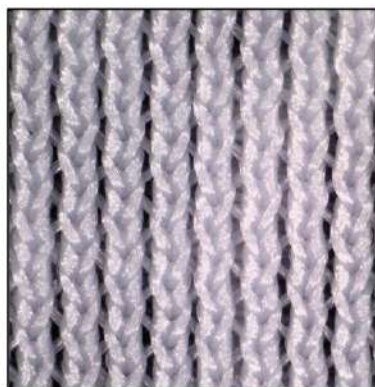


### **Struktura tekstilnog materijala**

Na oba tekstilna materijala utvrđena je struktura niti pomoću Dino-Lite AM7915MZT digitalnog mikroskopa, sl. 89. U nastavku su dani prikazi površine materijala snimljeni pod povećanjem 68,1x, sl. 90.



**Slika 89** Digitalni mikroskop Dino-Lite AM7915MZT



a)



b)

**Slika 90** Površina tekstilnih materijala snimljena Dino-Lite digitalnim mikroskopom pod povećanjem 68,1x: a) materijal M1 - pletivo, b) materijal M2 - tkanina

### **Gustoća po jediničnoj duljini**

Gustoća tekstilnih materijala, definirana kao broj niti osnove i potke na jedinici duljine od jednog centimetra za tkanine, odnosno broj nizova (horizontalna gustoća) i broj redova (vertikalna gustoća) za pletiva, utvrđena je metodom izbrojavanja prema normi HRN EN 1049-2:2003 [200]. Na uzorcima materijala izvedeno je po pet pojedinačnih mjerenja, pri čemu je kod materijala M1 primijenjena metoda izbrojavanja nizova i redova na površini pletiva pomoću Dino-Lite digitalnog mikroskopa. Kod materijala M2 primijenjena je metoda izbrojavanja paranjem ispitnih uzorka određene duljine prema tab. 14. Rezultati su dani kao srednja vrijednost pojedinačnih mjerenja i iskazani kao broj niti, odnosno nizova ili redova po centimetru, što je prikazano u poglavlju Rezultati i rasprava, točka 4.4.1.

**Tablica 14** Određivanje gustoće niti po jediničnoj duljini

| Broj niti po centimetru duljine | Minimalna duljina mjerenja | Broj niti po ispitivanom uzorku | Preciznost u postocima |
|---------------------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------------|
| < 10                            | 10                         | < 100                           | >0,5                   |
| 10-25                           | 5                          | 50-125                          | 1,0-0,4                |
| 25-40                           | 3                          | 75-120                          | 0,7-0,4                |
| > 40                            | 2                          | > 80                            | < 0,6                  |

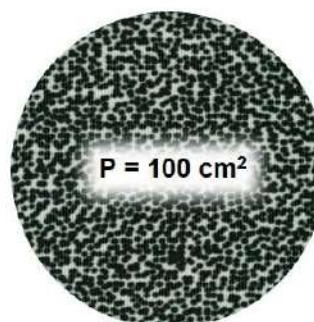
**Plošna masa**

Plošna masa i debljina za dva tekstilna materijala utvrđeni su primjenom mjerne opreme u Laboratoriju za fizikalno-kemijska ispitivanja tekstila. Plošna masa, definirana kao masa kvadratnog metra tekstilnog materijala izražena u gramima, utvrđena je prema normi HRN ISO 3801:2003 [201]. Ispitivanje je provedeno primjenom analitičke vage, na tri kondicionirana kružna uzorka površine 100 cm<sup>2</sup> za svaki tekstilni materijal, sl. 91. Rezultati su prikazani kao srednje vrijednosti pojedinačnih mjerenja, preračunati u masu izraženu u gramima po kvadratnom metru materijala prema izrazu (63), i prikazani u poglavlju Rezultati i rasprava, točka 4.4.1.

$$m = m_u \cdot 100 [g/m^2] \quad (63)$$



a)



b)

**Slika 91** Ispitivanje plošne mase: a) analitička vaga b) dimenzije ispitnih uzoraka**Debljina**

Debljina tekstilnog materijala definirana kao razmak između dvije metalne ravne paralelne ploče razdvojene tekstilnim materijalom koji se nalazi pod određenim pritiskom, utvrđena je prema normi HRN ISO 5084:2003 [202]. Za ispitivanje je korišten debljinomjer s pritiskivačem promjera 50 mm (površine 2000 mm<sup>2</sup>) i pritisak od 1 kPa. Provedeno je 10 pojedinačnih



mjerjenja na različitim dijelovima ispitnih uzoraka za svaki materijal te su rezultati iskazani kao srednja vrijednost pojedinačnih mjerenja u milimetrima, što je prikazano u poglavlju Rezultati i rasprava, točka 4.4.1.

### 3.4.2. Ispitivanje parametara mehaničkih svojstava primjenom KES-FB sustava

Primjenom mjernog sustava Kawabata Evaluation System KES-FB, instaliranog na Sveučilištu u Lodzu Poljska, utvrđeni su parametri mehaničkih svojstava potrebni za 3D simulaciju odjevnih predmeta i daljnje istraživanje, tab. 15. Ispitivanja su provedena na prethodno kondicioniranim ispitnim uzorcima dimenzija 200 x 200 cm, sl. 92. Utvrđene vrijednosti parametara za odabrane materijale M1 i M2 prikazani su u poglavlju Rezultati i rasprava, točka 4.4.2.



**Slika 92** Dimenzije ispitnih uzorka za mjerenje KES sustavom

**Tablica 15** Mehanički parametri utvrđeni KES sustavom

| Svojstvo         | Parametar    |
|------------------|--------------|
| Vlačna svojstva  | EMT – x [%]  |
|                  | EMT – y [%]  |
| Savojna svojstva | B – x [cNcm] |
|                  | B – y [cNcm] |
| Smična svojstva  | G [cN/cm]    |
| Debljina         | T0 [mm]      |

### 3.4.3. Ispitivanje prekidne sile i prekidnog istezanja metodom trake

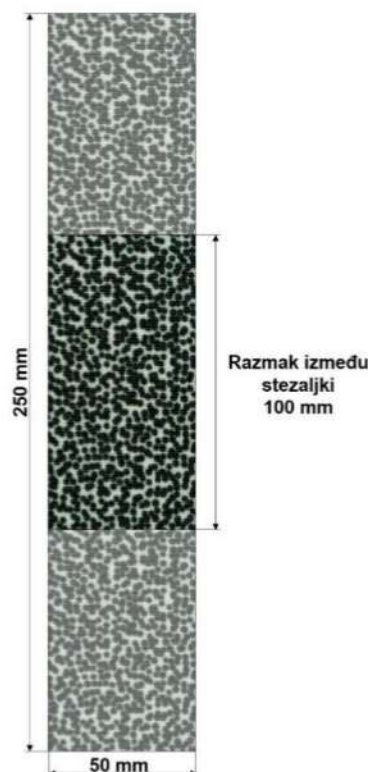
Ispitivanje prekidne sile i prekidnog istezanja izvedeno je metodom trake prema normi HRN EN ISO 13934-1:2013 [203], za što je korištena kidalica Mesdan S.p.A. Tensolab 3000, instalirana u Laboratoriju za fizikalno-kemijska ispitivanja tekstila, sl. 93. Za svaki tekstilni materijal ispitano je 10 uzoraka, pet u smjeru nizova i pet u smjeru redova za pleteni materijal M1, odnosno pet u smjeru osnove i pet u smjeru potke za tkani materijal M2. S obzirom da se radi o elastičnim materijalima, za ispitivanje je definirana početna duljina ispitnih uzoraka, odnosno razmak između stezaljki kidalice od 100 mm, pri čemu su ukupne dimenzije ispitnih uzoraka 250x50 mm, sl. 94. Ispitivanje je provedeno uz konstantnu brzinu istezanja od 100

mm/min. Ispitivanjem su utvrđene vrijednosti prekidnih sila ( $F_p$ ) i prekidnog istezanja ( $\varepsilon_p$ ), koje se izračunava prema izrazu (64), za svaki uzorak te su rezultati dani kao srednja vrijednost pojedinačnih mjerenja u određenom smjeru i prikazani u poglavlju Rezultati i rasprava, točka 4.4.3.

$$\varepsilon_p = \frac{l_p - l_0}{l_0} \cdot 100 [\%] \quad (64)$$



**Slika 93** Kidalica Mesdan S.p.A., Tensolab 3000



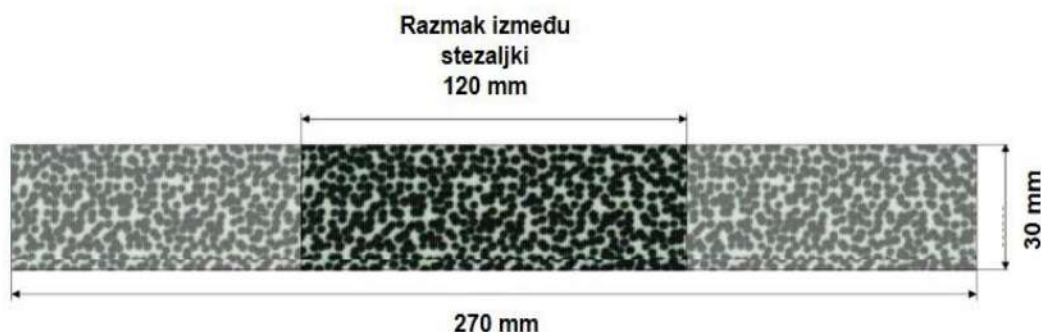
**Slika 94** Dimenzije ispitnih uzoraka za ispitivanje prekidne sile i prekidnog istezanja

#### 3.4.4. Ispitivanje parametara vlačnih svojstava prilagođenom metodom prema Fabric Kit mjernom sustavu

S obzirom da je u okviru cjeline istraživanja koja se odnosi na razvoj računalnih 3D prototipova odjevnih predmeta korišten program Clo3D, vlačna svojstva odabranih materijala dodatno su ispitana prema parametrima i metodi koji se primjenjuju kod Fabric Kit mjernog sustava opisanog u točki 2.4.2.2., a koji je razvijen upravo za utvrđivanje parametara i unos vrijednosti u program Clo3D. U okviru ovog istraživanja, za ispitivanje vlačnih svojstava korištena je kidalica kao i kod ispitivanja prekidnog istezanja standardnom metodom, ali su pri tome parametri ispitivanja i dimenzije ispitnih uzoraka prilagođeni Fabric Kit metodi, sl. 95. Izmjereno je po tri uzorka za svaki materijal, po jedan uzorak u smjeru osnove, smjeru potke i



dijagonalnom smjeru. Kao rezultat su iskazane vrijednosti sila pet uzastopnih očitavanja kod produljenja ispitnih uzoraka za 1 mm, što je prikazano u poglavlju Rezultati i rasprava, točka 4.4.4.



**Slika 95** Dimenzije ispitnih uzoraka prema metodi Fabric Kit

### 3.4.5. Digitalizacija tekstilnih materijala preko SEDDI Textura AI aplikacije

Primjenom SEDDI Textura AI aplikacije, koja je opisana u toč. 2.4.3., digitalizirani su tekstilni materijali M1 i M2 te su utvrđene vrijednosti mehaničkih parametara za primjenu u daljnjem istraživanju i razvoju računalnih 3D prototipova primjenom Clo3D sustava. Vrijednosti parametara prikazane su u poglavlju Rezultati i rasprava, točka 4.4.5.

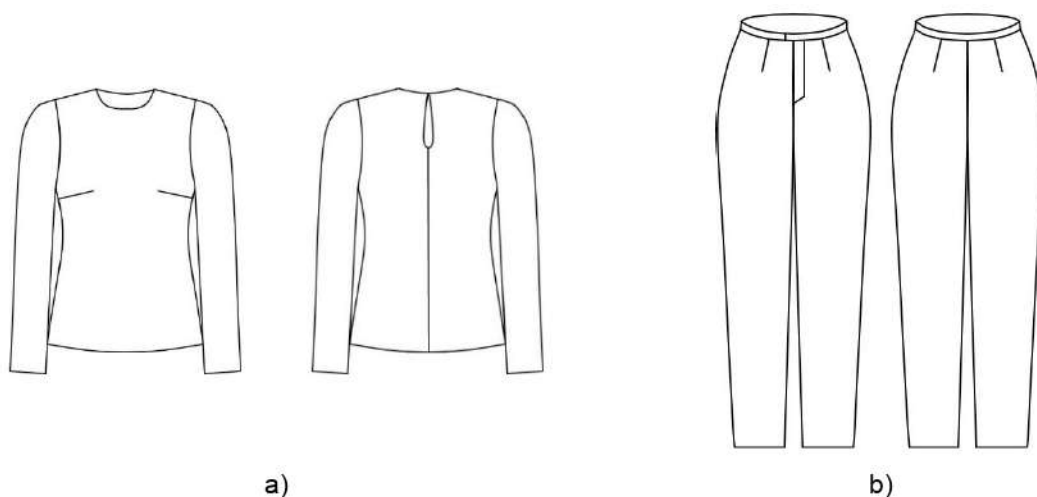
## 3.5. Računalna konstrukcija i razvoj parametarskih krojeva modela odjevnih predmeta

U narednim točkama prikazana je konstrukcija i razvoj parametarskih krojeva za prilagodbu prema individualnim mjerama i tipovima tijela, primjenom CAD sustava za projektiranje odjeće Optitex. Za daljnje istraživanje odabrano je pet ženskih odjevnih predmeta. Temeljni modeli bluze i hlača na temelju kojih je kreiran klasični, temeljni model ženskog radnog kombinezona (K2). Model ženskog trikoa (K1), koji pranja uz tijelo i korišten je u dijelu istraživanja dinamičke antropometrije tijela, točka 3.2.2., te model radnog kombinezona (K3), osmišljen i dizajniran u okviru istraživanja kako bi zadovoljio kriterije funkcionalnosti s aspekta dinamičke antropometrije za različite tipove tijela. Tehnički crteži modela i pripadajući opisi dani su u nastavku.

### Ženska bluza i hlače

Temeljni model bluze ima okrugli vratni izrez s otvorom za oblačenje na stražnjoj sredini, duljine 10 cm i dugmetom za kopčanje. Prsni ušitak pozicioniran je u bočni šav, tri centimetra

ispod dubine orukavlja. Model je blago strukiran na bočnim šavovima. Duljina kroja skraćena je za pet centimetara iznad linije bokova i blago zaobljena. Model ima duge rukave duljine do zapešća s klasičnim orukavljem, sl. 96a. Model hlača ima kopčanje pomoću zatvarača na liniji prednje sredine i ušitak na prednjem i stražnjem dijelu. Model ima normalnu visinu linije struka i uske nogavice, sl. 96b. Za izradu modela ženske bluze i hlača u okviru istraživanja predviđen je tkani tekstilni materijal M2, čije su karakteristike i parametri opisani u točki 4.4.

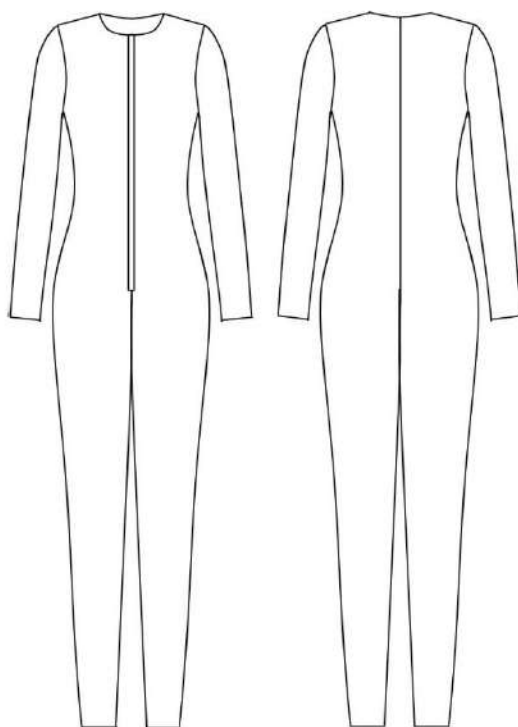


**Slika 96** Tehnički crteži modela odjevnih predmeta: a) ženska bluza, b) ženske hlače

### **Ženski triko – model K1**

Model ženskog trikoa K1 prianja uz tijelo, ima okrugli vratni izrez, bez ušitaka, dugih rukava i nogavica duljine do gležnja, rezan je na linijama prednje i stražnje sredine s kopčanjem na zatvarač na prednjem dijelu, sl. 97. Za izradu modela uskog kombinezona u okviru istraživanja predviđeno je elastično pletivo, odnosno tekstilni materijal M1 čije su karakteristike i parametri opisani u točki 4.4.

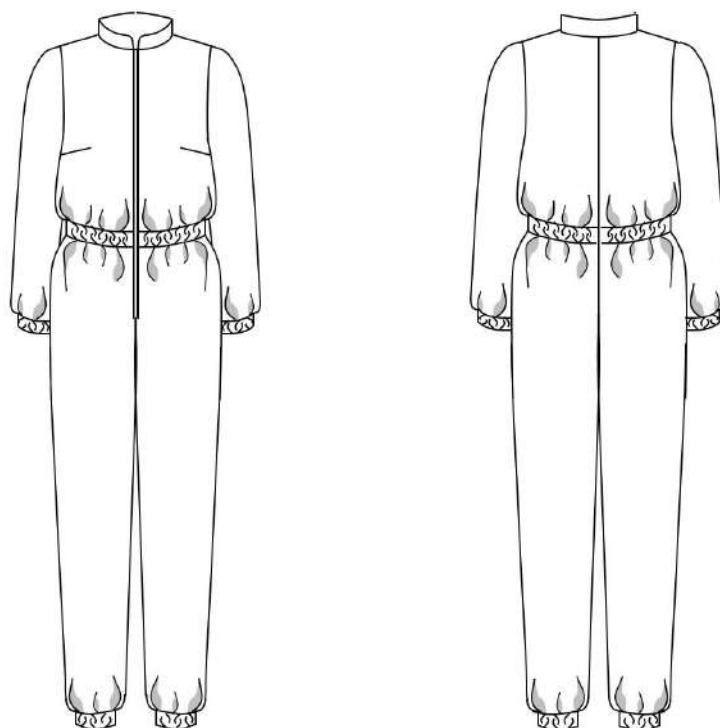




**Slika 97** Tehnički crtež modela ženskog trikoa K1

### **Ženski radni kombinezon – model K2**

Temeljni model ženskog radnog kombinezona K2 ima okrugli vratni izrez sa stojećim ovratnikom širine tri centimetra i kopčanje pomoću zatvarača na liniji prednje sredine. Prsni ušitak pozicioniran je u bočni šav, tri centimetra ispod dubine orukavlja. Na liniji struka umetnut je tunel širine četiri centimetra u koji se uvlači guma za nabiranje viška širine kroja na struku (16 cm viška). Model ima razdjelni šav na liniji stražnje sredine i duge rukave s klasičnim orukavljem. Na duljini rukava i nogavica također se nalaze prošiveni tuneli širine tri centimetra s uvučenom gumicom za nabiranje, sl. 98.

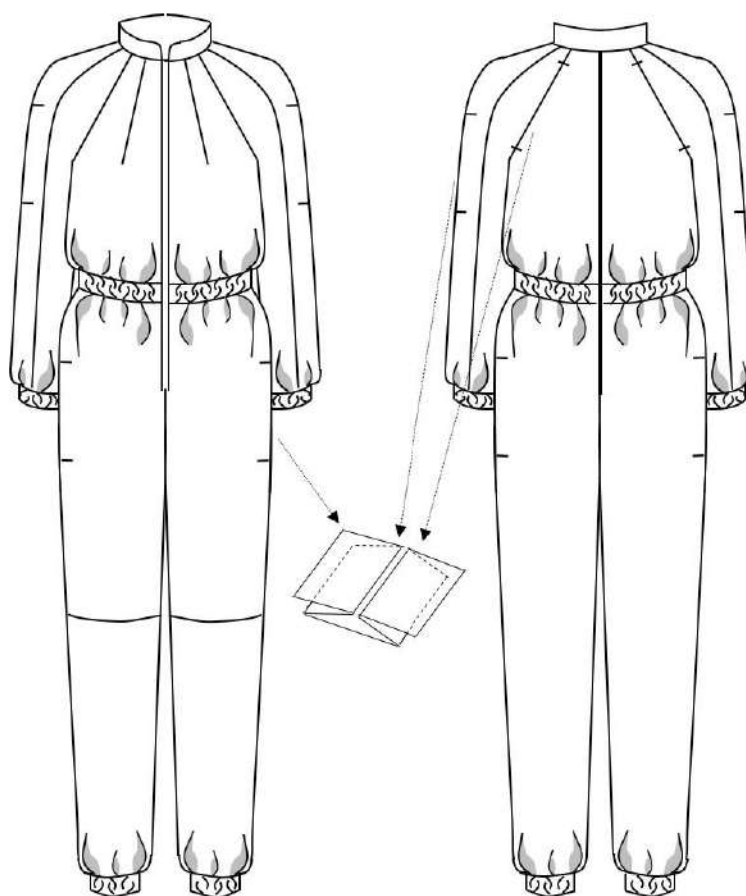


**Slika 98** Tehnički crtež temeljnog modela ženskog radnog kombinezona K2

### **Ženski radni kombinezon – model K3**

Model kombinezona K3 dizajniran je prema parametrima dinamičke antropometrije tijela utvrđenim u prethodnoj cjelini istraživanja prikazanoj u točki 3.2. Rezultati analize deformacija površine tijela u pokretu, promatrani u poprečnom (x) i uzdužnom (y) smjeru, mogu se povezati s konstrukcijom i mjerama na kroju, kao i s parametrima materijala za izradu odjevnog predmeta. No na promatranim područjima najvećih deformacija tijela dolazi do pomaka i deformacija u z smjeru, koji se s aspekta dinamičke pristalosti odjeće ne mogu direktno povezati s dimenzijama kroja te je potrebno istražiti moguća konstrukcijska rješenja s elementima koji će osiguravati dodatnu komociju na ciljanim zonama. U tom smislu, u okviru istraživanja je osmišljen i dizajniran model kombinezona K3 koji na utvrđenim zonama najvećeg naprezanja tijela ima umetnute dvostruke složene nabore koji se prilikom kretanja i promjene dimenzija tijela otvaraju i osiguravaju dodatnu komociju. Na modelu kombinezona K3, prsni ušitak prebačen je iz bočnog šava u vratni izrez, tri centimetra od točke prednje sredine te je klasično orukavlje modelirano u raglan, koji pozicijom na stražnjem dijelu kroja prolazi dijagonalno preko područja najveće deformacije tijela prilikom pokretanja ruku. U raglan šavove na stražnjem dijelu, tri centimetra ispod vrtnog izreza, umetnuti su dvostruki složeni nabori dubine šest cm i duljine 25 cm, učvršćeni zaporima na početku i na kraju nabora. U bočne šavove nogavica, pet centimetara ispod linije struka, umetnuti su vertikalni dvostruki

složeni nabori dubine šest cm i duljine 20 cm. Na stražnjim dijelovima nogavica, pet centimetara od bočnih šavova nalaze se paralelni vertikalni razdjelni šavovi. Na prednjim dijelovima nogavica, u visini koljena, nalaze se horizontalni razdjelni šavovi, u koje su po cijeloj širini šava umetnuti dvostruki složeni nabori dubine dva centimetra, učvršćeni u bočnim šavovima nogavica. Rukavi su sastavljeni od četiri dijela (dva prednja i dva stražnja). U vanjskim razdjelnim šavovima rukava, pet centimetara ispod točke vrha ramena, umetnuti su dvostruki složeni nabori dubine šest cm i duljine 20 cm, učvršćeni zaporima na početku i na kraju nabora, sl. 99.



**Slika 99** Tehnički crtež modela ženskog radnog kombinezona K3

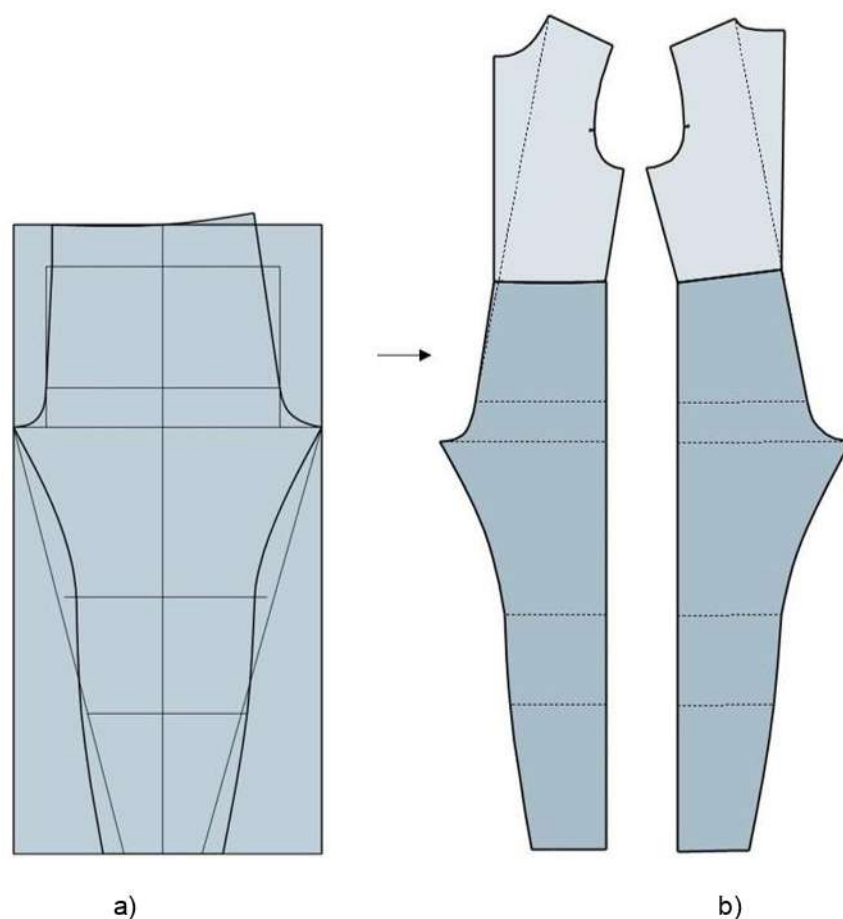
### **3.5.1. Računalna konstrukcija i modeliranje krojeva pet modela ženskih odjevnih predmeta**

Primjenom programa Pattern Design System v.12.3. CAD sustava Optitex i tehnikama konvencionalne konstrukcije i modeliranja krojeva, konstruirani su modeli odjevnih predmeta u odjevnoj veličini 38, prema prethodno prikazanim tehničkim crtežima i opisima modela. Odjevna veličina 38 odabrana je kao temeljna s obzirom na mjere ispitanica (I1, I2 i I3), za

koje će se u završnoj fazi prilagođavati krojevi modela odjeće. Parametarski krojevi razvijaju se na temelju gotovih krojnih dijelova ciljanog modela odjevnog predmeta te se nakon parametarizacije kroj može višekratno prilagođavati različitim modelima tijela i ispitanicima. Stoga se početni kroj konstruira u veličini koja najoptimalnije pokriva raspone glavnih tjelesnih mjera ispitanika ili ciljane populacije kojoj je odjevni predmet namijenjen. U tom smislu, odjevna veličina 38 najoptimalnije odgovara glavnim tjelesnim mjerama odabranih ispitanica ( $I1/Og = 90,3$  cm,  $I2/Og = 95,4$  cm,  $I3/Og = 91,6$  cm).

### Ženski triko – model K1

Konstruirani kroj temeljnog modela ženskog bodija i ženskih tajica korišteni su kao osnova za modeliranje ženskog trikoa K1, sl. 100.

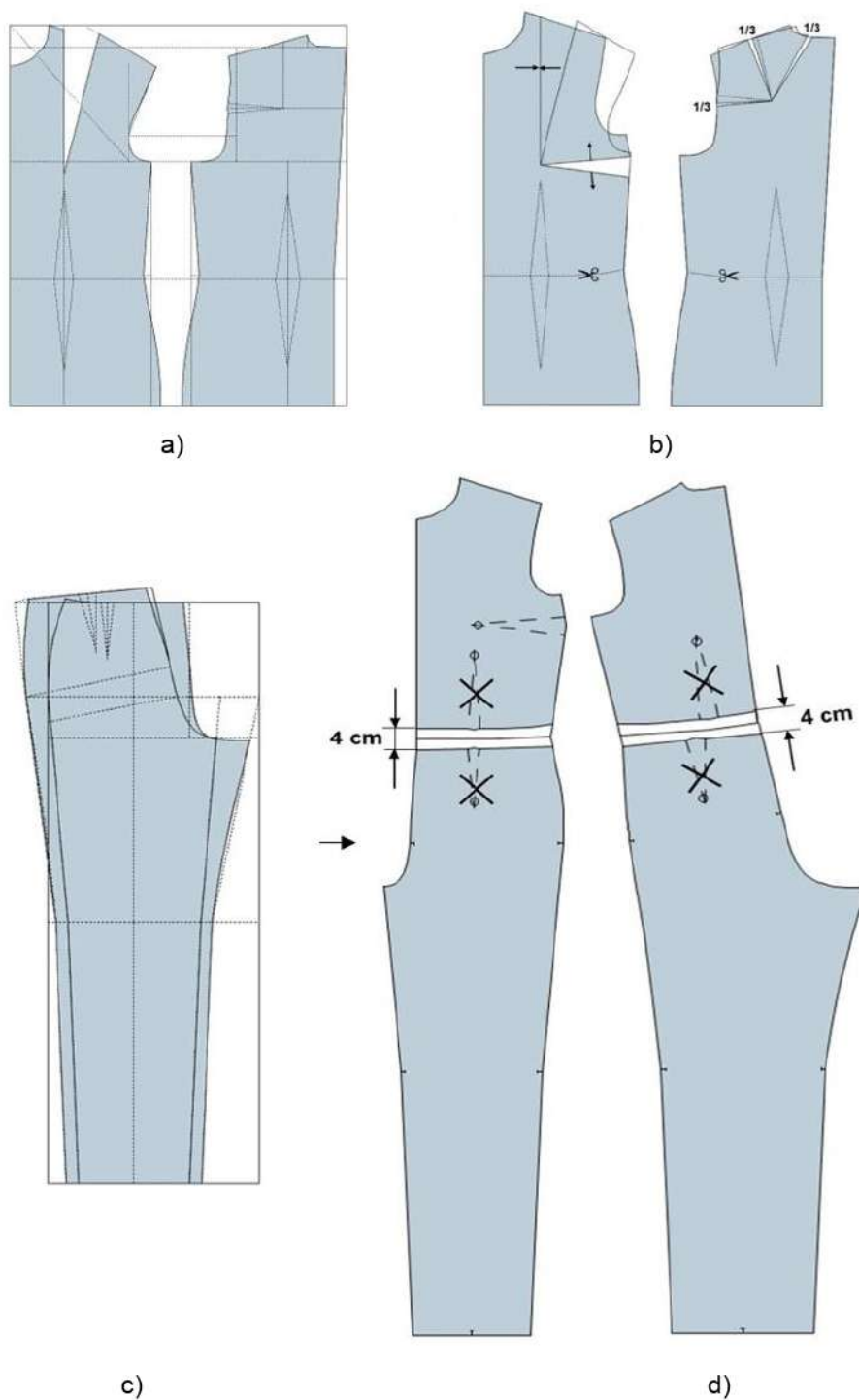


**Slika 100** Modeliranje kroja ženskog uskog kombinezona K2: a) bazni kroj ženskih tajica, b) montaža gornjeg i donjeg dijela kroja



## Ženski radni kombinezon – model K2

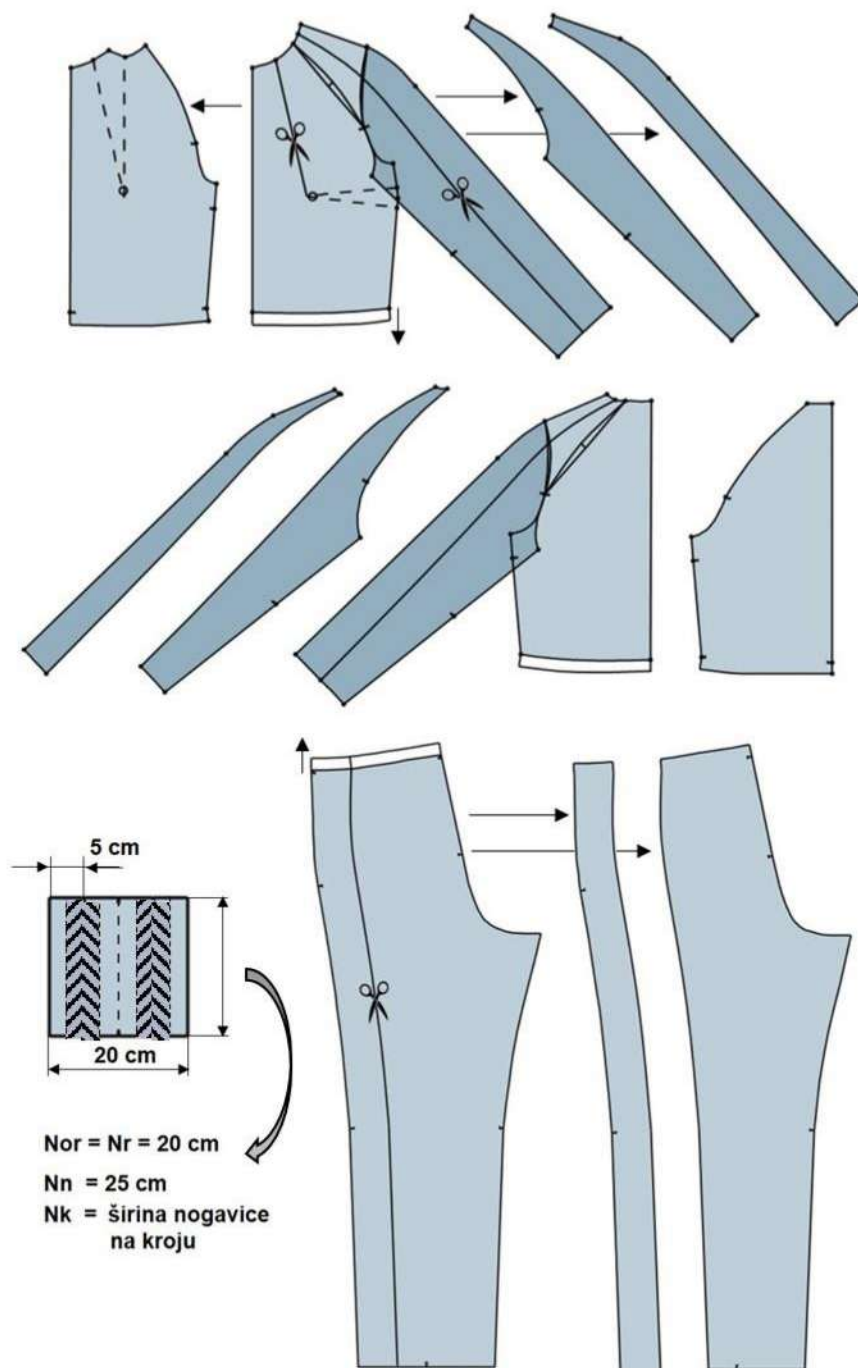
Konstruirani krojevi baznih modela ženske bluze i hlača korišteni su kao osnova za modeliranje temeljnog modela ženskog radnog kombinezona K2, sl. 101.



**Slika 101** Modeliranje kroja temeljnog modela ženskog radnog kombinezona K2: a) kroj ženske bluze, b) modeliranje gornjeg dijela kroja, c) kroj ženskih hlača, d) montaža gornjeg i donjeg dijela kroja

### Ženski radni kombinezon – model K3

Kao osnova za modeliranje funkcionalnog modela ženskog radnog kombinezona K3 korišten je prethodno modelirani kroj kombinezona model K2. Na sl. 102 prikazani su koraci modeliranja kroja.



*Nor – duljina nabora u orukavlju, Nr – duljina nabora na rukavu, Nn – duljina nabora u bočnom šavu nogavice, Nk – duljina nabora na koljenu*

**Slika 102** Modeliranje ženskog funkcionalnog modela radnog kombinezona K3

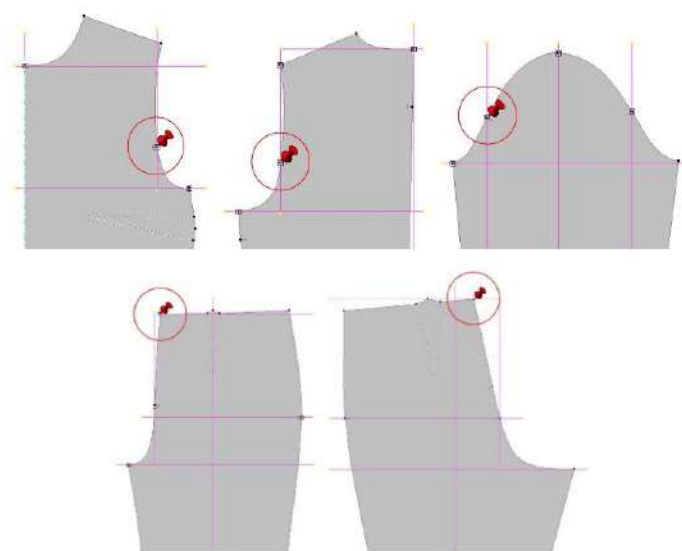
Modelirani krojevi svih odjevnih predmeta u veličini 38, prikazani su u poglavlju Rezultati i rasprava, točka 4.5.1.

### 3.5.2. Razvoj parametarskih krojeva za automatsku prilagodbu prema individualnim mjerama ispitanica različitih tipova tijela

U nastavku je opisan slijed razvojnih koraka na temelju istraživanja mogućnosti parametrizacije kroja pojedinog modela odjevnog predmeta, primjenom programa Modulate v.11.5 CAD sustava Optitex.

#### 3.5.2.1. Definiranje osnovnih elemenata, fiksni točaka, osi i mjera na krojnim dijelovima – korak 1

Prvi korak obuhvaća definiranje fiksnih točaka i osi na krojnim dijelovima. Na svim modelima definirana je po jedna fiksna točka na pojedinom krojnom dijelu koja odgovara poziciji ishodišne točke gradiranja u konvencionalnoj konstrukciji odjeće, sl. 103. Na linijama karakterističnih tjelesnih opsega kreirane su horizontalne osi koje povezuju sve točke na linijama i osiguravaju istovremenu prilagodbu prema korespondentnim tjelesnim visinama. Na segmentima prednje i stražnje sredine, sredini nogavica i sredini rukava, kreirane su vertikalne osi koje povezuju točke na osima i osiguravaju simetričnu prilagodbu lijeve i desne strane kroja ili širine segmenta na pojedinom krojnom dijelu.



**Slika 103** Definiranje fiksnih točaka i osi na krojnim dijelovima

Na modelima ženske bluze i hlača definirano je ukupno 26 mjera za koje je potrebno omogućiti prilagodbu kroja, tab. 16. Mjere za sve druge modele preuzete se iz prikazanog seta, s obzirom da se krojevi modela konstrukcijski baziraju na krojevima bluze i hlača.

**Tablica 16** Tablica mjera za prilagodbu krojeva

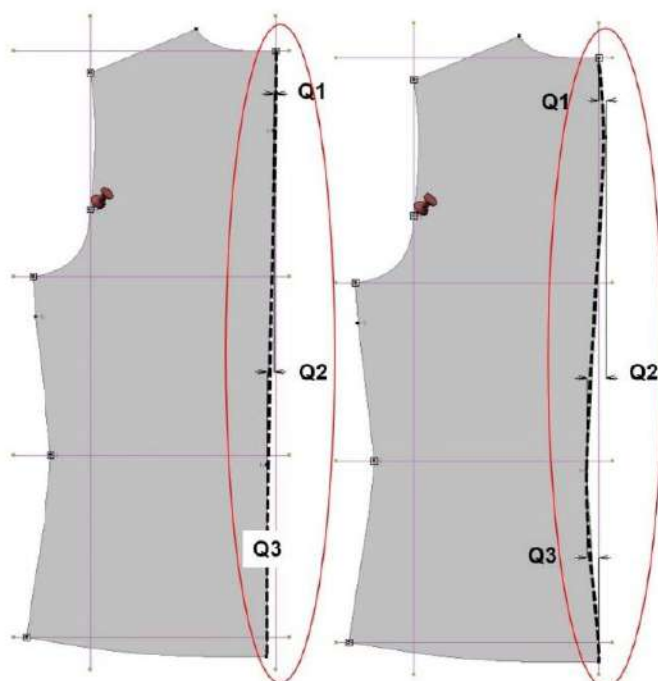
| Br. | Tjelesne mjere                                                                                 | Oznaka                | Način povezivanja i prilagodbe mjere na kroju                                 |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | Opseg grudi                                                                                    | <i>Og</i>             | - mjera u segmentima<br>- prilagodba preko matematičkog izraza                |
| 2.  | Opseg struka                                                                                   | <i>Os</i>             |                                                                               |
| 3.  | Opseg bokova                                                                                   | <i>Ob</i>             |                                                                               |
| 4.  | Opseg bokova na dubini sjedala                                                                 | <i>Ob<sub>2</sub></i> |                                                                               |
| 5.  | Opseg nadlaktice                                                                               | <i>Onl</i>            |                                                                               |
| 6.  | Opseg podlaktice                                                                               | <i>Opl</i>            |                                                                               |
| 7.  | Opseg zapešća                                                                                  | <i>Oz</i>             |                                                                               |
| 8.  | Opseg natkoljenice                                                                             | <i>Onk</i>            |                                                                               |
| 9.  | Opseg potkoljenice                                                                             | <i>Opk</i>            |                                                                               |
| 10. | Opseg gležnja                                                                                  | <i>Ogl</i>            |                                                                               |
| 11. | Širina leđa u visini pazuha                                                                    | <i>Šl</i>             | - direktan unos vrijednosti mjere<br>- povezivanje mjera preko istog nazivlja |
| 12. | Stražnja duljina leđa od c7 do Og                                                              | <i>Dl<sub>1</sub></i> |                                                                               |
| 13. | Stražnja duljina leđa od Og do Os                                                              | <i>Dl<sub>2</sub></i> |                                                                               |
| 14. | Duljina kroja – Bočna duljina od Os do Oz                                                      | <i>Dk</i>             |                                                                               |
| 15. | Dubina sjedala - Duljina od Os do Ob <sub>2</sub>                                              | <i>Ds</i>             |                                                                               |
| 16. | Visina koljena - Bočna duljina od Ob do Ok                                                     | <i>Vk</i>             |                                                                               |
| 17. | Širina ramena                                                                                  | <i>Sr</i>             |                                                                               |
| 18. | Duljina rukava                                                                                 | <i>Dr</i>             |                                                                               |
| 19. | Visina prednjeg dijela                                                                         | <i>Vpd</i>            | - prilagodba preko odnosa s mjerom opsega grudi                               |
| 20. | Prednja širina vratnog izreza                                                                  | <i>Psvi</i>           |                                                                               |
| 21. | Stražnja širina vratnog izreza                                                                 | <i>Ssvi</i>           |                                                                               |
| 22. | Prednja krivulja orukavlja 1                                                                   | <i>Por1</i>           | - mjera izmjerena na kroju                                                    |
| 23. | Prednja krivulja orukavlja 2                                                                   | <i>Por2</i>           | - povezivanje s mjerama na kugli rukava preko istog nazivlja                  |
| 24. | Stražnja krivulja orukavlja 1                                                                  | <i>Sor1</i>           |                                                                               |
| 25. | Stražnja krivulja orukavlja 2                                                                  | <i>Sor2</i>           |                                                                               |
| 26. | Krivulja stražnje sredine 1 – između točke c7 i točke vrha lopatične kosti                     | <i>Q<sub>1</sub></i>  | - prilagodba prema parametrima držanja tijela                                 |
| 25. | Krivulja stražnje sredine 2 – između točke vrha lopatične kosti i stražnje točke linije struka | <i>Q<sub>2</sub></i>  |                                                                               |
| 26. | Krivulja stražnje sredine 3 – između točke vrha lopatične kosti i stražnje točke linije struka | <i>Q<sub>3</sub></i>  |                                                                               |



### 3.5.2.2. Povezivanje mjera na krojnim dijelovima – korak 2

Drugi korak obuhvaća povezivanje, mjera čime se promjenom vrijednosti jedne mjere omogućava istovremena prilagodba više povezanih segmenata zajedno. Povezivanje mjera na krojnim dijelovima je specifično za svaki odjevni predmet i ovisi o dizajnu, konstrukciji i željenoj razini prilagodbe. U nastavku su prikazani načini povezivanja mjera korišteni u istraživanju.

Mjere segmenata različitih visina na kroju, poput duljine leđa, duljine bočnog šava, visine koljena ili duljine rukava, tab. 16, povezane su s korespondentnim mjerama na drugim krojnim dijelovima preko istog nazivlja i prilagođavaju se prema direktnom unosu vrijednosti ciljane tjelesne mjere. Mjere vratnog izreza i visine prednjeg dijela povezane su s mjerom opsega grudi i prilagođavaju se u odnosu na vrijednost opsega. Mjere orukavlja se očitavaju po završetku prilagodbe prednjeg i stražnjeg dijela te se izmjerene vrijednosti prenose na kuglu rukava. Prilagodba prema držanju tijela omogućena je preko mjera na liniji stražnje sredine leđa, sl. 104, direktnim unosom vrijednosti parametara definiranih za pojedini tip prema prethodno provedenoj antropometrijskoj analizi prikazanoj u točki 3.1.3.



**Slika 104** Prilagodba parametarskog kroja prema držanju tijela

### 3.5.2.3. Definiranje matematičkih izraza za prilagodbu pojedine mjere – korak 3

Prilagodba krojeva prema vrijednostima karakterističnih tjelesnih opsega definirana je preko matematičkih izraza koji povezuju setove mjera, čiji zbroj određuje korespondentni opseg na kroju. Matematički izrazi za prilagodbu pojedinog modela odjevnog predmeta razvijeni su u skladu s pravilima konvencionalne konstrukcije odjeće i početno proporcionalnom raspodjelom ciljane vrijednosti dodatka za komociju, koje se temelje na definiranju i prilagodbi postotnih udjela pojedinih segmenata u ukupnoj mjeri. Opseg grudi na kroju može se zapisati kao opseg grudi tijela uvećan za iznos komocije kroja (izraz 65).

$$Og_{kroj} = Og_{tijela} + D_{komocija} \quad (65)$$

Mjeru opsega grudi na polovici kroja čine četiri segmenta, širina grudi ( $\check{S}_g$ ), širina orukavlja na prednjem dijelu ( $\check{S}_{op}$ ), širina orukavlja na stražnjem dijelu ( $\check{S}_{os}$ ) i širina leđa ( $\check{S}_l$ ) (izraz 66).

$$Og_{kroj} = 2(\check{S}_g + \check{S}_{op} + \check{S}_{os} + \check{S}_l) \quad (66)$$

Dimenzije segmenata na liniji opsega grudi mogu se prema pravilima konvencionalne konstrukcije odjeće i prosječnim antropometrijskim proporcijama prikazati kao postotni udjeli ukupne mjere tjelesnog opsega uvećani za udio dodatka za komociju, iz čega proizlazi izraz za prilagodbu opsega grudi:

$$Og_{kroj} = 2[(0,208 \cdot Og_{tijela} + 0,25D_{komocija}) + (0,042 \cdot Og_{tijela}) + (0,083 \cdot Og_{tijela}) + (0,167 \cdot Og_{tijela} + 0,25 \cdot D_{komocija})] \quad (67)$$

Mjeru opsega struka na polovici kroja čine dva segmenta, širina struka na prednjem dijelu ( $SPD$ ) i širina struka na stražnjem dijelu ( $SSD$ ), prikazani kao postotni udjeli ukupne mjere tjelesnog opsega uvećani za udio dodatka za komociju, iz čega proizlazi izraz za prilagodbu opsega grudi:

$$Os_{kroj} = 2(SPD + SSD) \quad (68)$$

$$Os_{kroj} = 2[0,25(Os_{tijela} + D_{komocija}) + 0,25(Os_{tijela} + D_{komocija})] \quad (69)$$

S obzirom da se na modelu hlača na liniji struka prednjeg i stražnjeg dijela nalaze ušitci, segmenti su podijeljeni na dva dijela te je analogno prethodno prikazanom postupku definiran

novi set mjera i izraz za prilagodbu opsega struka koji uključuje fiksni dodatak za komociju od 1 cm.

$$Os_{kroj} = 2(SPD1 + SPD2 + SSD1 + SSD2) \quad (70)$$

$$Os_{kroj} = 2[0,125 \cdot Os + (0,125 \cdot Os + 1) + 0,125 \cdot Os + (0,125 \cdot Os + 1)] \quad (71)$$

Mjeru opsega bokova na polovici kroja čine dva segmenta, prednja širina bokova ( $BPD$ ) i stražnja širina bokova ( $BSD$ ) prikazani kao postotni udjeli ukupne mjere tjelesnog opsega uvećani za udio dodatka za komociju.

$$Ob_{kroj} = 2(BPD + BSD) \quad (72)$$

$$Ob_{kroj} = 2[0,245(Ob_{tijela} + D_{komocija}) + 0,255(Ob_{tijela} + D_{komocija})] \quad (73)$$

Liniju kroja hlača na dubini sjedala čine četiri segmenta, prednja širina sjedala ( $PSs$ ), prednja širina maksimalnog opsega bokova ( $BPD_2$ ), stražnja širina maksimalnog opsega bokova ( $BSD_2$ ) i stražnja širina sjedala ( $SSs$ ). Segmenti širine hlača na dubini sjedala prednjeg i stražnjeg dijela odgovaraju tjelesnoj mjeri maksimalnog opsega bokova i mogu se prikazati kao postotni udjeli uvećani za udio dodatka za komociju preko izraza:

$$Ob_{2kroj} = 2(BPD + BSD_2) \quad (74)$$

$$Ob_{2kroj} = 2[0,245(Ob_{2tijela} + D_{komocija}) + 0,255(Ob_{2tijela} + D_{komocija})] \quad (75)$$

Segment širine sjedala na prednjem dijelu ( $PSs$ ) također je povezan s mjerom maksimalnog opsega bokova preko izraza:

$$PSs_{kroj} = 0,05 \cdot Ob_{2tijela} \quad (76)$$

Segment stražnje širine sjedala ( $SSs$ ) definiran je preko segmenta polovice širine na liniji dubine sjedala ( $BSD_3$ ) čija se dimenzija očitava na kroju i prenosi povezivanjem preko istog nazivlja. Opsezi na duljinama rukava i nogavica ( $Oz_{kroj}$  i  $Ogl_{kroj}$ ) podijeljeni su na prednji i stražnji dio i definirani u odnosu na tjelesne opsege zapešća i gležnja s uračunatim dodatkom za nabiranje ( $D_{nabiranje}$ ):

$$Oz_{kroj} = ZPD + ZST = 2[0,5(Oz_{tijela} + D_{nabiranje})] \quad (77)$$

$$Ogl_{kroj} = GLPD + GLST = 2[0,5(Ogl_{tijela} + D_{nabiranje})] \quad (78)$$

U okviru istraživanja definirane su prilagođene vrijednosti udjela pojedinog segmenta u ukupnoj tjelesnoj mjeri za svaki pojedini tip, tab. 17, prema parametrima odnosa opsega i korespondentnih tjelesnih širina, utvrđenih u prethodno provedenoj antropometrijskoj analizi tipova tijela prikazanoj u točki 3.1.2.

**Tablica 17** Udjeli segmenata kroja u ukupnim mjerama karakterističnih opsega

| Opseg                          | Set mjera    | Simbol                 | Udio mjere u ukupnom opsegu kroja prema standardu [%] | Prilagodba udjela prema tipu tijela |      |      |
|--------------------------------|--------------|------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------|------|------|
|                                |              |                        |                                                       | F1                                  | F2   | F3   |
| Opseg grudi                    | Prednji dio  | <i>GPD</i>             | 25,0                                                  | 24,5                                | 25,0 | 25,5 |
|                                | Stražnji dio | <i>GSD</i>             | 25,0                                                  | 25,5                                | 25,0 | 24,5 |
| Opseg struka                   | Prednji dio  | <i>SPD</i>             | 25,0                                                  | 24,5                                | 25,0 | 25,0 |
|                                | Stražnji dio | <i>SSD</i>             | 25,0                                                  | 25,5                                | 25,0 | 25,0 |
| Opseg bokova                   | Prednji dio  | <i>BPD</i>             | 24,5                                                  | 24                                  | 24,5 | 23,5 |
|                                | Stražnji dio | <i>BSD</i>             | 25,5                                                  | 26                                  | 25,5 | 26,5 |
| Opseg bokova na dubini sjedala | Prednji dio  | <i>BPD<sub>2</sub></i> | 24,5                                                  | 24                                  | 24,5 | 23,5 |
|                                | Stražnji dio | <i>BSD<sub>2</sub></i> | 25,5                                                  | 26                                  | 25,5 | 26,5 |

Definirane vrijednosti dodataka za komociju korištene za prilagodbu u okviru ovog istraživanja navedene su u tab. 18.

**Tablica 18** Tablica definiranih vrijednosti dodataka za komociju korištenih u razvoju krojeva

| Model odjevnog predmeta | Dodaci za komociju (nabiranje) [cm] |           |           |
|-------------------------|-------------------------------------|-----------|-----------|
|                         | <i>Og</i>                           | <i>Os</i> | <i>Ob</i> |
| Triko - model K1        | 0                                   | 0         | 0         |
| Hlače                   | /                                   | 1         | 6         |
| Bluza                   | 6                                   | 16        | /         |
| Kombinezon – model K2   | 6                                   | 16        | 6         |
| Kombinezon – model K3   | 6                                   | 16        | 6         |



S obzirom na dizajn i karakteristike modela ženskog trikoa K1, izrazi za prilagodbu ne uzimaju u obzir dodatak za komociju već se temelje na točnim vrijednostima tjelesnih mjera i proporcionalnom umanjivanju dimenzija pojedinih segmenata za koeficijent istezanja materijala.

$$Mjera_{kroj} = Mjera_{tijela} \cdot k_{istezanja} \quad (79)$$

Na kroju modela trikoa K1, dodatno su prilagođeni rukavi i nogavice kako bi usko prijanjali uz tijelo te su definirani izrazi za prilagodbu prema opsezima nadlaktice ( $Onl$ ), podlaktice ( $Opl$ ), natkoljenice ( $Onk$ ) i potkoljenice ( $Opk$ ).

$$Onl_{kroj} = Onl_{tijela} \cdot k_{istezanja} \quad (80)$$

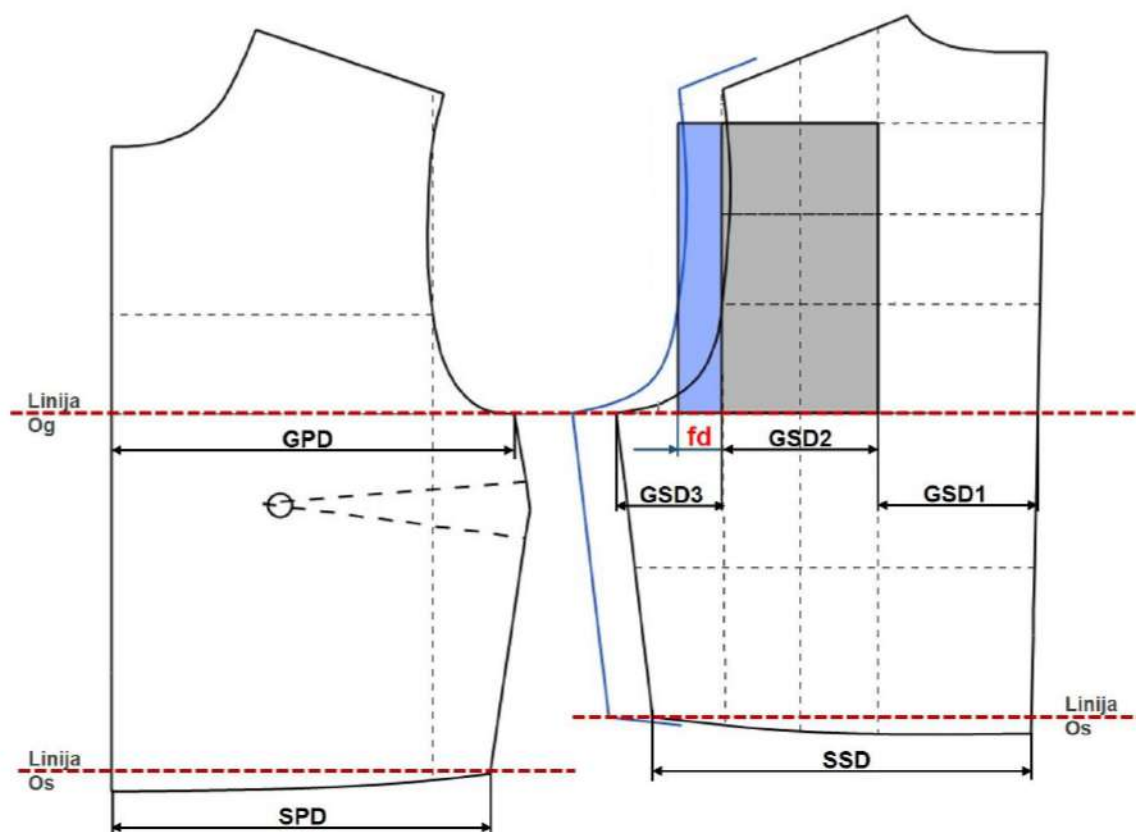
$$Opl_{kroj} = Opl_{tijela} \cdot k_{istezanja} \quad (81)$$

$$Onk_{kroj} = NkPD + NkST = [2(0,5 \cdot Onk_{tijela})] \cdot k_{istezanja} \quad (82)$$

$$Opk_{kroj} = PkPD + PkST = [2(0,5 \cdot Opk_{tijela})] \cdot k_{istezanja} \quad (83)$$

#### 3.5.2.4. Definiranje matematičkih izraza za prilagodbu modela funkcionalnog radnog kombinezona K3 prema utvrđenim karakteristikama i promjenama tjelesnih mjera različitih tipova tijela u pokretu

Kod parametrizacije modela ženskog radnog kombinezona K3 istražene se dodatne mogućnosti prilagodbe modela s aspekta funkcionalnosti i pristalosti na tijelu u pokretu. Na temelju rezultata antropometrijskog istraživanja deformacija površine i promjena dimenzija tijela u poprečnom smjeru prikazanog u točki 3.2., definiran je funkcionalni dodatak koji dodatno prilagođava dimenzije ciljanih segmenata opsega grudi, bokova i visine sjedala i osigurava dodatnu komociju na zonama maksimalne deformacije površine tijela u pokretu, sl. 105. U tab. 19 prikazane su vrijednosti funkcionalnih dodataka ciljanih segmenata pojedine mjere kod prilagodbe modela ženskog radnog kombinezona K3.



**Slika 105** Definiranje funkcionalnog dodatka na gornjem stražnjem dijelu kroja kombinezona K3

**Tablica 19** Vrijednosti funkcionalnih dodataka ciljanih segmenata pojedine mjere kroja kombinezona K3

| Opseg          | Mjera          | Simbol | Funkcionalni dodatak |       |       |
|----------------|----------------|--------|----------------------|-------|-------|
|                |                |        | F1                   | F2    | F3    |
| Opseg grudi    | Stražnji dio 2 | $GSD2$ | 1,345                | 1,364 | 1,310 |
| Opseg bokova 1 | Stražnji dio 2 | $SD2$  | 1,192                | 1,186 | 1,161 |
| Opseg bokova 2 |                |        |                      |       |       |
|                | Dubina sjedala | $Ds$   | 1,08                 | 1,08  | 1,08  |
|                | Duljina leđa   | $Dl_2$ |                      |       |       |

U odnosu na ostale modele, linija opsega grudi na stražnjem dijelu kroja modela kombinezona K3 podijeljena je na tri segmenta, stražnju širinu orukavlja ( $GSD1$ ) i dvije polovice širine leđa ( $GSD2$  i  $GSD3$ ), kako bi se izolirao segment na kroju koji odgovara zoni najveće deformacije površine kod ekstremnih pokreta ruku, utvrđene prethodno provedenim istraživanjem, prikazanim u toč. 3.2. (izraz 84).

$$Og_{kroj} = 2(GPD + (GSD1 + GSD2 + GSD3)) \quad (84)$$

Funkcionalni dodatak dodaje se na segment vanjske polovice širine leđa ( $GSD_2$ ), iz čega analogno prethodno prikazanom postupku na primjeru bluze i modela kombinezona K2, proizlazi matematički izraz za prilagodbu:

$$GSD_{kroj} = \check{S}_{os} + 0,5 \cdot \check{S}_l + 0,5 \cdot \check{S}_l \quad (85)$$

$$Og_{kroj} = 2(\check{S}_g + \check{S}_{op} + \check{S}_{os} + \check{S}_l) \quad (86)$$

$$Og_{kroj} = 2[(0,208 \cdot Og_{tijela} + 0,25 \cdot D_{komocija}) + (0,042 \cdot Og_{tijela}) + (0,083 \cdot Og_{tijela}) + (0,084 \cdot Og_{tijela} \cdot fd + 0,125 \cdot D_{komocija}) + (0,084 \cdot Og_{tijela} + 0,125 \cdot D_{komocija})] \quad (87)$$

Na isti način su dodani funkcionalni dodaci na segmente opsega bokova ( $Ob$ ), segment duljine leđa ( $Dl_2$ ) i dubine sjedala na stražnjem dijelu ( $Ds$ ) (izrazi 88 do 93).

$$Ob_{kroj} = 2(BPD + BSD1 + BSD2) \quad (88)$$

$$Ob_{kroj} = 2[0,245(Ob_{tijela} + D_{komocija}) + (fd \cdot 0,1275 \cdot Ob_{tijela} + 0,1275 \cdot D_{komocija}) + 0,1275(Ob_{tijela} + D_{komocija})] \quad (89)$$

$$Ds_{kroj} = (Ds_{tijela} + 2) \cdot fd \quad (90)$$

$$\Rightarrow Ds_{tijela} = \left(\frac{Ds_{kroj}}{fd}\right) - 2 \quad (91)$$

$$Dl_{2\ kroj} = (Dl_{2\ tijela} + 2) \cdot fd \quad (92)$$

$$\Rightarrow Dl_{2\ tijela} = \left(\frac{Dl_{2\ kroj}}{fd}\right) - 2 \quad (93)$$

Parametarski krojevi svih pet modela odjevnih predmeta s prikazom svih definiranih mjera i setovi matematičkih izraza za prilagodbu pojedine mjere, razvijeni u okviru istraživanja prikazani su u poglavlju Rezultati i rasprava, točka 4.5.2.

### **3.5.3. Prilagodba parametarskih krojeva prema individualnim mjerama za tri ispitanice različitih tipova tijela**

Parametarski krojevi svih pet odjevnih predmeta prilagođeni su prema tjelesnim mjerama za svaku od tri ispitanice I1, I2 i I3. Analiza dimenzija i kontura prilagođenih krojeva prikazana je u poglavlju Rezultati i rasprava, točka 4.5.3. Prilagođeni krojevi korišteni su u daljnjem istraživanju za razvoj računalnih parametarskih prototipova modela i analizu pristalosti, kao i izradu realnih prototipova, što je prikazano na slijedećim točkama rada.

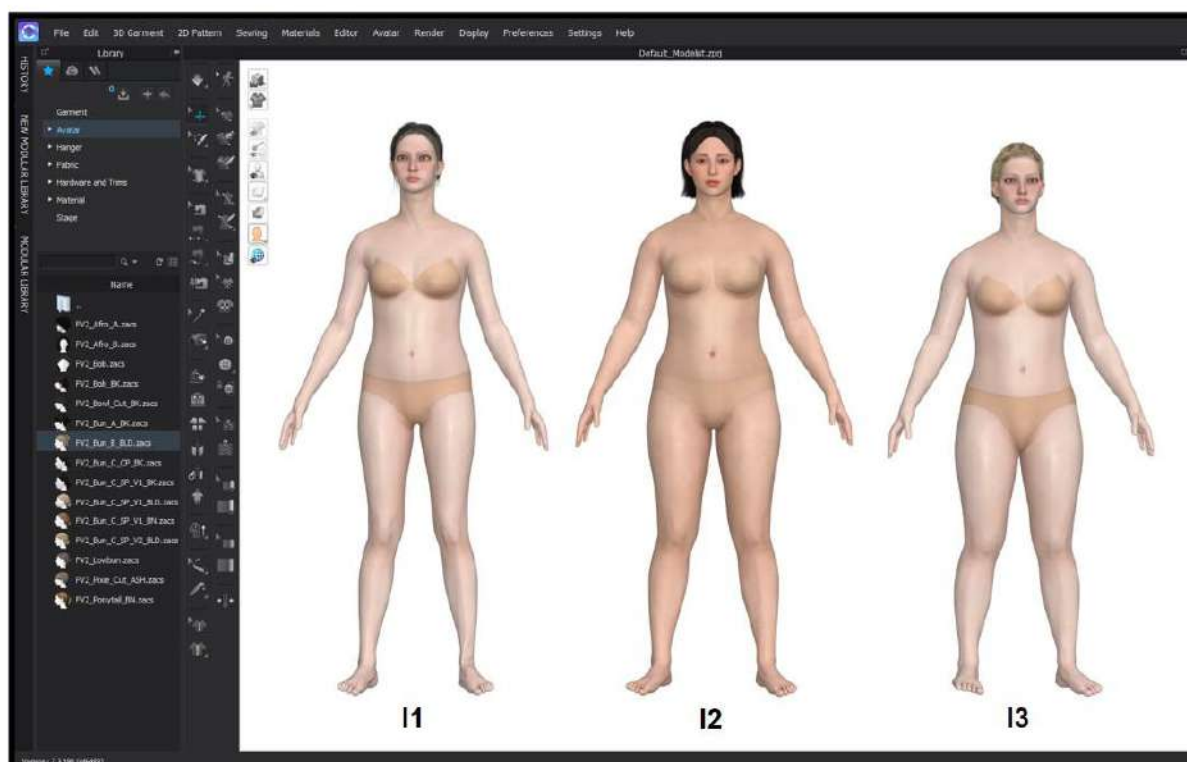
### **3.5.4. Izrada realnih prototipova modela odjevnih predmeta prilagođenih za tri ispitanice**

Na temelju prilagođenih krojnih dijelova, izrađeni su realni prototipovi modela odjevnih predmeta za tri ispitanice, koji su korišteni u daljnjem istraživanju. Realni prototipovi analizirani su u uvjetima nošenja, pri čemu su ispitanice subjektivnim vrednovanjem ocjenile pristalost u osnovnom statičkom položaju i prilikom izvođenja zadanih pokreta, opisanih u toč. 3.2.2. Kao kriteriji vrednovanja, kod subjektivne procjene, postavljeni su kriteriji neugodnog osjećaja pritiska odjevnog predmeta na tijelo i ograničenje tijela prilikom izvođenja pokreta.

## **3.6. Istraživanje i razvoj računalnih 3D prototipova modela odjevnih predmeta**

Za razvoj računalnih 3D prototipova modela odjevnih predmeta i ispitivanje pristalosti na tijelu u pokretu korišten je program Clo3D. Kao ulazni podaci za izvođenje 3D simulacija korišteni su 2D krojni dijelovi prilagođenih modela odjevnih predmeta razvijeni u programu Optitex, prikazani u toč. 4.5. i animirani 3D modeli tijela prilagođeni antropometrijskim karakteristikama tri ispitanice različitih tipova, prikazani u toč. 4.3. Prilagođeni avatari učitani su u Clo3D u *fbx* formatu te su zajedno s modelom učitane i datoteke s kinematičkim podacima o pojedinom pokretu za svaki model, koji omogućuju animaciju. Na avatare je u Clo 3D programu dodatno aplicirana tekstura površine modela kako bi se dobio realističan izgled. Pri tome je za svaku od ispitanica, iz baze podataka u programu aplicirana druga tekstura, odnosno drugi izgled, sl. 106.





**Slika 106** Prilagođeni 3D modeli tijela prema ispitanicama I1, I2 i I3 s apliciranom teksturom kože u programu Clo3D

### 3.6.1. Definiranje parametara 3D simulacije i pojedinačnih krojnih dijelova

Na svim pojedinačnim krojnim dijelovima modela odjevnih predmeta definirani su parametri pozicije u 3D prostoru u odnosu na model tijela i parametri spajanja krojnih dijelova. Posebna pažnja posvećena je pozicioniranju u definiranju parametara nabora na modelu kombinezona K3, pri čemu su na krojnim dijelovima pomoću funkcije *Fold* točno definirani pregibi materijala, čime je postignuta ciljana slojevitost i realističnost kod 3D simulacije. Parametri geometrije površine odjevnih predmeta postavljeni su na visoku rezoluciju, odnosno veliku gustoću mreže definiranu veličinom poligona od 5 mm.

### 3.6.2. Definiranje vrijednosti parametara mehaničkih svojstava tekstilnih materijala za 3D simulaciju modela odjevnih predmeta na temelju rezultata utvrđenih različitim sustavima za vrednovanje

U ovom dijelu, istražene su mogućnosti definiranja parametara mehaničkih svojstava u sustavu Clo3D na temelju vrijednosti utvrđenih ispitivanjem realnih uzoraka tkanina različitim metodama vrednovanja. Pri tome su korišteni rezultati vrednovanja mehaničkih parametara

prema Fabric Kit metodi te rezultati digitalizacije materijala primjenom SEDDI Textura AI tehnologije, prikazani u poglavlju Rezultati i rasprava, toč. 4.4.4 i 4.4.5.

Parametri mehaničkih svojstava ciljanih tkanina u program Clo3D se unose preko modula nazvanog Emulator, a koji je ustvari konvertor vrijednosti utvrđenih Fabric Kit mjernim sustavom. Parametre utvrđene KES sustavom nije moguće unijeti preko Emulatora zbog u potpunosti drugačije metodologije ispitivanja između KES i Fabric Kit mjernih uređaja. Kod ispitivanja vlačnih svojstava KES sustav primjenjuje premalu maksimalnu silu kod ispitivanja ( $F_{\max} = 490,35 \text{ N/m}$ ) s obzirom na definirane raspone istezanja kod očitavanja sile prema Fabric Kit metodi i za materijale M1 i M2, korištene u ovom istraživanju nije moguće iz  $F/\epsilon$  dijagrama očitati tražene parametre za unos u Clo3D. Za razvoj 3D prototipova i ispitivanje pristalosti u statičkim i dinamičkim uvjetima korišteni su parametri mehaničkih svojstava utvrđeni Fabric Kit metodom i parametri dobiveni digitalizacijom materijala preko SEDDI Textura AI aplikacije. Vrijednosti fizikalnih i mehaničkih parametara u programu definiraju se preko izbornika *Fabric Properties Editor*. Konvertirane vrijednosti parametara za unos u program Clo3D prikazane su u tablici 20. Parametri svojstava odabranih tekstilnih materijala za unos u program za 3D simulaciju ispitivani su prema dvije različite metode te se konvertirane vrijednosti prilično razlikuju. Stoga su razvijeni računalni 3D prototipovi analizirani s aspekta primjenjivosti parametara utvrđenih pojedinom metodom, u odnosu na rezultate ispitivanja realnih prototipova.

**Tablica 20** Konvertirane vrijednosti parametara svojstava materijala za unos u program Clo3D, utvrđenih Fabric Kit metodom i digitalizacijom preko SEDDI Textura AI aplikacije

| Parametar                         | Mjerna jedinica | M1         |        | M2         |        |
|-----------------------------------|-----------------|------------|--------|------------|--------|
|                                   |                 | Fabric Kit | SEDDI  | Fabric Kit | SEDDI  |
| Vlačno naprezanje – osnova/nizovi | $[g/s^2]$       | 466351     | 89184  | 1000000    | 691472 |
| Vlačno naprezanje – potka/redovi  |                 | 335592     | 54930  | 590885     | 425985 |
| Savojna krutost - osnova/nizovi   | $[gmm^2/s^2]$   | 550        | 510    | 62499      | 4651   |
| Savojna krutost - potka/redovi    |                 | 1222       | 474    | 11733      | 2578   |
| Savojna krutost - 45°             |                 | 3232       | 337    | 23438      | 2822   |
| Smična krutost                    | $[g/s^2]$       | 184320     | 17693  | 436596     | 89210  |
| Plošna masa                       | $[g/m^2]$       | 193,52     | 191,00 | 229,63     | 226,00 |

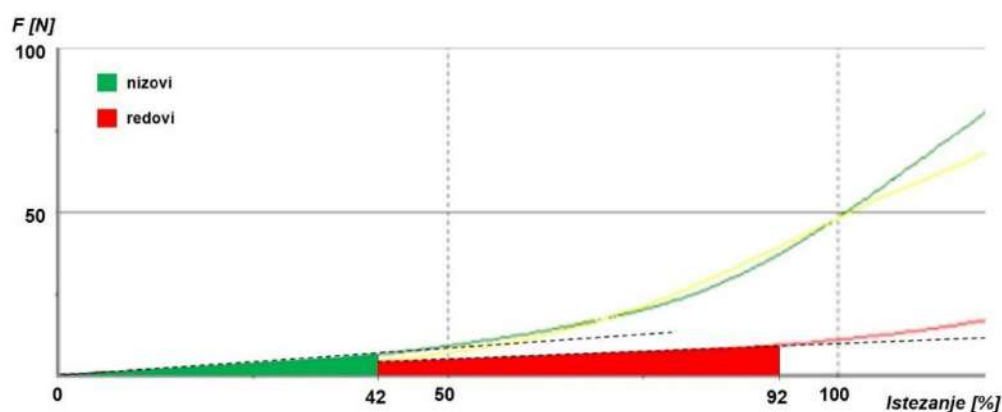
### 3.6.3. Izvođenje 3D simulacija i analiza računalnih 3D prototipova modela odjevnih predmeta

Izvođenjem 3D simulacija analiziran je utjecaj svojstava materijala definiranih prema različitim sustavima na izgled i deformacije površine računalnih prototipova, u smislu vrednovanja pristalosti na tijelu u statičkom uspravnom položaju. Istezanje odjevnog predmeta, odnosno simuliranog materijala u smjeru potke, omogućeno je pomoću funkcije *Fit Maps/Stretch x*, pri čemu se zone istezanja na površini modela prikazuju preko skale boja. U tom smislu, za vrednovanje 3D prototipova, definirane su referentne vrijednosti za vrednovanje pristalosti, na temelju rezultata ispitivanja mehaničkih svojstava tkanina M1 i M2, toč. 4.4., prema kojima je prilagođena skala boja u sustavu, tab. 21.

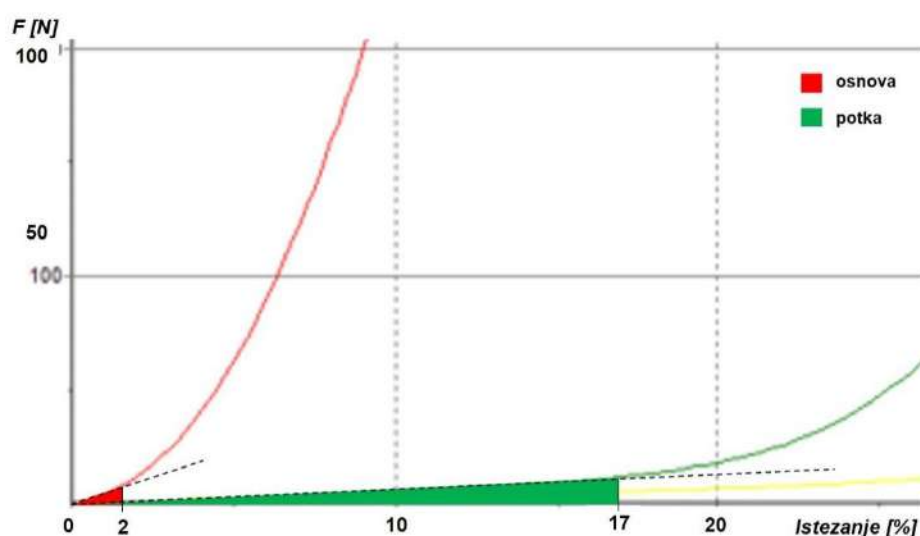
**Tablica 21** Skala za vrednovanje pristalosti računalnih 3D prototipova odjevnih predmeta

|              |        | Referentne vrijednosti istezanja za vrednovanje pristalosti [%] |    |     |    |     |     |
|--------------|--------|-----------------------------------------------------------------|----|-----|----|-----|-----|
| Skala boja → |        |                                                                 |    |     |    |     |     |
| M1           | nizovi | 0                                                               | 15 | 30  | 42 | 100 | 197 |
|              | redovi | 0                                                               | 30 | 65  | 92 | 150 | 232 |
| M2           | osnova | 0                                                               | 1  | 1,6 | 2  | 8   | 15  |
|              | potka  | 0                                                               | 5  | 11  | 17 | 40  | 64  |

Prema skali boja, utvrđene vrijednosti prekidnog istezanja definirane su kao crvena zona, s obzirom da se radi o vrijednostima istezanja do kojih ne smije doći na odjevnom predmetu. Zelena zona definirana je prema vrijednostima istezanja utvrđenim KES sustavom, s obzirom da se u području objektivnog vrednovanja tekstila i odjeće te vrijednosti smatraju uporabnim vrijednostima. Žuta zona definirana je na temelju vrijednosti istezanja materijala na granici područja linearnosti, koje su analizirane i utvrđene iz  $F/\epsilon$  dijagrama vlačnih svojstava, sl. 107 i 108.



Slika 107 Analiza istezanja materijala M1 u linearnom području



Slika 108 Analiza istezanja materijala M2 u linearnom području

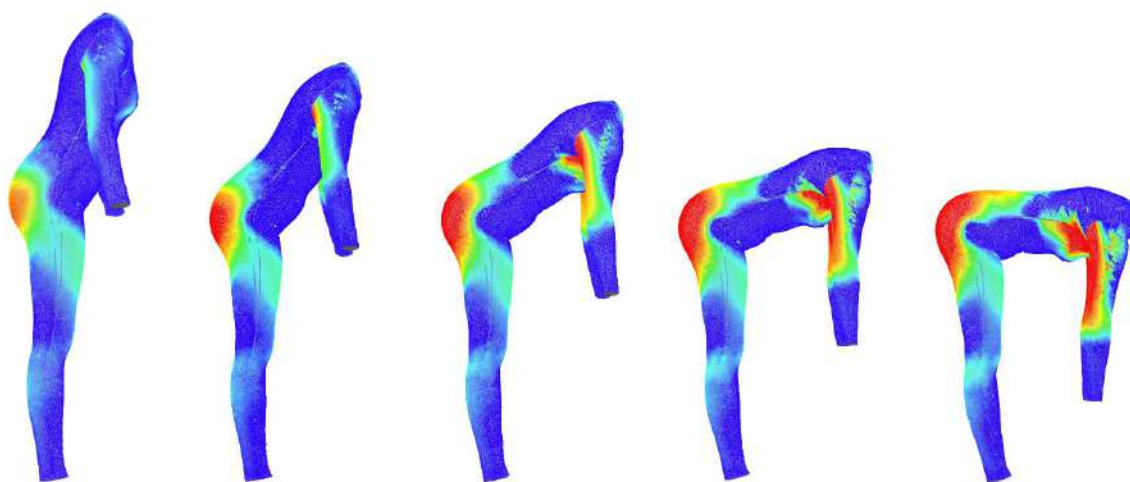
Razvijeni računalni 3D prototipovi modela odjevnih predmeta i analiza pristalosti na prilagođenim modelima tijela prikazani su u poglavlju Rezultati i rasprava, točka 4.6.2.

### 3.7. Ispitivanje dinamičke pristalosti računalnih 3D prototipova modela odjevnih predmeta prilagođenih antropometrijskim karakteristikama ispitanica različitih tipova tijela u karakterističnim položajima tijela

Simulacijom modela odjevnih predmeta na animiranim modelima tijela omogućena je animacija odjevnog predmeta i simulacija deformacija površine u odnosu na deformaciju tijela. U tom smislu, snimljene su animacije svih modela odjevnih predmeta na prilagođenim avatarima u zadanim pokretima te su istražene mogućnosti analize deformacija odjevnih predmeta u karakterističnim tjelesnim položajima, što je prikazano u nastavku.



Na računalnim 3D prototipovima modela ženske bluze i hlača, ženskog trikoa K1 i funkcionalnog radnog kombinezona K3, analizirano je istezanje odjevnih predmeta, odnosno simuliranih tekstilnih materijala M1 i M2, u smjeru potke (x smjer) i/ili osnove (y smjer), ovisno o položaju tijela i prethodno utvrđenim promjenama tjelesnih dimenzija, prikazanim u toč. 4.2. Mape istezanja i deformacije površina praćene su preko funkcija *Fit Maps/Stretch x* i *Fit Maps/Stretch y*, tijekom cijele animacije, odnosno tijekom cijelog izvođenja pokreta, sl. 109, te su kao rezultat izdvojene vrijednosti očitane u krajnjim karakterističnim položajima tijela, što je prikazano u poglavlju Rezultati i rasprava, točka 4.7.

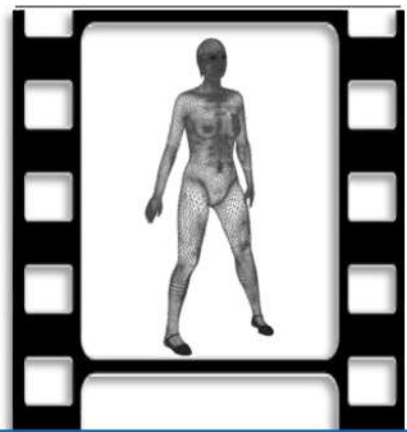


**Slika 109** Analiza istezanja u smjeru osnove (y) tijekom izvođenja pokreta na animiranom 3D modelu tijela ispitanice I1 – ženski triko K1, položaj P4

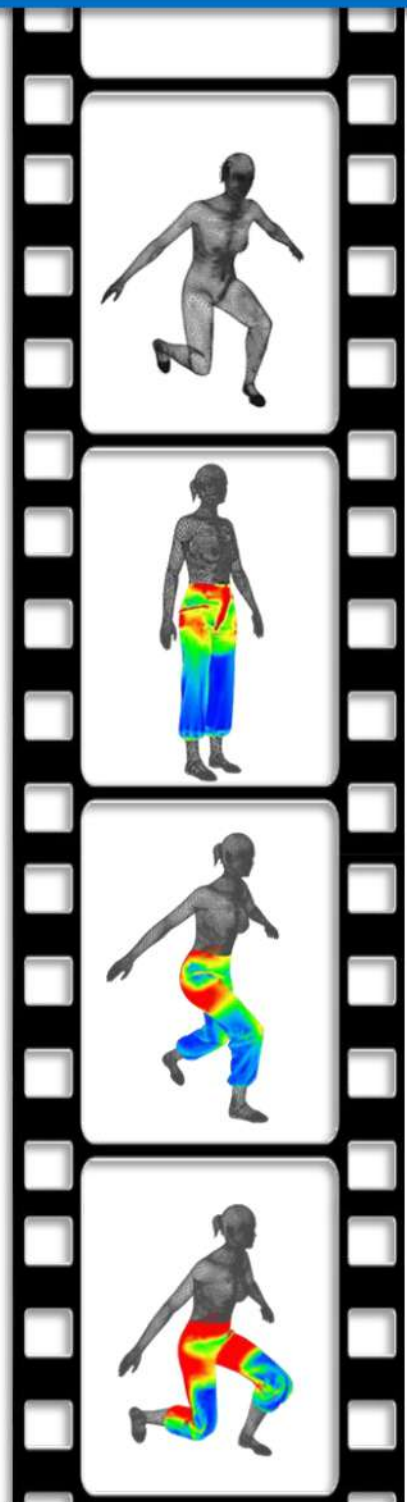
### 3.7.1. Analiza deformacija realnih prototipova modela odjevnih predmeta u karakterističnim položajima tijela

Sa svrhom verifikacije rezultata analize pristalosti računalnih 3D prototipova u dinamičkim uvjetima i postavljene metode u okviru istraživanja, izrađeni su realni prototipovi modela odjevnih predmeta, prilagođenih ispitanicama I1, I2 i I3, na kojima je provedeno snimanje primjenom sustava Aramis u zadanim pokretima. Snimljeni podaci su obrađeni i analizirani analogno metodi analize deformacija tijela u pokretu, prikazane u toč. 3.2. Na temelju rezultata analize realnih prototipova, analizirani su i vrednovani rezultati analize pristalosti računalnih 3D prototipova, što je prikazano u poglavlju Rezultati i rasprava, toč. 4.7.





## 4. REZULTATI I RASPRAVA



## 4. REZULTATI I RASPRAVA

U ovom poglavlju prikazani su rezultati eksperimentalnog dijela rada s pripadajućom raspravom i tumačenjem rezultata, strukturirani po točkama prema cjelinama provedenog istraživanja.

### 4.1. Rezultati antropometrijskih mjerenja i analize tipova oblika i držanja ženskog tijela primjenom 3D skenera

U sljedećim točkama prikazani su rezultati analize tipova oblika i držanja ženskog tijela i algoritam za klasifikaciju skeniranih modela tijela razvijen u okviru istraživanja.

#### 4.1.1. Rezultati analize strukture uzorka ispitanica na temelju glavnih tjelesnih mjera

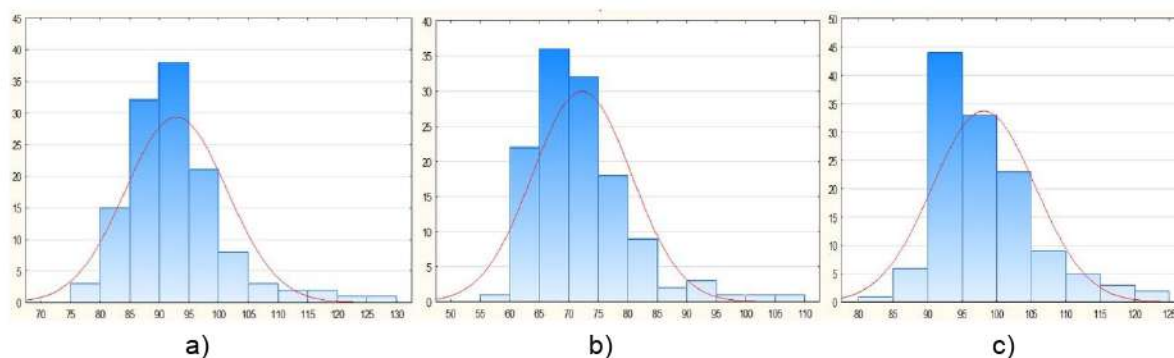
U tab. 22 prikazana je deskriptivna statistička analiza strukture uzorka provedena s obzirom na glavne tjelesne mjere opsega grudi (*Og*), struka (*Os*) i bokova (*Ob*). U analiziranom uzorku zastupljene su vrijednosti mjere *Og* u rasponu od 78,1 cm do 126,4 cm, što s aspekta odjevnih veličina označava zastupljenost širokog raspona veličina od veličine 34 do 56.

**Tablica 22** Deskriptivna statistika i distribucijski parametri glavnih tjelesnih opsega u uzorku ispitanica

| Tjelesni opseg  |                                   | <i>Og</i> | <i>Os</i> | <i>Ob</i> |
|-----------------|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| percentili [cm] | $\bar{x}$ - sred. vrijednost [cm] | 92,85     | 72,25     | 98,16     |
|                 | <i>SD</i>                         | 8,57      | 8,38      | 7,45      |
|                 | <i>min</i>                        | 78,1      | 59,1      | 84,5      |
|                 | 5                                 | 80,3      | 62,0      | 89,5      |
|                 | 10                                | 83,7      | 63,4      | 90,7      |
|                 | 25                                | 87,3      | 65,9      | 92,3      |
|                 | 50                                | 91,6      | 70,7      | 96,7      |
|                 | 75                                | 97,1      | 76,0      | 102,0     |
|                 | 90                                | 102,4     | 83,1      | 108,1     |
|                 | 95                                | 109,1     | 87,1      | 113,5     |
|                 | <i>max</i>                        | 126,4     | 106,3     | 123,1     |
| <i>N</i>        |                                   | 126       |           |           |



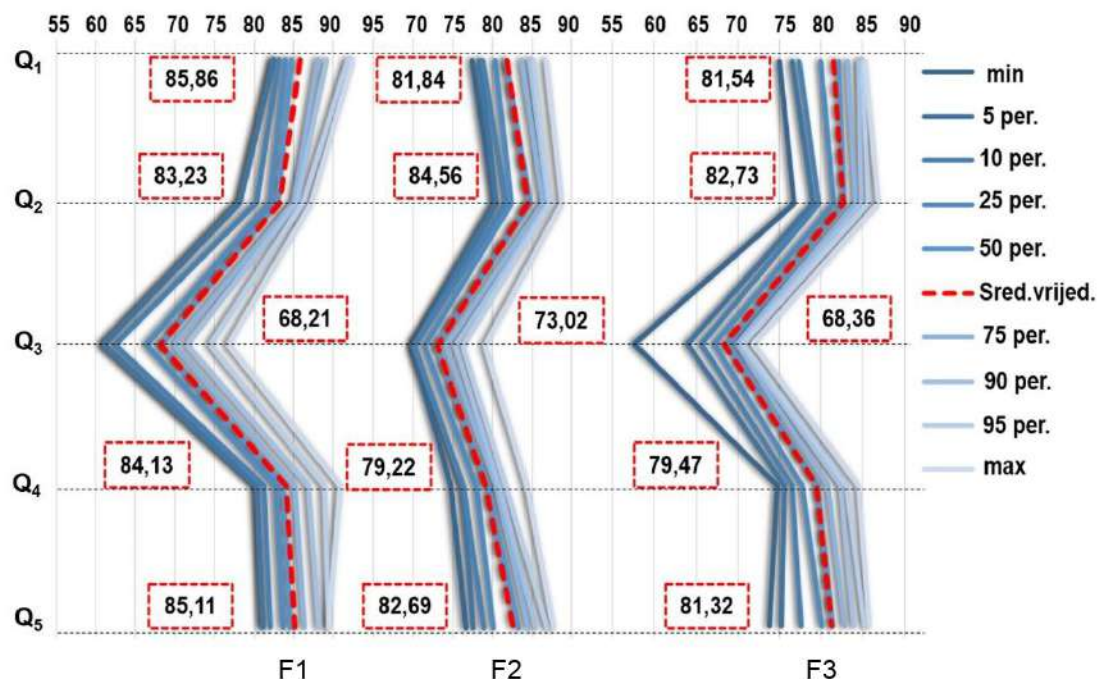
Distribucija vrijednosti mjera u uzorku analizirana je s obzirom na normalnu razdiobu čime je potvrđena reprezentativnost uzorka, sl. 110.



**Slika 110** Distribucija mjera tjelesnih opsega u uzorku ispitanica: a) opseg grudi (*Og*), b) opseg struka (*Os*) i c) opseg bokova (*Ob*)

#### 4.1.2. Rezultati analize oblika tijela u frontalnoj ravnini

Rezultati analize oblika tijela u frontalnoj ravnini pokazali su da definirani indikatori oblika tijela i postavljena metoda klasifikacije značajno razlikuju tri tipa oblika tijela u frontalnoj ravnini. Na sl. 111 prikazan je dijagram vrijednosti distribucijskih parametara indikatora za pojedini klaster.



**Slika 111** Dijagram vrijednosti distribucijskih parametara indikatora utvrđenih klastera oblika tijela

U tab. 23 do 25, prikazani su rezultati k-means klaster analize i podjele uzorka na tri klastera oblika tijela, s utvrđenim vrijednostima deskriptivnih statističkih parametara i distribucijskim

rasponom vrijednosti indikatora za pojedini klaster. Utvrđena tri klastera držanja gornjeg dijela tijela koji se međusobno značajno razlikuju u definiranim indikatorima su tip oblika tijela F1 kojem pripada 20,63% uzorka, odnosno 26 ispitanica, tip oblika tijela F2 kojem pripada 32,54% uzorka, odnosno 41 ispitanica i tip oblika tijela F3 kojem pripada 46,83% uzorka, odnosno 59 ispitanica iz ukupnog uzorka.

**Tablica 23** Deskriptivna statistika i vrijednosti distribucijskih parametra indikatora oblika tijela tipa F1

| F1                                | Q <sub>1</sub> | Q <sub>2</sub> | Q <sub>3</sub> | Q <sub>4</sub> | Q <sub>5</sub> |
|-----------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| $\bar{x}$ - sred. vrijednost [cm] | 85,86          | 83,23          | 68,21          | 84,13          | 85,11          |
| SD                                | 2,80           | 2,23           | 3,60           | 2,40           | 2,33           |
| <i>min</i>                        | 82,45          | 78,19          | 60,92          | 80,39          | 81,15          |
| 5                                 | 82,45          | 78,19          | 60,92          | 80,39          | 81,15          |
| 10                                | 83,10          | 80,29          | 62,44          | 81,30          | 82,03          |
| 25                                | 83,88          | 82,00          | 66,48          | 82,76          | 83,66          |
| 50                                | 84,72          | 83,02          | 68,24          | 83,69          | 84,54          |
| 75                                | 88,14          | 84,97          | 69,95          | 85,20          | 86,36          |
| 90                                | 89,13          | 85,46          | 71,48          | 86,85          | 88,21          |
| 95                                | 91,81          | 86,17          | 74,41          | 88,82          | 89,38          |
| <i>max</i>                        | 92,56          | 87,26          | 76,68          | 90,90          | 89,46          |
| N                                 | 26             |                |                |                |                |

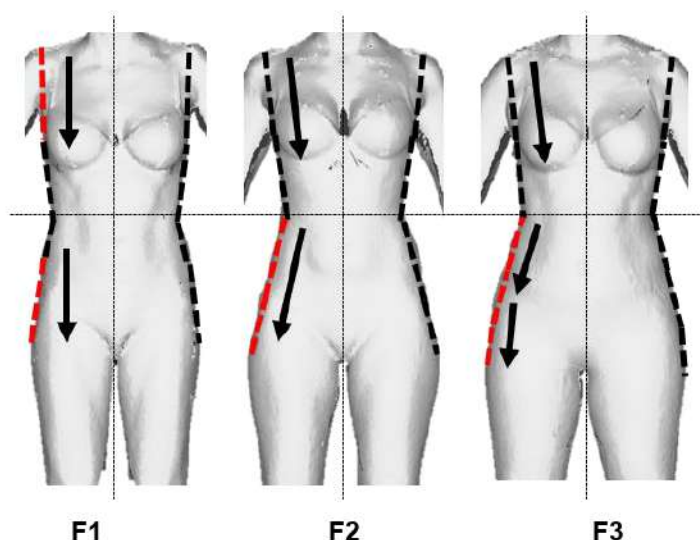
**Tablica 24** Deskriptivna statistika i vrijednosti distribucijskih parametra indikatora oblika tijela tipa F2

| F2                                | Q <sub>1</sub> | Q <sub>2</sub> | Q <sub>3</sub> | Q <sub>4</sub> | Q <sub>5</sub> |
|-----------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| $\bar{x}$ - sred. vrijednost [cm] | 81,84          | 84,56          | 73,02          | 79,22          | 82,69          |
| SD                                | 2,25           | 2,16           | 1,98           | 1,84           | 2,77           |
| <i>min</i>                        | 77,45          | 80,20          | 69,86          | 74,81          | 76,70          |
| 5                                 | 78,40          | 80,47          | 70,02          | 76,29          | 77,59          |
| 10                                | 78,72          | 81,68          | 70,13          | 76,37          | 78,87          |
| 25                                | 80,37          | 82,38          | 71,48          | 77,97          | 80,07          |
| 50                                | 81,65          | 84,75          | 72,85          | 79,41          | 83,33          |
| 75                                | 83,73          | 86,42          | 74,09          | 80,46          | 84,58          |
| 90                                | 84,71          | 87,06          | 75,31          | 80,86          | 85,52          |
| 95                                | 85,19          | 87,31          | 76,23          | 81,65          | 86,99          |
| <i>max</i>                        | 86,86          | 88,78          | 79,00          | 84,35          | 87,68          |
| N                                 | 41             |                |                |                |                |

**Tablica 25** Deskriptivna statistika i vrijednosti distribucijskih parametra indikatora oblika tijela tipa F3

| F3                                |     | Q <sub>1</sub> | Q <sub>2</sub> | Q <sub>3</sub> | Q <sub>4</sub> | Q <sub>5</sub> |
|-----------------------------------|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| $\bar{x}$ - sred. vrijednost [cm] |     | 81,54          | 82,73          | 68,36          | 79,47          | 81,32          |
| SD                                |     | 2,32           | 2,04           | 2,33           | 2,30           | 2,36           |
| percentili [cm]                   | min | 75,02          | 76,72          | 57,55          | 74,77          | 73,78          |
|                                   | 5   | 76,49          | 79,06          | 64,02          | 75,61          | 75,22          |
|                                   | 10  | 77,39          | 79,77          | 65,62          | 76,58          | 77,61          |
|                                   | 25  | 79,95          | 81,50          | 67,22          | 77,73          | 80,13          |
|                                   | 50  | 82,08          | 82,83          | 68,86          | 79,64          | 81,37          |
|                                   | 75  | 83,21          | 84,13          | 69,86          | 80,85          | 82,87          |
|                                   | 90  | 84,49          | 84,77          | 70,29          | 82,38          | 83,92          |
|                                   | 95  | 84,95          | 85,64          | 70,64          | 83,04          | 85,13          |
|                                   | max | 85,31          | 86,82          | 71,80          | 84,42          | 85,81          |
| N                                 |     | 59             |                |                |                |                |

Na razlikovanje tipa oblika tijela F1 najznačajnije utječe prva diskriminantna funkcija predstavljena indikatorima Q<sub>4</sub> i Q<sub>1</sub>. Kao što je vidljivo na sl. 112, tip F1 ima izražen struk, ali su područje struka i grudi, kao i područje trbuha i bokova gotovo jednake širine, pa su i nagibi bočne krivulje na tim dijelovima vrlo mali, odnosno gotovo ih nema, što značajno razlikuje ovaj tip tijela od ostala dva tipa. Ako uspoređujemo rezultate s tipovima tijela definiranim prema literaturi, tip tijela F1 odgovara pravokutnom tipu tijela i leptosomnoj konstituciji. Na razlikovanje tipova oblika tijela F2 i F3 najznačajnije utječe druga diskriminantna funkcija predstavljena indikatorima Q<sub>3</sub> i Q<sub>5</sub>. Na sl. 112 je vidljivo da tipovi F2 i F3 imaju izražen nagib bočne krivulje u području gornjeg dijela torza, od ramena do struka, za razliku od tipa F1, što je i pokazala prva diskriminantna funkcija. Razlika između tipova F2 i F3 je u donjem dijelu trupa, pri čemu veća vrijednost indikatora Q<sub>3</sub> razlikuje tip F3, s izraženim nagibom krivulje na prijelazu s područja struka na područje bokova i zaobljenom krivuljom na području bokova, čemu doprinosi indikator Q<sub>5</sub> čija manja vrijednost doprinosi zaobljenosti krivulje. Kod tipa tijela F2, vrijednost indikatora Q<sub>3</sub> je nešto manja što znači i da je nagib krivulje na prijelazu sa struka na bokove blaži u odnosu na tip F3, no nagib se nastavlja skroz do linije maksimalnog opsega bokova te je za ovaj tip tijela specifična ravna trokutasta forma donjeg dijela tijela s većom vrijednosti indikatora Q<sub>5</sub>.



**Slika 112** Utvrđeni tipovi oblika ženskog tijela

Ukupan postotak od 96,8% ispravno klasificiranih ispitanika u utvrđene klastere tipova oblika tijela ukazuje na visoku mogućnost predviđanja pripadnosti ispitanica pojedinom tipu na temelju definiranih indikatora. Pri tome je klasifikacijska matrica pokazala za tip F3 potpuno predviđanje (100%), dok je za tipove F1 i F2 predviđanje preko 90%, tab. 26.

**Tablica 26** Klasifikacijska matrica tipova oblika tijela

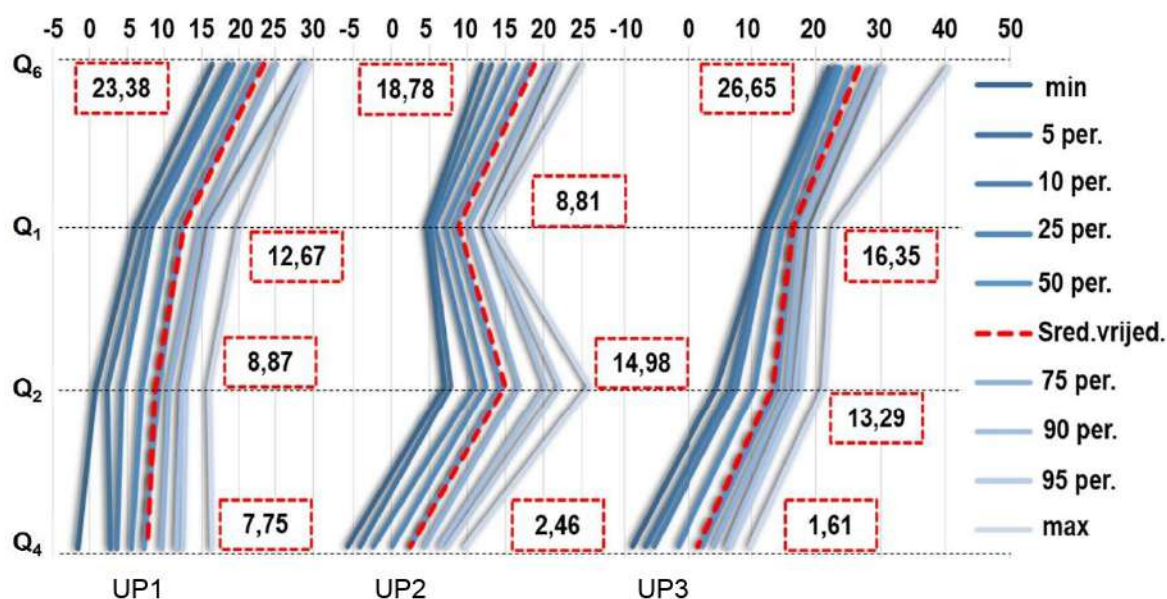
| Tip oblika tijela | Točno klasificirane ispitanice [%] | Točno klasificirane ispitanice [N] |           |           |
|-------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------|-----------|
|                   |                                    | F3                                 | F2        | F1        |
|                   |                                    | p = 0,465                          | p = 0,323 | p = 0,213 |
| F3                | 100,000                            | 59                                 | 0         | 0         |
| F2                | 95,122                             | 2                                  | 39        | 0         |
| F1                | 92,308                             | 2                                  | 0         | 24        |
| Ukupno            | 96,825                             | 63                                 | 39        | 24        |

#### 4.1.3. Rezultati analize držanja tijela u sagitalnoj ravnini

Rezultati analize oblika tijela pokazali su da definirani indikatori držanja gornjeg dijela tijela i postavljena metoda klasifikacije značajno razlikuju tri tipa držanja gornjeg dijela tijela u sagitalnoj ravnini.

Na sl. 113 prikazan je dijagram vrijednosti distribucijskih parametara indikatora za pojedini klaster.





**Slika 113** Dijagram vrijednosti distribucijskih parametara indikatora utvrđenih klastera držanja gornjeg dijela tijela

U tablicama 27 do 29, prikazani su rezultati dobiveni k-means klaster analizom s utvrđenim vrijednostima deskriptivnih statističkih parametara i distribucijskim rasponom vrijednosti indikatora za pojedini klaster. Utvrđena tri klastera držanja gornjeg dijela tijela koji se međusobno značajno razlikuju u definiranim indikatorima su tip držanja tijela UP1 kojem pripada 41,27% uzorka, odnosno 52 ispitanice, tip držanja tijela UP2 kojem pripada 34,13% uzorka, odnosno 43 ispitanice i tip držanja tijela UP3 kojem pripada 24,60% uzorka, odnosno 31 ispitanica iz ukupnog uzorka.

Prva diskriminantna funkcija, predstavljena indikatorima  $Q_1$  i  $Q_6$  najznačajnije razlikuje tip UP2 od tipova UP3 i UP1. Kao što je vidljivo na sl. 114, tip UP2 ima blago zakrivljenu kralježnicu u gornjem dijelu, što odgovara manjim vrijednostima indikatora  $Q_1$  i  $Q_6$ . Tipovi UP2 i UP3 imaju puno izraženiju zakrivljenost u gornjem dijelu kralježnice. Druga diskriminantna funkcija, predstavljena indikatorima  $Q_4$  i  $Q_2$  najznačajnije razlikuje tip gornjeg držanja tijela UP1 od tipova UP2 i UP3. Za tip UP1 značajne su manje vrijednosti indikatora  $Q_4$  i  $Q_2$ , te je za taj tip karakterističan blagi nagib kralježnice od linije grudi do struka te ravni dio prednje linije tijela. Tipovi UP2 i UP3 imaju izraženiju zakrivljenost kralježnice u području između grudi i struka, dok je nagib prednje krivulje tijela, opisan indikatorom  $Q_4$ , posebno izražen kod tipa UP3, sl. 114.

**Tablica 27** Deskriptivna statistika i vrijednosti distribucijskih parametra indikatora držanja gornjeg dijela tijela tipa UP1

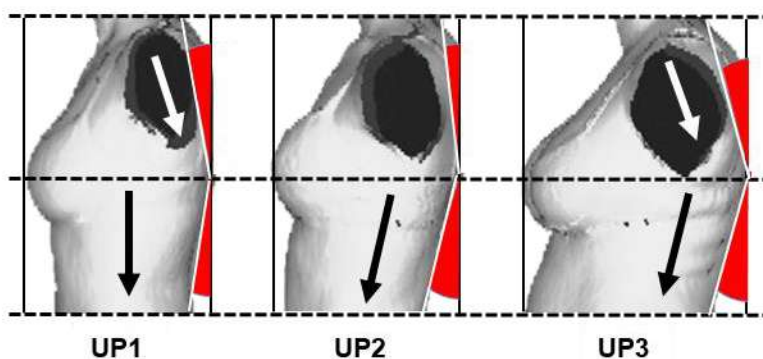
| UP1                               |     | Q <sub>6</sub> | Q <sub>1</sub> | Q <sub>2</sub> | Q <sub>4</sub> |
|-----------------------------------|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|
| $\bar{x}$ - sred. vrijednost [cm] |     | 23,38          | 12,67          | 8,87           | 7,75           |
| SD                                |     | 3,16           | 2,98           | 3,22           | 3,27           |
| percentili [cm]                   | min | 16,47          | 6,13           | 0,77           | -1,58          |
|                                   | 5   | 18,56          | 7,36           | 2,37           | 2,73           |
|                                   | 10  | 19,31          | 8,40           | 4,29           | 3,60           |
|                                   | 25  | 21,34          | 10,81          | 6,95           | 5,63           |
|                                   | 50  | 22,77          | 12,35          | 9,23           | 7,33           |
|                                   | 75  | 25,14          | 14,87          | 10,69          | 9,67           |
|                                   | 90  | 28,70          | 16,12          | 12,43          | 11,67          |
|                                   | 95  | 29,09          | 16,61          | 12,93          | 12,56          |
|                                   | max | 29,59          | 20,11          | 16,03          | 16,53          |
| N                                 |     | 52             |                |                |                |

**Tablica 28** Deskriptivna statistika i vrijednosti distribucijskih parametra indikatora držanja gornjeg dijela tijela tipa UP2

| UP2                               |     | Q <sub>6</sub> | Q <sub>1</sub> | Q <sub>2</sub> | Q <sub>4</sub> |
|-----------------------------------|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|
| $\bar{x}$ - sred. vrijednost [cm] |     | 18,78          | 8,81           | 14,98          | 2,46           |
| SD                                |     | 2,83           | 2,32           | 3,84           | 3,40           |
| percentili [cm]                   | min | 11,91          | 4,59           | 7,02           | -5,71          |
|                                   | 5   | 13,20          | 5,14           | 7,84           | -4,06          |
|                                   | 10  | 15,00          | 5,74           | 11,01          | -2,29          |
|                                   | 25  | 16,70          | 7,06           | 12,45          | 0,21           |
|                                   | 50  | 18,43          | 8,36           | 14,47          | 2,56           |
|                                   | 75  | 20,93          | 10,26          | 16,79          | 4,42           |
|                                   | 90  | 22,05          | 12,18          | 20,32          | 6,42           |
|                                   | 95  | 22,17          | 12,44          | 22,13          | 7,42           |
|                                   | max | 25,18          | 13,21          | 26,05          | 9,72           |
| N                                 |     | 43             |                |                |                |

**Tablica 29** Deskriptivna statistika i vrijednosti distribucijskih parametra indikatora držanja gornjeg dijela tijela tipa UP3

| UP3                               |     | Q <sub>6</sub> | Q <sub>1</sub> | Q <sub>2</sub> | Q <sub>4</sub> |
|-----------------------------------|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|
| $\bar{x}$ - sred. vrijednost [cm] |     | 26,65          | 16,35          | 13,29          | 1,61           |
| SD                                |     | 3,67           | 2,42           | 3,55           | 4,30           |
| percentili [cm]                   | min | 21,94          | 12,31          | 4,45           | -8,70          |
|                                   | 5   | 22,86          | 12,56          | 6,54           | -6,78          |
|                                   | 10  | 23,29          | 12,83          | 7,68           | -5,44          |
|                                   | 25  | 23,79          | 14,77          | 10,48          | -1,50          |
|                                   | 50  | 25,52          | 16,34          | 13,95          | 2,36           |
|                                   | 75  | 28,44          | 17,65          | 15,66          | 4,12           |
|                                   | 90  | 30,08          | 19,34          | 16,73          | 6,13           |
|                                   | 95  | 30,59          | 19,65          | 17,77          | 6,69           |
|                                   | max | 40,63          | 22,73          | 21,27          | 9,80           |
| N                                 |     | 31             |                |                |                |



**Slika 114** Utvrđeni tipovi držanja gornjeg dijela tijela

Ukupan postotak od 96,83% ispravno klasificiranih ispitanica u utvrđene klastere tipova držanja gornjeg dijela tijela ukazuje na visoku mogućnost predviđanja pripadnosti ispitanica pojedinom tipu na temelju definiranih indikatora. Pri tome je klasifikacijska matrica za tip UP1 pokazala potpuno predviđanje (100%), dok su za tip UP2 i UP3 predviđanja preko 90%, tab. 30.

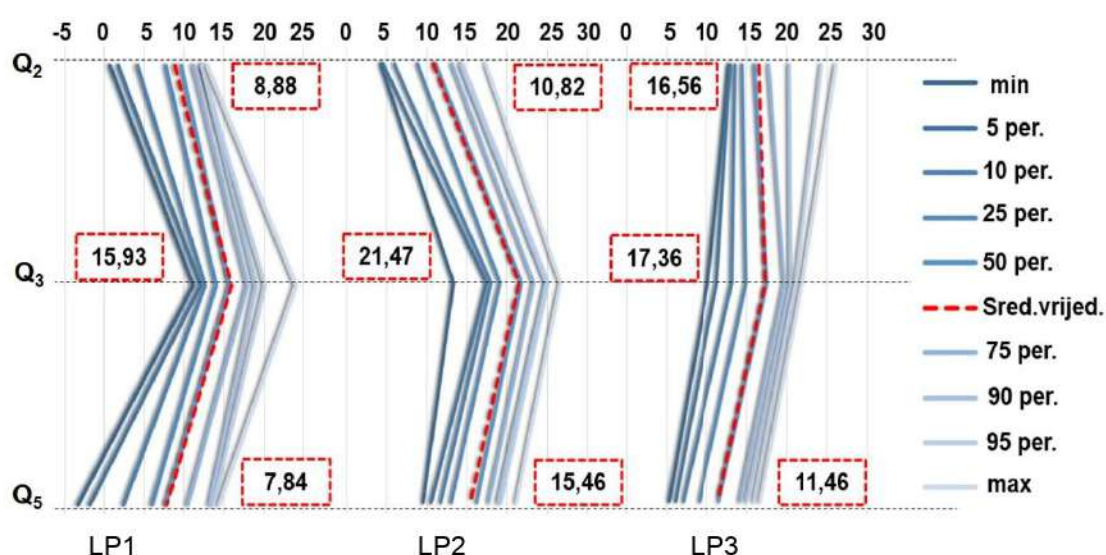


**Tablica 30** Klasifikacijska matrica utvrđenih tipova držanja gornjeg dijela tijela

| Držanje gornjeg dijela tijela | Točno klasificirane ispitanice [%] | Točno klasificirane ispitanice [N] |             |             |
|-------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------|-------------|
|                               |                                    | UP2                                | UP3         | UP1         |
|                               |                                    | $p = 0,341$                        | $p = 0,246$ | $p = 0,413$ |
| UP2                           | 97,674                             | 42                                 | 0           | 1           |
| UP3                           | 90,323                             | 0                                  | 28          | 3           |
| UP1                           | 100,000                            | 0                                  | 0           | 52          |
| ukupno                        | 96,825                             | 42                                 | 28          | 56          |

Rezultati analize pokazali su da definirani indikatori držanja donjeg dijela tijela i postavljena metoda klasifikacije značajno razlikuju tri tipa držanja donjeg dijela tijela u sagitalnoj ravnini.

U tab. 31 do 33, prikazani su rezultati dobiveni k-means klaster analizom s utvrđenim vrijednostima deskriptivnih statističkih parametara i distribucijskim rasponom vrijednosti indikatora za pojedini klaster. Utvrđena tri klastera držanja donjeg dijela tijela koji se međusobno značajno razlikuju u definiranim indikatorima su tip držanja tijela LP1 kojem pripada 33,33% uzorka, odnosno 42 ispitanice, tip držanja tijela LP2 kojem pripada 34,13% uzorka, odnosno 43 ispitanice i tip držanja tijela LP3 kojem pripada 32,54% uzorka, odnosno 41 ispitanica iz ukupnog uzorka. Na slici 115 prikazan je dijagram vrijednosti distribucijskih parametara indikatora za pojedini klaster.



**Slika 115** Dijagram vrijednosti distribucijskih parametara indikatora utvrđenih klastera držanja donjeg dijela tijela



**Tablica 31** Deskriptivna statistika i vrijednosti distribucijskih parametra indikatora držanja donjeg dijela tijela tipa LP1

| LP1                               | Q <sub>2</sub> | Q <sub>3</sub> | Q <sub>5</sub> |
|-----------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| $\bar{x}$ - sred. vrijednost [cm] | 8,88           | 15,93          | 7,84           |
| SD                                | 3,09           | 2,67           | 3,88           |
| <i>min</i>                        | 0,77           | 11,15          | -3,34          |
| 5                                 | 1,77           | 12,03          | -1,80          |
| 10                                | 4,16           | 12,70          | 2,40           |
| 25                                | 7,68           | 14,04          | 6,01           |
| 50                                | 9,64           | 15,69          | 7,67           |
| 75                                | 11,16          | 17,92          | 10,48          |
| 90                                | 12,17          | 19,01          | 13,22          |
| 95                                | 12,23          | 20,08          | 13,68          |
| <i>max</i>                        | 12,88          | 23,96          | 14,42          |
| N                                 | 42             |                |                |

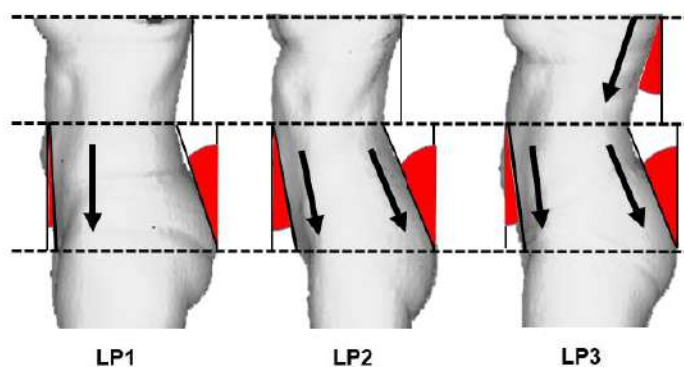
**Tablica 32** Deskriptivna statistika i vrijednosti distribucijskih parametra indikatora držanja donjeg dijela tijela tipa LP2

| LP2                               | Q <sub>2</sub> | Q <sub>3</sub> | Q <sub>5</sub> |
|-----------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| $\bar{x}$ - sred. vrijednost [cm] | 10,82          | 21,47          | 15,46          |
| SD                                | 3,14           | 2,70           | 2,87           |
| <i>min</i>                        | 4,29           | 13,36          | 9,59           |
| 5                                 | 4,59           | 17,44          | 10,57          |
| 10                                | 5,99           | 18,02          | 11,77          |
| 25                                | 8,88           | 19,16          | 12,99          |
| 50                                | 11,16          | 21,76          | 16,25          |
| 75                                | 13,16          | 23,26          | 17,73          |
| 90                                | 14,13          | 24,76          | 18,77          |
| 95                                | 14,47          | 25,05          | 19,18          |
| <i>max</i>                        | 17,34          | 26,57          | 21,12          |
| N                                 | 43             |                |                |

**Tablica 33** Deskriptivna statistika i vrijednosti distribucijskih parametra indikatora držanja donjeg dijela tijela tipa LP3

| LP3                               |     | Q <sub>2</sub> | Q <sub>3</sub> | Q <sub>5</sub> |
|-----------------------------------|-----|----------------|----------------|----------------|
| $\bar{x}$ - sred. vrijednost [cm] |     | 16,56          | 17,36          | 11,46          |
| SD                                |     | 2,93           | 2,82           | 2,96           |
| percentili [cm]                   | min | 12,91          | 10,17          | 5,31           |
|                                   | 5   | 12,95          | 11,31          | 6,05           |
|                                   | 10  | 13,55          | 13,14          | 7,08           |
|                                   | 25  | 14,50          | 14,95          | 9,06           |
|                                   | 50  | 15,95          | 17,54          | 11,61          |
|                                   | 75  | 17,77          | 19,63          | 14,13          |
|                                   | 90  | 20,32          | 20,43          | 14,96          |
|                                   | 95  | 24,25          | 21,11          | 15,90          |
|                                   | max | 26,05          | 21,92          | 16,66          |
| N                                 |     | 41             |                |                |

Prva diskriminantna funkcija, predstavljena indikatorima Q<sub>5</sub> i Q<sub>3</sub> najznačajnije razlikuje tip LP1 od tipova LP2 i LP3. Kao što je vidljivo na sl.116, tip LP1 ima ravnu donju liniju prednje krivulje tijela i blagu zakrivljenost donjeg dijela kralježnice, što odgovara manjim vrijednostima indikatora Q<sub>5</sub> i Q<sub>3</sub>. Druga diskriminantna funkcija, predstavljena indikatorima Q<sub>2</sub> i Q<sub>5</sub> najznačajnije razlikuje tipove donjeg držanja tijela LP2 i LP3. Oba tipa imaju izraženu zakrivljenost donjeg dijela pri čemu tip LP2 ima veći nagib donjeg dijela prednje linije tijela što odgovara većim vrijednostima indikatora Q<sub>5</sub>, dok tip LP3 ima veću zakrivljenost kralježnice u području struka, vidljivo iz vrijednosti indikatora Q<sub>2</sub>.



**Slika 116** Utvrđeni tipovi držanja donjeg dijela tijela

Ukupan postotak od 98,41% ispravno klasificiranih ispitanica u utvrđene klastere tipova držanja donjeg dijela tijela ukazuje na visoku mogućnost predviđanja pripadnosti ispitanica

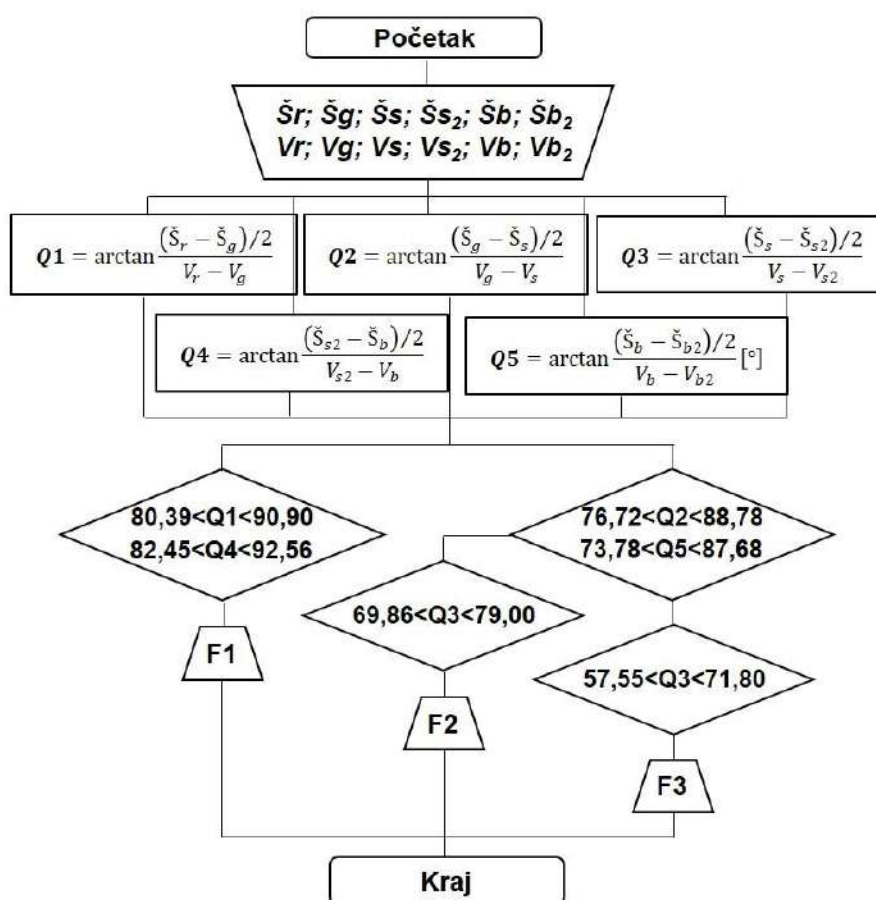
pojedinom tipu na temelju definiranih indikatora. Pri tome je klasifikacijska matrica za tip LP1 i LP3 pokazala potpuno predviđanje (100%), dok je za tip LP2 predviđanje 95%, tab. 34.

**Tablica 34** Klasifikacijska matrica utvrđenih tipova držanja donjeg dijela tijela

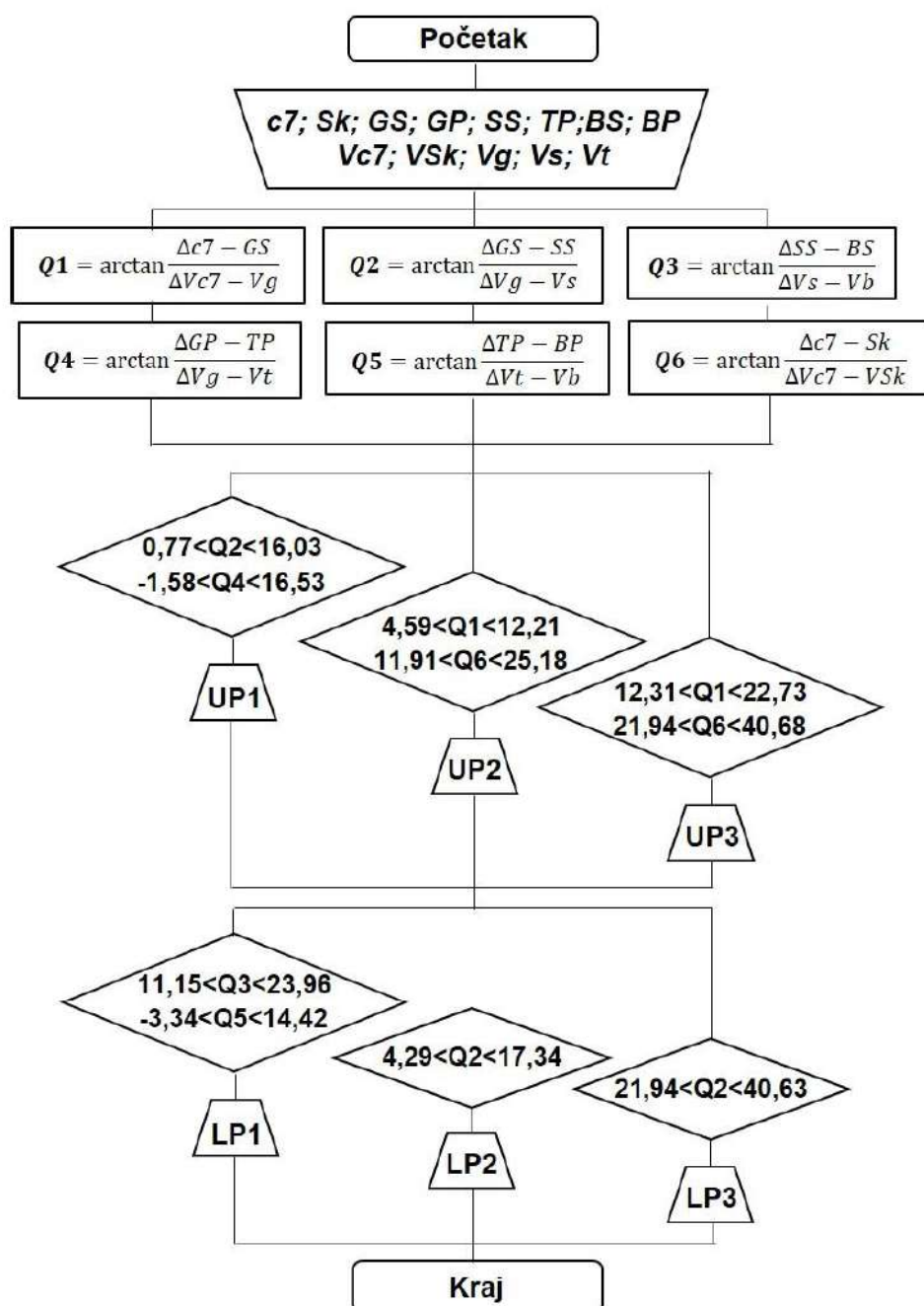
| Držanje donjeg<br>dijela tijela | Točno klasificirane<br>ispitanice [%] | Točno klasificirane ispitanice [N] |           |           |
|---------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|-----------|-----------|
|                                 |                                       | LP1                                | LP3       | LP2       |
|                                 |                                       | p = 0,333                          | p = 0,325 | p = 0,341 |
| LP1                             | 100,000                               | 42                                 | 0         | 0         |
| LP3                             | 100,000                               | 0                                  | 41        | 0         |
| LP2                             | 95,349                                | 0                                  | 2         | 41        |
| Total                           | 98,413                                | 42                                 | 43        | 41        |

#### 4.1.4. Algoritam za automatsku klasifikaciju skeniranih 3D modela prema tipovima oblika i držanja tijela

U nastavku je dan shematski prikaz algoritma za klasifikaciju tipova oblika i držanja modela tijela.



**Slika 117** Shematski prikaz algoritma za klasifikaciju tipova oblika ženskog tijela



Slika 118 Shematski prikaz algoritma za klasifikaciju tipova držanja ženskog tijela

#### 4.2. Rezultati analize karakteristika dinamičke antropometrije tijela primjenom različitih 3D mjernih sustava

U nastavku su prikazani rezultati istraživanja i analize dinamičke antropometrije tijela primjenom 3D skenera tijela i optičkog 3D mjernog sustava Aramis, provedeni na tri ispitanice, predstavnice tri tipa tijela u pet karakterističnih tjelesnih položaja.



#### 4.2.1. Rezultati analize promjena tjelesnih mjera u karakterističnim položajima tijela primjenom 3D skenera

U tab. 35 prikazani su rezultati interaktivnog utvrđivanja tjelesnih mjera prema postavljenim markerima na skeniranim modelima tijela tri ispitanice u standardnom uspravnom položaju (P0).

**Tablica 35** Tjelesne mjere utvrđene interaktivnim mjerenjem prema postavljenim markerima na skeniranim 3D modelima tri ispitanice u standardnom uspravnom položaju tijela P0

| Ispitanica | P0 [cm]      |              |        |             |             |         |        |        |         |
|------------|--------------|--------------|--------|-------------|-------------|---------|--------|--------|---------|
|            | $\dot{S}l_1$ | $\dot{S}l_2$ | $BDps$ | $S\dot{S}b$ | $\dot{S}nk$ | $SDgmk$ | $SDgs$ | $SDsb$ | $SDbnk$ |
| I1         | 35,8         | 35,4         | 19,5   | 33,9        | 17,1        | 57,2    | 15,1   | 20,2   | 21,9    |
| I2         | 32,4         | 31,1         | 20,1   | 34,5        | 17,9        | 55,6    | 15,9   | 19,3   | 20,4    |
| I3         | 35,8         | 34,5         | 21,4   | 36,1        | 18,2        | 53,2    | 15,3   | 18,4   | 19,5    |

U tab. 36 prikazani su rezultati interaktivnog utvrđivanja tjelesnih mjera prema postavljenim markerima na skeniranim modelima tijela tri ispitanice u karakterističnim položajima P1, P2 i P3. Prikazane su utvrđene razlike u mjerama u odnosu na mjere u standardnom uspravnom položaju i produljenja pojedine mjere u odnosu na početnu vrijednost, prikazane u postocima. U položajima P1 i P3 na tjelesnoj mjeri širine leđa u visini lopatica ( $\dot{S}l_1$ ) uočena je negativna promjena, odnosno smanjenje vrijednosti mjere u odnosu na početni položaj. Utvrđene negativne promjene izmjerene na tri ispitanice kreću se u vrijednostima od -1,2 do -2,7 cm. Najizraženije negativne promjene od -6,42 % do -7,54 % u odnosu na početnu duljinu, utvrđene su kod ispitanice tipa tijela 3.

Mjera širine leđa u visini pazuha ( $\dot{S}l_2$ ), kod svih ispitanica značajno raste prilikom promjene položaja ruku. Najveće promjene mjere  $\dot{S}l_2$  utvrđene su u položaju predručenja (P2) s produljenjem od 31,64 do 36,52 % u odnosu na početni položaj, tab. 35. U položaju P3 uočen je značajan porast vrijednosti mjere  $\dot{S}l_2$  kod ispitanice I2 gdje je izmjereno produljenje od 36,66 % u odnosu na mjeru u standardnom položaju. Kod ispitanica I1 i I3, mjera  $\dot{S}l_2$  u položaju P3 je manja u odnosu na maksimalnu promjenu u položaju predručenja (P2), dok je kod ispitanice I2 maksimalna deformacija zabilježena upravo u položaju P3.

**Tablica 36** Tjelesne mjere gornjeg dijela tijela utvrđene interaktivnim mjerenjem prema postavljenim markerima na skeniranim 3D modelima tri ispitanice različitih tipova tijela u karakterističnim tjelesnim položajima P1, P2 i P3

|              | I1         |               |                   | I2         |               |                   | I3         |               |                   |
|--------------|------------|---------------|-------------------|------------|---------------|-------------------|------------|---------------|-------------------|
|              | mjera [cm] | $\Delta$ [cm] | $\varepsilon$ [%] | mjera [cm] | $\Delta$ [cm] | $\varepsilon$ [%] | mjera [cm] | $\Delta$ [cm] | $\varepsilon$ [%] |
| <b>P1</b>    |            |               |                   |            |               |                   |            |               |                   |
| $\dot{S}l_1$ | 34,6       | -1,2          | -3,35             | 30,8       | -1,6          | -4,94             | 33,5       | -2,3          | -6,42             |
| $\dot{S}l_2$ | 40,3       | 4,9           | 13,84             | 34,8       | 3,7           | 11,90             | 38,4       | 3,9           | 11,30             |
| <b>P2</b>    |            |               |                   |            |               |                   |            |               |                   |
| $\dot{S}l_1$ | 41,6       | 5,8           | 16,20             | 37,3       | 4,9           | 15,12             | 41,9       | 6,1           | 17,04             |
| $\dot{S}l_2$ | 46,6       | 11,2          | 31,64             | 42,1       | 11,0          | 35,37             | 47,1       | 12,6          | 36,52             |
| <b>P3</b>    |            |               |                   |            |               |                   |            |               |                   |
| $\dot{S}l_1$ | 34,0       | -1,8          | -5,03             | 30,4       | -2,0          | -6,17             | 33,1       | -2,7          | -7,54             |
| $\dot{S}l_2$ | 44,3       | 8,9           | 25,14             | 42,5       | 11,4          | 36,66             | 43,6       | 9,1           | 26,38             |
| $BDps$       | 20,6       | 1,1           | 5,64              | 22,8       | 2,7           | 13,43             | 23,0       | 1,6           | 7,48              |

U tab. 37 prikazani su rezultati interaktivnog utvrđivanja tjelesnih mjera na skeniranim modelima u karakterističnim položajima P4 i P5 te su također prikazane izračunate razlike u odnosu na mjere u standardnom uspravnom položaju i vrijednosti razlika pojedine mjere u odnosu na početnu vrijednost u postocima. U položaju pretklona (P4), kod sve tri ispitanice utvrđena je slična vrijednost produljenja mjere stražnje linije tijela mjerene po vertikalnoj krivulji na četvrtini širine leđa, od visine opsega grudi do opsega natkoljenice. Utvrđene su razlike od 12,9 do 13,5 cm u odnosu na mjeru u standardnom uspravnom položaju, odnosno produljenje mjere od 22,84% do 23,60%. Iz rezultata analize promjena po segmentima krivulja podijeljenih na gornji dio od linije grudi do struka, donji dio od linije struka do bokova te dio natkoljenice od linije bokova do sredine natkoljenice.

U položaju čučnja (P5) utvrđeno je povećanje mjere stražnje širine bokova od 13,86% do 15,91% u odnosu na početnu vrijednost. Kod mjere stražnje linije tijela mjerene od visine opsega struka do opsega natkoljenice utvrđeno je produljenje od 20,91% do 22,16%, što je nešto manja vrijednost u odnosu na produljenje u položaju P4.

**Tablica 37** Tjelesne mjere utvrđene interaktivnim mjerenjem na skeniranim 3D modelima tri ispitanice različitih tipova tijela u karakterističnim tjelesnim položajima P4 i P5

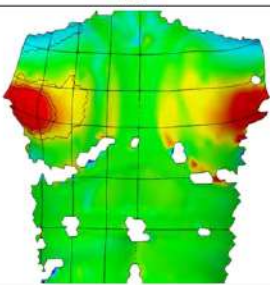
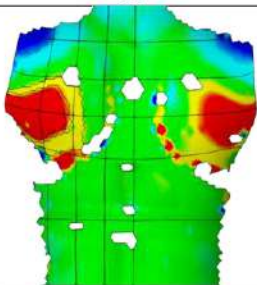
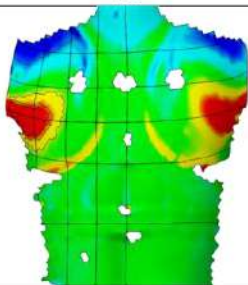
|              | I1            |               |                   | I2            |               |                   | I3            |               |                   |
|--------------|---------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|-------------------|
|              | mjera<br>[cm] | $\Delta$ [cm] | $\varepsilon$ [%] | mjera<br>[cm] | $\Delta$ [cm] | $\varepsilon$ [%] | mjera<br>[cm] | $\Delta$ [cm] | $\varepsilon$ [%] |
| <b>P4</b>    |               |               |                   |               |               |                   |               |               |                   |
| <i>SŠb</i>   | 37,4          | 3,5           | 10,32             | 39,2          | 4,7           | 13,62             | 40,6          | 4,5           | 12,47             |
| <i>SDgmk</i> | 70,7          | 13,5          | 23,60             | 68,5          | 12,9          | 23,20             | 65,4          | 12,2          | 22,93             |
| <i>SDgs</i>  | 18,4          | 3,3           | 21,85             | 19,3          | 3,4           | 21,38             | 19,1          | 3,8           | 24,84             |
| <i>SDsb</i>  | 24,9          | 4,7           | 23,27             | 24,0          | 4,7           | 24,35             | 22,8          | 4,4           | 23,91             |
| <i>SDbnk</i> | 27,4          | 5,5           | 25,11             | 25,2          | 4,8           | 23,53             | 23,4          | 3,9           | 20,00             |
| <b>P5</b>    |               |               |                   |               |               |                   |               |               |                   |
| <i>SŠb</i>   | 38,6          | 4,7           | 13,86             | 40,0          | 5,5           | 15,91             | 41,3          | 5,2           | 14,40             |
| <i>Šnk</i>   | 19,5          | 2,4           | 14,04             | 19,4          | 1,5           | 8,38              | 20,5          | 2,3           | 12,64             |
| <i>SDsnk</i> | 51,4          | 9,3           | 22,09             | 48,0          | 8,3           | 20,91             | 46,3          | 8,4           | 22,16             |
| <i>SDsb</i>  | 24,5          | 4,3           | 21,29             | 23,5          | 4,2           | 21,76             | 22,7          | 4,3           | 23,36             |
| <i>SDbnk</i> | 26,9          | 5,0           | 22,83             | 24,5          | 4,1           | 20,10             | 23,6          | 4,1           | 21,03             |

#### 4.2.2. Rezultati analize deformacija i promjena tjelesnih mjera ovisno o pokretu primjenom sustava Aramis

##### 4.2.2.1. Rezultati analize deformacija i promjena tjelesnih mjera kod pokreta ruku – položaji P1, P2 i P3

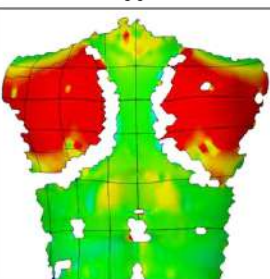
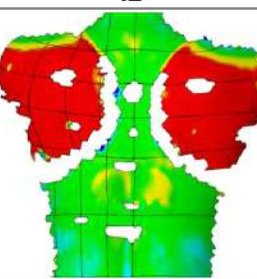
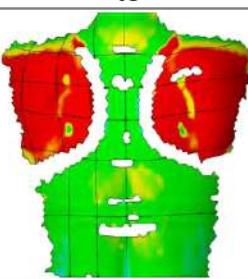
Analizom površinskih deformacija tijela kod pokreta ruku utvrđene su značajne poprečne deformacije na području leđa te su utvrđene vrijednosti maksimalnih deformacija segmenata površine prikazane u tab. 38 do 40. Ako promatramo pravokutnu mrežu karakterističnih linija na tijelu, zona maksimalnih deformacija proteže se oko linije širine leđa u visini pazuha. Gledajući prema transverzalnim presjecima, u položaju P1, deformacija se povećava od linije stražnje na kojoj gotovo i nema deformacije, prema bočnim linijama s maksimalnom deformacijom u području druge četvrtine širine leđa, tab. 38. Negativna deformacija pojavljuje se cijelom širinom ramena i proteže do linije na visini lopatica.

**Tablica 38** Rezultati analize poprečnih deformacija površine leđa u položaju razručenja (P1) na tri ispitanice različitih tipova tijela

| P1                       | I1                                                                                | I2                                                                                 | I3                                                                                  |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| $\epsilon_x$             |  |  |  |
| $\epsilon_{x \max} [\%]$ | 33,59                                                                             | 27,71                                                                              | 23,33                                                                               |
| $\epsilon_{x \min} [\%]$ | -11,24                                                                            | -16,00                                                                             | -14,88                                                                              |

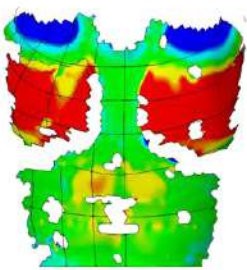
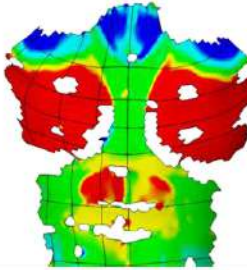
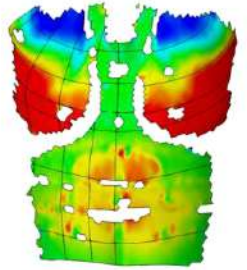
Kod položaja predručenja (P2) utvrđene su poprečne deformacije koje se protežu cijelom površinom leđa od visine ramena do opsega grudi, tab. 39. Najveća vrijednost od 37,39 % utvrđena je kod ispitanice tipa tijela I2. Kod položaja nadručenja (P3) deformacija na području leđa je nešto manja u odnosu na položaj P2, osim kod ispitanice I2 gdje značajno raste do maksimalnih 40,97 % produljenja u odnosu na početnu vrijednost. Negativna deformacija u području ramena se povećava u odnosu na položaj P1 i najveća je kod ispitanice I3 (-23,79 %), tab. 40.

**Tablica 39** Rezultati analize poprečnih deformacija površine leđa u položaju predručenja (P2) na tri ispitanice različitih tipova tijela

| P2                       | I1                                                                                  | I2                                                                                   | I3                                                                                    |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| $\epsilon_x$             |  |  |  |
| $\epsilon_{x \max} [\%]$ | 34,54                                                                               | 37,39                                                                                | 30,48                                                                                 |

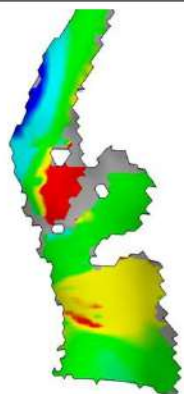
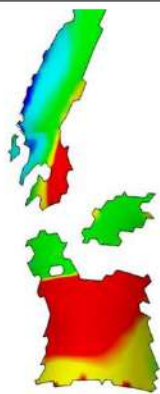
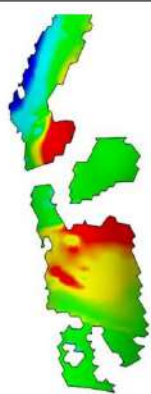


**Tablica 40** Rezultati analize poprečnih deformacija tijela u položaju nadručenja (P3) na tri ispitanice različitih tipova tijela

| P3                       | I1                                                                                | I2                                                                                 | I3                                                                                  |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| $\epsilon_x$             |  |  |  |
| $\epsilon_{x \max} [\%]$ | 30,31                                                                             | 40,97                                                                              | 28,15                                                                               |
| $\epsilon_{x \min} [\%]$ | -19,49                                                                            | -17,87                                                                             | -23,79                                                                              |

Osim poprečnih deformacija, u položaju nadručenja P3, gledano u sagitalnoj ravnini, analizirane su uzdužne ( $y$ ) deformacije bočnog dijela tijela od linije visine pazuha do opsega struka. Kod ispitanica I1 i I2, utvrđena vrijednost maksimalne deformacije površine je slična (I1=36,66%, I2=37,29%) dok je kod ispitanice I3 nešto manja i iznosi 30,61 %, tab. 41.

**Tablica 41** Rezultati analize uzdužnih deformacija tijela u položaju nadručenja (P3) na tri ispitanice različitih tipova tijela

| P3                                         | I1                                                                                  | I2                                                                                   | I3                                                                                    |
|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| $\epsilon_y$                               |  |  |  |
| $\epsilon_{y \max} [\%]$ (crvena zona)     | 36,66                                                                               | 37,29                                                                                | 30,61                                                                                 |
| $\epsilon_{y \text{mid}} [\%]$ (žuta zona) | 11,81                                                                               | 24,53                                                                                | 12,92                                                                                 |

Ako pogledamo zone deformacija, tab. 41, uočljive su razlike u zonama kod ispitanica različitih tipova tijela. Kod ispitanice I1 zona najveće deformacije zadržava se u području od pazuha do grudi (crvena zona), dok je područje od grudi do struka u zoni manje deformacije od oko 10-

15% (žuta zona). Kod ispitanice I2 zona maksimalne deformacije proteže se cijelom bočnom površinom, od visine pazuha do linije struka, dok se kod ispitanice I3 maksimalna deformacija proteže u području od visine pazuha do linije nešto niže od podprsnog opsega.

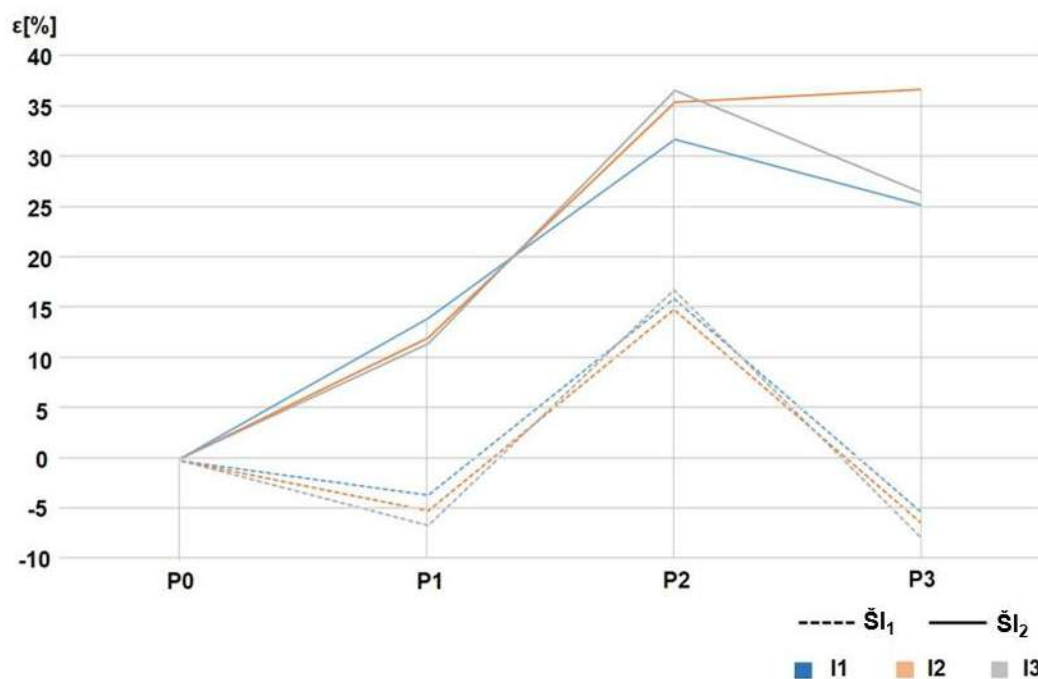
Utvrđene vrijednosti tjelesnih mjera na modelima u početnom P0 i krajnjim položajima P1, P2 i P3 prikazane su u tab. 42 i 43. Promjene dimenzija krivulja prikazane su kao razlike u duljinama u odnosu na početni položaj, izražene u postocima.

**Tablica 42** Tjelesne mjere gornjeg dijela tijela utvrđene na 3D modelima tijela u pokretu u početnom položaju P0

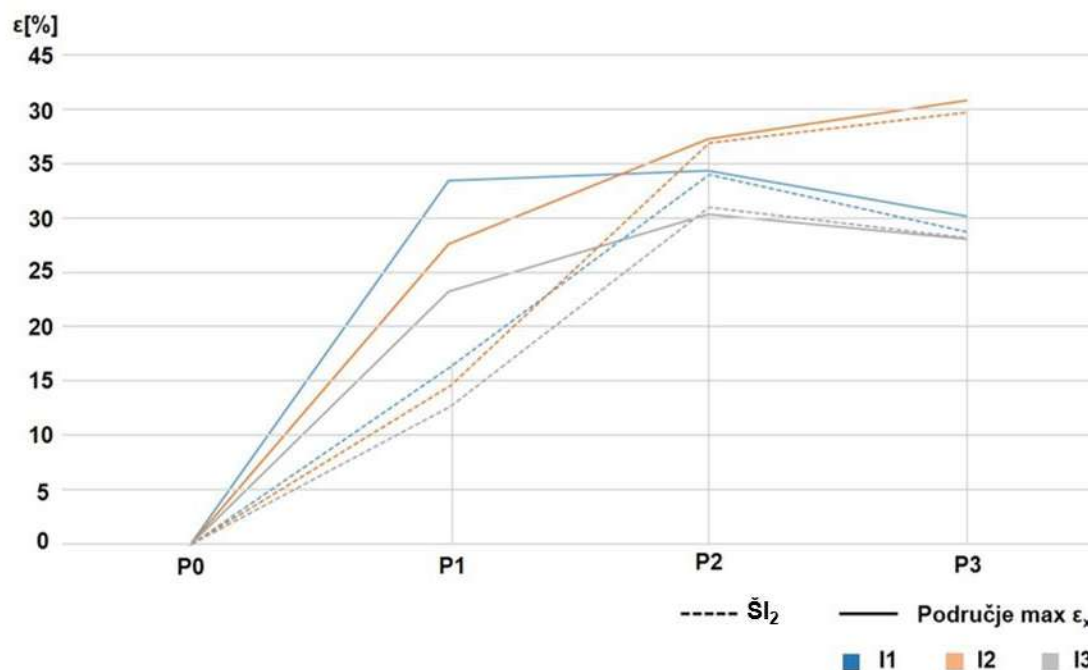
|              | I1    | I2    | I3    |
|--------------|-------|-------|-------|
| P0 [cm]      |       |       |       |
| $\dot{S}l_1$ | 35,32 | 31,53 | 35,16 |
| $\dot{S}l_2$ | 35,24 | 30,92 | 33,91 |
| BDps         | 18,98 | 19,58 | 21,13 |

**Tablica 43** Tjelesne mjere gornjeg dijela tijela u položajima P1, P2 i P3, utvrđene na 3D modelima tijela u pokretu snimljenim sustavom Aramis

|              | I1            |               |                   | I2            |               |                   | I3            |               |                   |
|--------------|---------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|-------------------|
|              | mjera<br>[cm] | $\Delta$ [cm] | $\varepsilon$ [%] | mjera<br>[cm] | $\Delta$ [cm] | $\varepsilon$ [%] | mjera<br>[cm] | $\Delta$ [cm] | $\varepsilon$ [%] |
| P1           |               |               |                   |               |               |                   |               |               |                   |
| $\dot{S}l_1$ | 33,98         | -1,34         | -3,79             | 29,80         | -1,73         | -5,49             | 32,58         | -2,58         | -7,34             |
| $\dot{S}l_2$ | 41,07         | 5,83          | 16,54             | 35,43         | 4,51          | 14,59             | 38,22         | 4,31          | 12,71             |
| P2           |               |               |                   |               |               |                   |               |               |                   |
| $\dot{S}l_1$ | 40,73         | 5,41          | 15,32             | 36,65         | 5,12          | 16,23             | 40,58         | 5,42          | 15,41             |
| $\dot{S}l_2$ | 47,12         | 11,88         | 33,71             | 42,34         | 11,42         | 36,93             | 44,42         | 10,51         | 30,99             |
| P3           |               |               |                   |               |               |                   |               |               |                   |
| $\dot{S}l_1$ | 33,88         | -1,44         | -4,08             | 29,69         | -1,84         | -5,83             | 32,01         | -3,15         | -8,96             |
| $\dot{S}l_2$ | 45,30         | 10,06         | 28,55             | 43,21         | 12,29         | 39,75             | 43,47         | 9,56          | 28,19             |
| BDps         | 21,80         | 2,82          | 14,86             | 22,35         | 2,77          | 14,15             | 22,87         | 1,74          | 8,23              |



**Slika 119** Analiza vrijednosti promjena tjelesne mjere širine leđa u visini lopatica ( $\dot{S}l_1$ ) i širine leđa u visini pazuha ( $\dot{S}l_2$ ) u položajima P1, P2 i P3



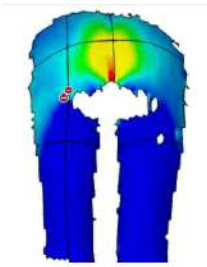
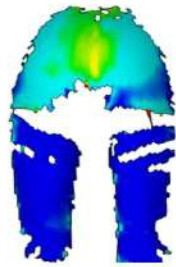
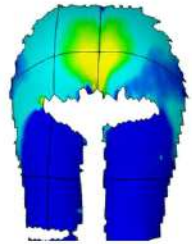
**Slika 120** Analiza vrijednosti promjena tjelesne mjere širine leđa u visini pazuha ( $\dot{S}l_2$ ) i maksimalne deformacije površine u položajima P1, P2 i P3

Promjene tjelesnih mjera analizirane su u odnosu na utvrđene vrijednosti maksimalnih deformacija po zonama površine. Iz grafa na sl. 119 i 120 vidljivo je da utvrđene vrijednosti maksimalnih deformacija površine blisko odgovaraju utvrđenim vrijednostima produljenja tjelesnih mjera obuhvaćenih zonom deformacije, ukoliko je mjera u potpunosti ili barem većim dijelom obuhvaćena zonom deformacije, kao što je to slučaj s mjerom  $\dot{S}l_2$  u položajima P2 i P3. Kod položaja P1, deformacija površine zone maksimalne deformacije je prilično veća u odnosu na produljenje mjere  $\dot{S}l_2$ , što je i očekivano s obzirom da produljenje u obzir uzima cjelovitu duljinu krivulje, a deformacija se događa samo na početnom i krajnjem segmentu ukupna deformacija je manja u odnosu na promjenu samog segmenta maksimalne deformacije, sl. 119 i 120.

#### 4.2.2.2. Rezultati analize deformacija i promjena tjelesnih mjera pri savijanju tijela u položaj pretklona - položaj P4

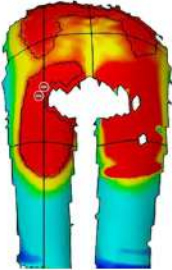
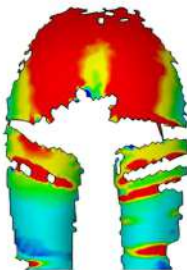
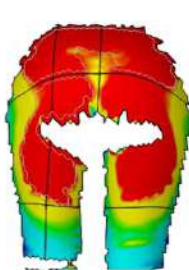
Analizom površinskih deformacija u pokretu savijanja tijela prema naprijed u položaj pretklona (P4) na stražnjem dijelu tijela, uočene su značajne deformacije u uzdužnom (y) smjeru, na duljini od opsega grudi do opsega koljena i na stražnjoj duljini noge od opsega bokova do opsega bedra. Utvrđene zone i vrijednosti maksimalnih deformacija površine te promjene tjelesnih mjera za svaku od tri ispitanice prikazane su u tab. 44. do 48.

**Tablica 44** Rezultati mjerenja poprečnih deformacija tijela u položaju pretklona (P4) na tri ispitanice različitih tipova tijela

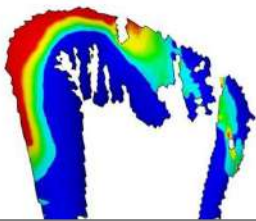
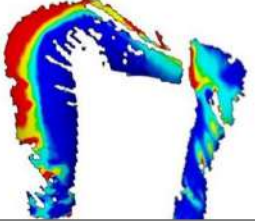
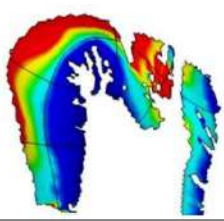
| P4                                           | I1                                                                                  | I2                                                                                   | I3                                                                                    |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| $\epsilon_x$                                 |  |  |  |
| $\epsilon_{x\ max} [\%] - \text{posterioro}$ | 15,05                                                                               | 14,63                                                                                | 14,94                                                                                 |



**Tablica 45** Rezultati analize uzdužnih deformacija tijela u položaju pretklona (P4) na tri ispitanice različitih tipova tijela u posteriornoj ravnini

| P4                                        | I1                                                                                | I2                                                                                 | I3                                                                                  |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| $\epsilon_y$                              |  |  |  |
| $\epsilon_{y \max} [\%]$ – donji dio leđa | 25,71                                                                             | 24,62                                                                              | 23,43                                                                               |
| $\epsilon_{y \max} [\%]$ – bedro          | 33,01                                                                             | 26,81                                                                              | 21,54                                                                               |

**Tablica 46** Rezultati mjerenja uzdužnih deformacija tijela u položaju pretklona (P4) na tri ispitanice različitih tipova tijela u sagitalnoj ravnini

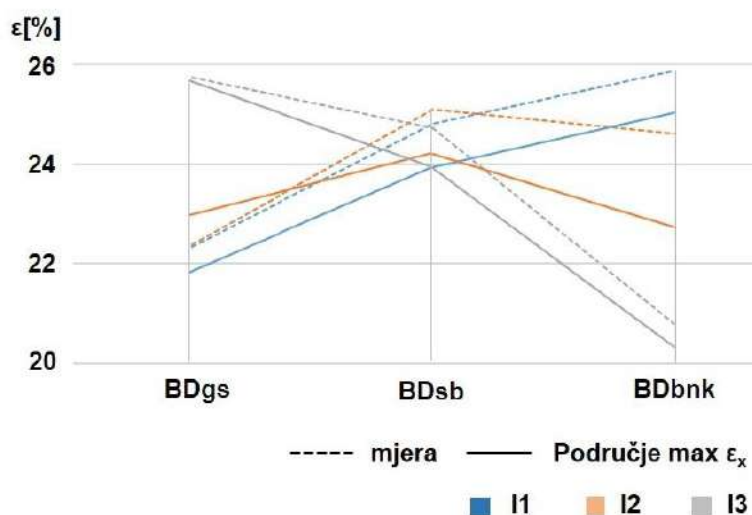
| P4                                    | I1                                                                                  | I2                                                                                   | I3                                                                                    |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| $\epsilon_y$                          |  |  |  |
| $\epsilon_{y \max} [\%]$ – Og do Os   | 21,83                                                                               | 23,93                                                                                | 25,68                                                                                 |
| $\epsilon_{y \max} [\%]$ – Os do Ob   | 23,93                                                                               | 24,21                                                                                | 23,94                                                                                 |
| $\epsilon_{y \max} [\%]$ – Ob do Onk  | 25,04                                                                               | 23,94                                                                                | 20,33                                                                                 |
| $\epsilon_{y \max} [\%]$ – nadlaktica | 12,03                                                                               | 10,03                                                                                | 9,86                                                                                  |

**Tablica 47** Tjelesne mjere utvrđene na 3D modelima tijela u pokretu (KL4) u početnom položaju P0

|         | I1    | I2    | I3    |
|---------|-------|-------|-------|
| P0 [cm] |       |       |       |
| SŠb     | 33,72 | 33,97 | 35,80 |
| SDgmk   | 58,18 | 56,75 | 56,38 |
| SDgs    | 15,31 | 16,23 | 15,62 |
| SDsb    | 20,95 | 19,68 | 22,52 |
| SDbnk   | 21,92 | 20,84 | 18,24 |

**Tablica 48** Tjelesne mjere utvrđene na 3D modelima tijela u pokretu u položaju pretklona P4

|       | I1         |               |                   | I2         |               |                   | I3         |               |                   |
|-------|------------|---------------|-------------------|------------|---------------|-------------------|------------|---------------|-------------------|
|       | mjera [cm] | $\Delta$ [cm] | $\varepsilon$ [%] | mjera [cm] | $\Delta$ [cm] | $\varepsilon$ [%] | mjera [cm] | $\Delta$ [cm] | $\varepsilon$ [%] |
| P4    |            |               |                   |            |               |                   |            |               |                   |
| SŠb   | 37,06      | 3,37          | 9,91              | 38,49      | 4,52          | 13,31             | 40,36      | 4,56          | 12,74             |
| SDgmk | 72,47      | 14,29         | 24,56             | 70,45      | 13,70         | 24,14             | 69,76      | 13,38         | 23,73             |
| SDgs  | 18,73      | 3,42          | 22,34             | 19,86      | 3,63          | 22,37             | 19,64      | 4,02          | 25,73             |
| SDsb  | 26,15      | 5,20          | 24,82             | 24,62      | 4,94          | 25,10             | 28,09      | 5,57          | 24,73             |
| SDbnk | 27,59      | 5,67          | 25,87             | 25,97      | 5,13          | 24,61             | 22,03      | 3,79          | 20,78             |


**Slika 121** Analiza vrijednosti promjena segmenata mjere stražnje duljine tijela i utvrđenih vrijednosti maksimalnih deformacija površina u korespondentnim zonama

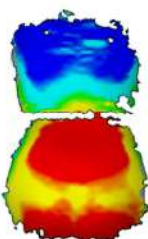
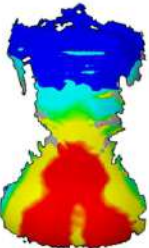
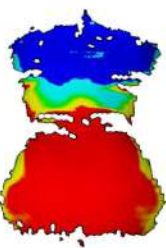
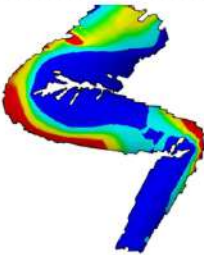
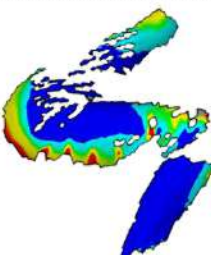
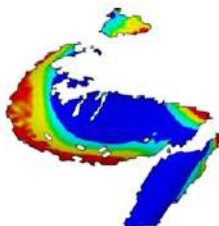
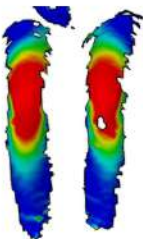
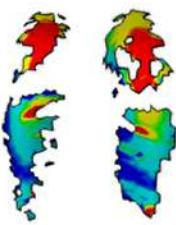
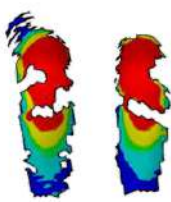
Kako je prikazano u tab. 48 i na grafu, sl. 121, utvrđene vrijednosti maksimalnih deformacija površine i vrijednosti promjena tjelesnih mjera obuhvaćenih zonom deformacije poklapaju se

unutar 2%, što ukazuje na mogućnost predviđanja promjena tjelesnih mjera na temelju analize deformacija po segmentima površine.

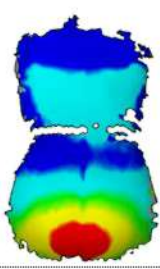
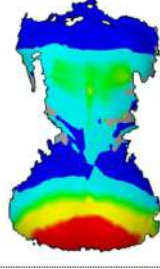
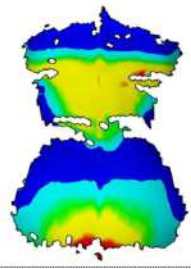
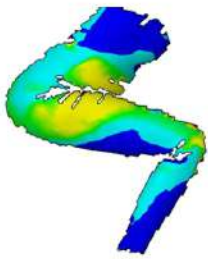
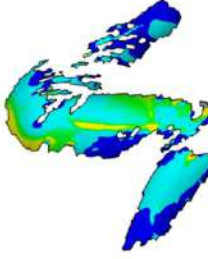
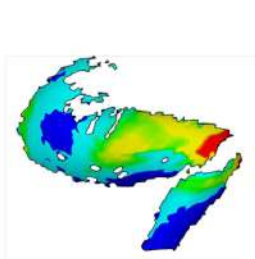
#### 4.2.2.3. Rezultati analize deformacija i promjena tjelesnih mjera pri spuštanju tijela u položaj čučnja – položaj P5

Analizom površinskih deformacija u pokretu spuštanja tijela u položaj čučnja (P5), osim uzdužnih deformacija na duljini od opsega struka do opsega natkoljenice, analizirana je i zona deformacije u poprečnom smjeru na području bokova. Vrijednosti maksimalnih deformacija segmenata površine i utvrđenih promjena tjelesnih mjera za svaku od tri ispitanice prikazane su u tab. 49 do 52.

**Tablica 49** Rezultati mjerenja uzdužnih deformacija tijela u položaju čučnja (P5) na tri ispitanice različitih tipova tijela

| P5                                   | I1                                                                                  | I2                                                                                   | I3                                                                                    |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| $\epsilon_y$                         |  |   |   |
|                                      |  |  |  |
|                                      |  |  |  |
| $\epsilon_{y \max} [\%]$ – Os do Ob  | 21,11                                                                               | 21,22                                                                                | 23,58                                                                                 |
| $\epsilon_{y \max} [\%]$ – Ob do Onk | 23,16                                                                               | 19,71                                                                                | 20,98                                                                                 |
| $\epsilon_{y \max} [\%]$ – koljeno   | 25,70                                                                               | 27,94                                                                                | 29,76                                                                                 |

**Tablica 50** Rezultati mjerenja poprečnih deformacija tijela u položaju čučnja (P5) na tri ispitanice različitih tipova tijela

| P5                                      | I1                                                                                | I2                                                                                 | I3                                                                                  |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| $\epsilon_x$                            |  |  |  |
|                                         |  |  |  |
| $\epsilon_{x \max} [\%]$ – bokovi       | 19,21                                                                             | 18,60                                                                              | 16,05                                                                               |
| $\epsilon_{x \max} [\%]$ – natkoljenica | 14,05                                                                             | 7,83                                                                               | 12,02                                                                               |

U području bokova na stražnjem dijelu tijela, u položaju čučnja (P5), utvrđena je veća vrijednost i izraženija zona površine zahvaćene deformacijom u poprečnom (x) smjeru, u odnosu na deformaciju u položaju pretklona (P4).

**Tablica 51** Tjelesne mjere utvrđene na 3D modelima tijela u pokretu (KL5) u početnom položaju P0

|                | I1    | I2    | I3    |
|----------------|-------|-------|-------|
| <b>P0 [cm]</b> |       |       |       |
| SŠb            | 33,41 | 34,03 | 35,80 |
| Šnk            | 16,83 | 17,21 | 17,72 |
| SDsnk          | 42,98 | 40,93 | 40,57 |
| SDsb           | 21,01 | 20,18 | 21,91 |
| SDbnk          | 21,97 | 20,75 | 18,66 |

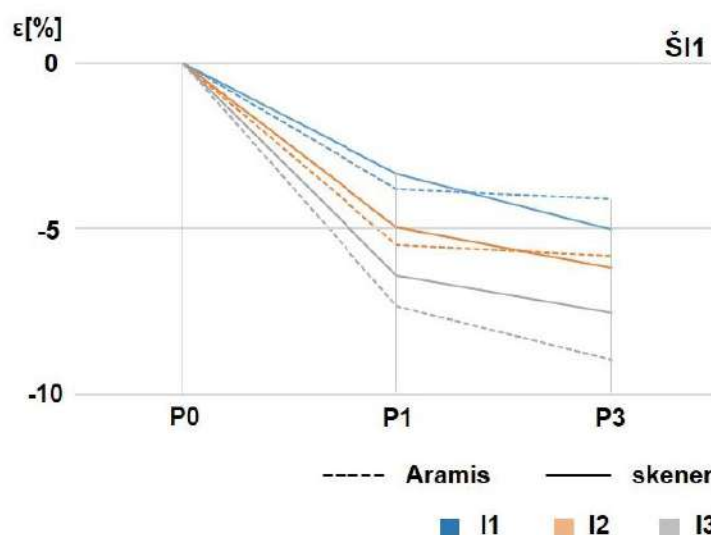


**Tablica 52** Tjelesne mjere utvrđene na 3D modelima tijela u pokretu u položaju čučnja P5

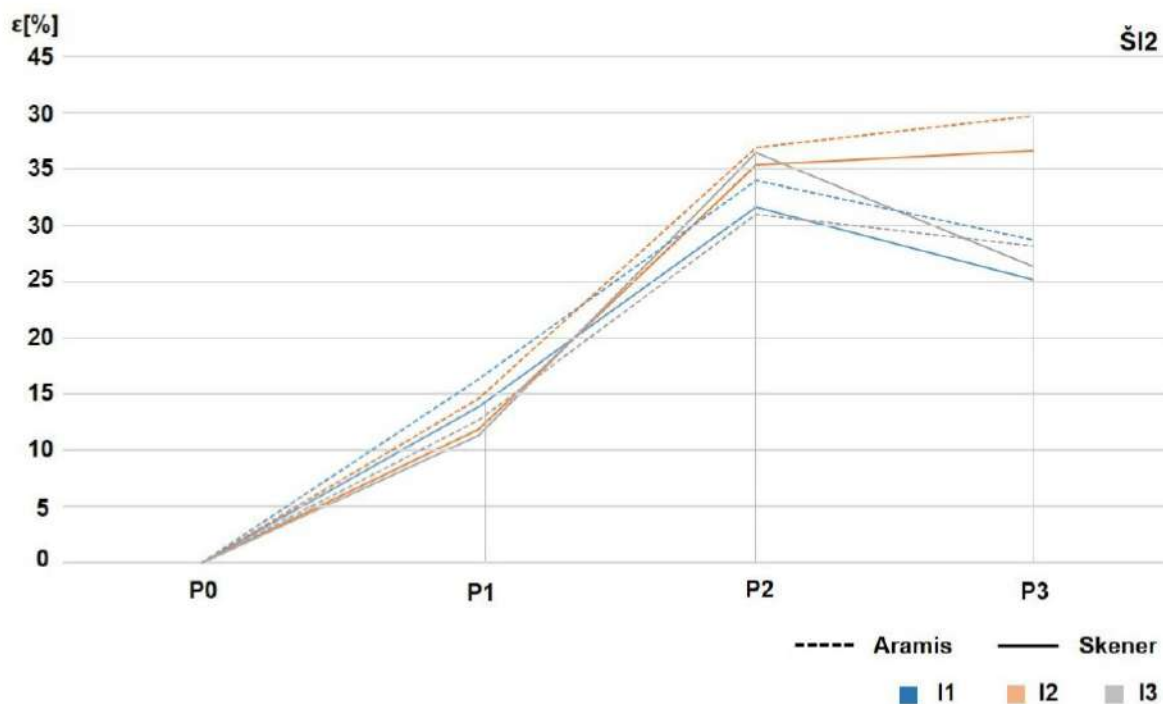
|           | I1         |               |                   | I2         |               |                   | I3         |               |                   |
|-----------|------------|---------------|-------------------|------------|---------------|-------------------|------------|---------------|-------------------|
|           | mjera [cm] | $\Delta$ [cm] | $\varepsilon$ [%] | mjera [cm] | $\Delta$ [cm] | $\varepsilon$ [%] | mjera [cm] | $\Delta$ [cm] | $\varepsilon$ [%] |
| <b>P5</b> |            |               |                   |            |               |                   |            |               |                   |
| SŠb       | 38,13      | 4,72          | 14,13             | 39,48      | 5,45          | 16,02             | 40,81      | 5,01          | 13,99             |
| Šnk       | 19,09      | 2,26          | 13,43             | 18,60      | 1,39          | 8,08              | 20,17      | 2,45          | 13,83             |
| SDgmk     | 52,07      | 9,09          | 21,15             | 48,95      | 8,02          | 19,59             | 49,24      | 8,67          | 21,37             |
| SDsb      | 25,37      | 4,36          | 20,75             | 24,21      | 4,03          | 19,97             | 26,75      | 4,84          | 22,09             |
| SDbnk     | 26,70      | 4,73          | 21,53             | 24,74      | 3,99          | 19,23             | 22,49      | 3,83          | 20,53             |

#### 4.2.2.4. Analiza rezultata promjena tjelesnih mjera utvrđenih sustavom Aramis u odnosu na promjene utvrđene na skeniranim 3D modelima tijela

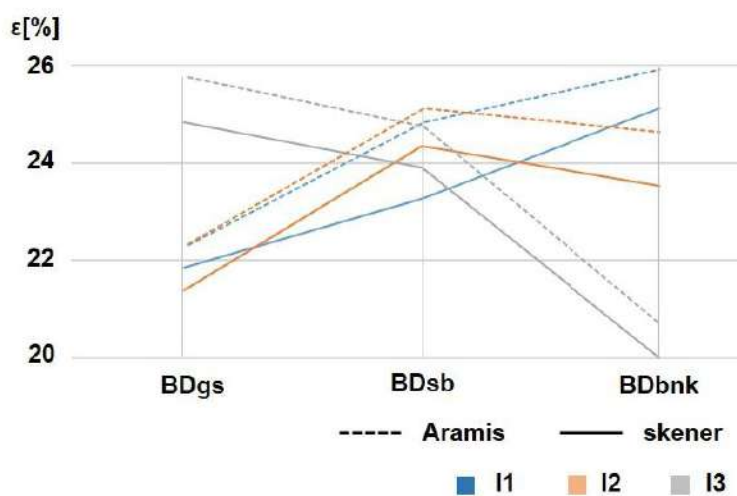
Na dijagramima, sl. 122 do 124, prikazana je analiza utvrđenih promjena tjelesnih mjera u pet karakterističnih položaja, utvrđenih na skeniranim modelima tijela i 3D modelima tijela u pokretu.



**Slika 122** Analiza vrijednosti promjena tjelesne mjere širine leđa u visini lopatica ( $\hat{S}l_1$ ) u položajima P1 i P3, utvrđenih na skeniranim modelima tijela i na modelima u pokretu snimljenim primjenom sustava Aramis



**Slika 123** Analiza vrijednosti promjena tjelesne mjere širine leđa u visini pazuha ( $\dot{S}l_2$ ) u položajima P1, P2 i P3, utvrđenih na skeniranim modelima tijela i na modelima u pokretu snimljenim primjenom sustava Aramis



**Slika 124** Analiza vrijednosti promjena segmenata mjere stražnje duljine tijela od opsega grudi do opsega natkoljenice u položaju P4, utvrđenih na skeniranim modelima tijela i na modelima u pokretu snimljenim primjenom sustava Aramis

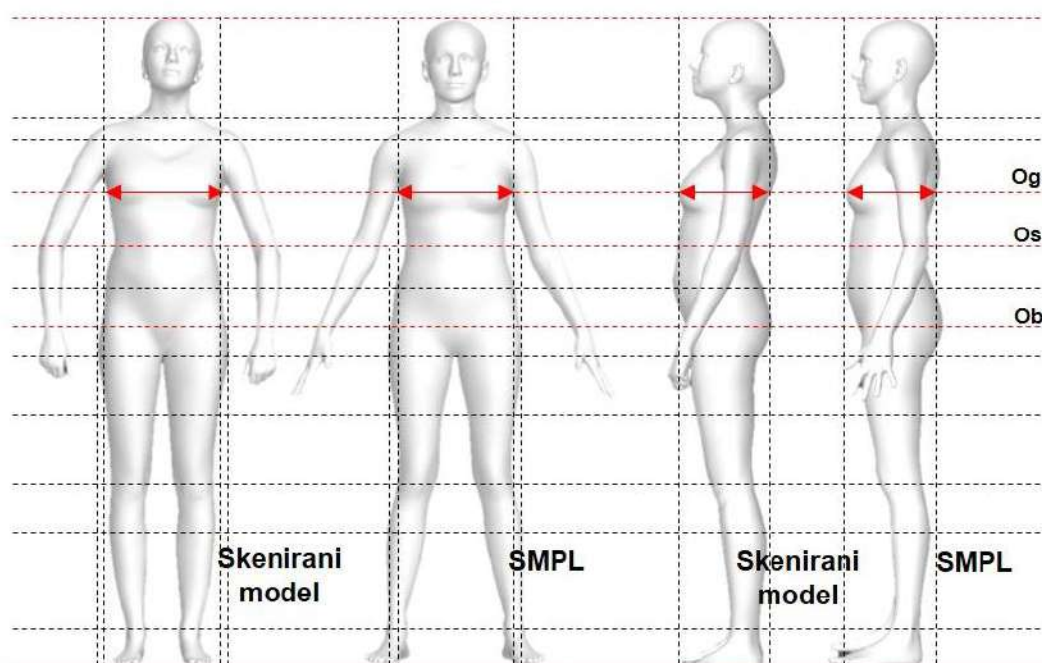
Kod svih analiziranih mjera utvrđena su manja odstupanja između mjerenja na 3D modelima snimljenim s dva različita sustava. Iako su mjerenja izvedena interaktivno na 3D modelima, pri čemu preciznost onoga tko izvodi mjerenje ima veliki utjecaj na točnost rezultata, markeri pozicionirani na karakteristične antropometrijske točke na tijelima ispitanica prilikom snimanja, osigurali su visoku razinu preciznosti mjerenja, što je vidljivo iz komparativne analize rezultata.

#### 4.3. Rezultati razvoja animiranih 3D modela tijela prilagođenih prema tri ispitanice različitih tipova

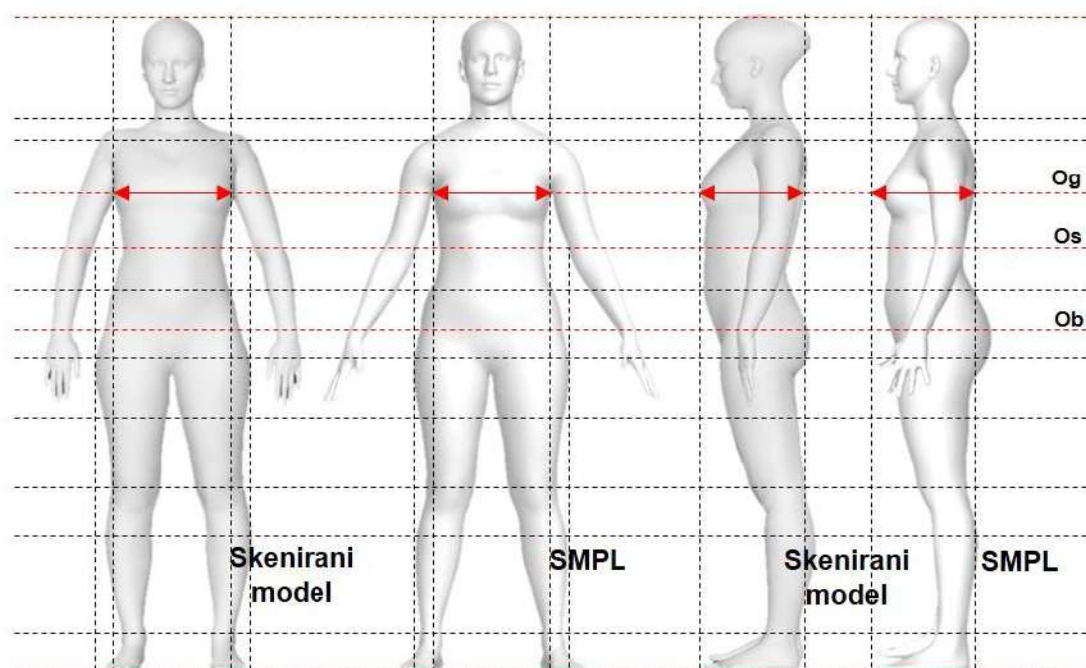
U narednim točkama prikazani su rezultati istraživanja i razvoja animiranih 3D avatara prilagođenih prema tri ispitanice različitih tipova tijela, koji su korišteni u nastavku istraživanja, u segmentu razvoja i analize računalnih 3D prototipova u dinamičkim uvjetima.

##### 4.3.1. Rezultati prilagodbe SMPL modela tijela prema skeniranim 3D modelima ispitanica

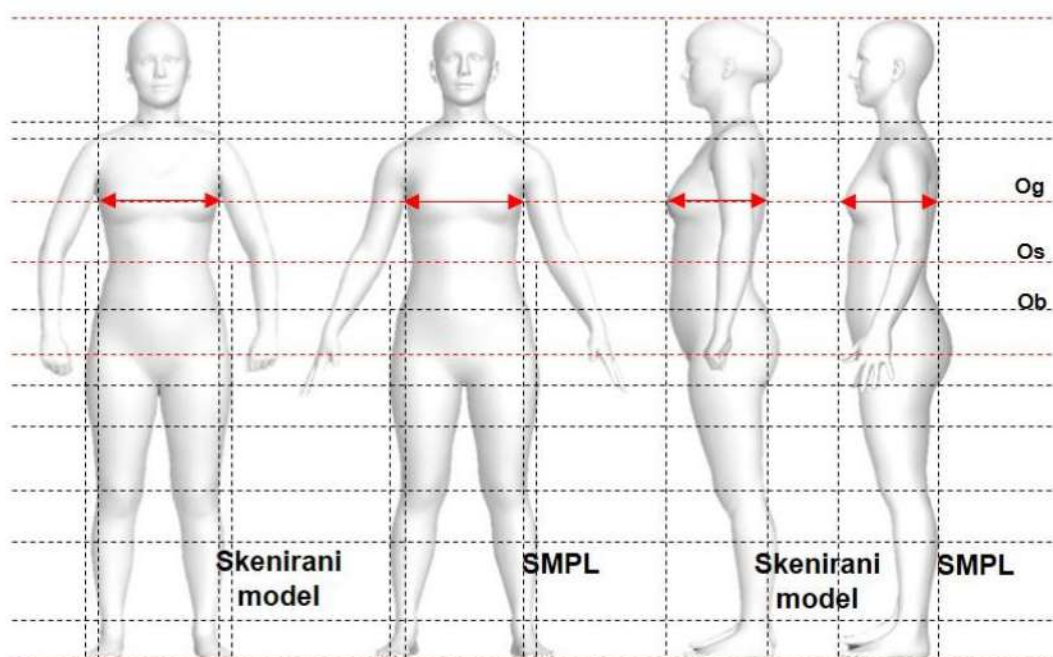
Na sl. 125 do 127, prikazani su rezultati prilagodbe SMPL modela prema tri ispitanice različitih tipova tijela i analiza u odnosu na skenirane modele.



**Slika 125** Rezultati prilagodbe SMPL modela prema skeniranom 3D modelu ispitanice I1



**Slika 126** Rezultati prilagodbe SMPL modela prema skeniranom 3D modelu ispitanice I2

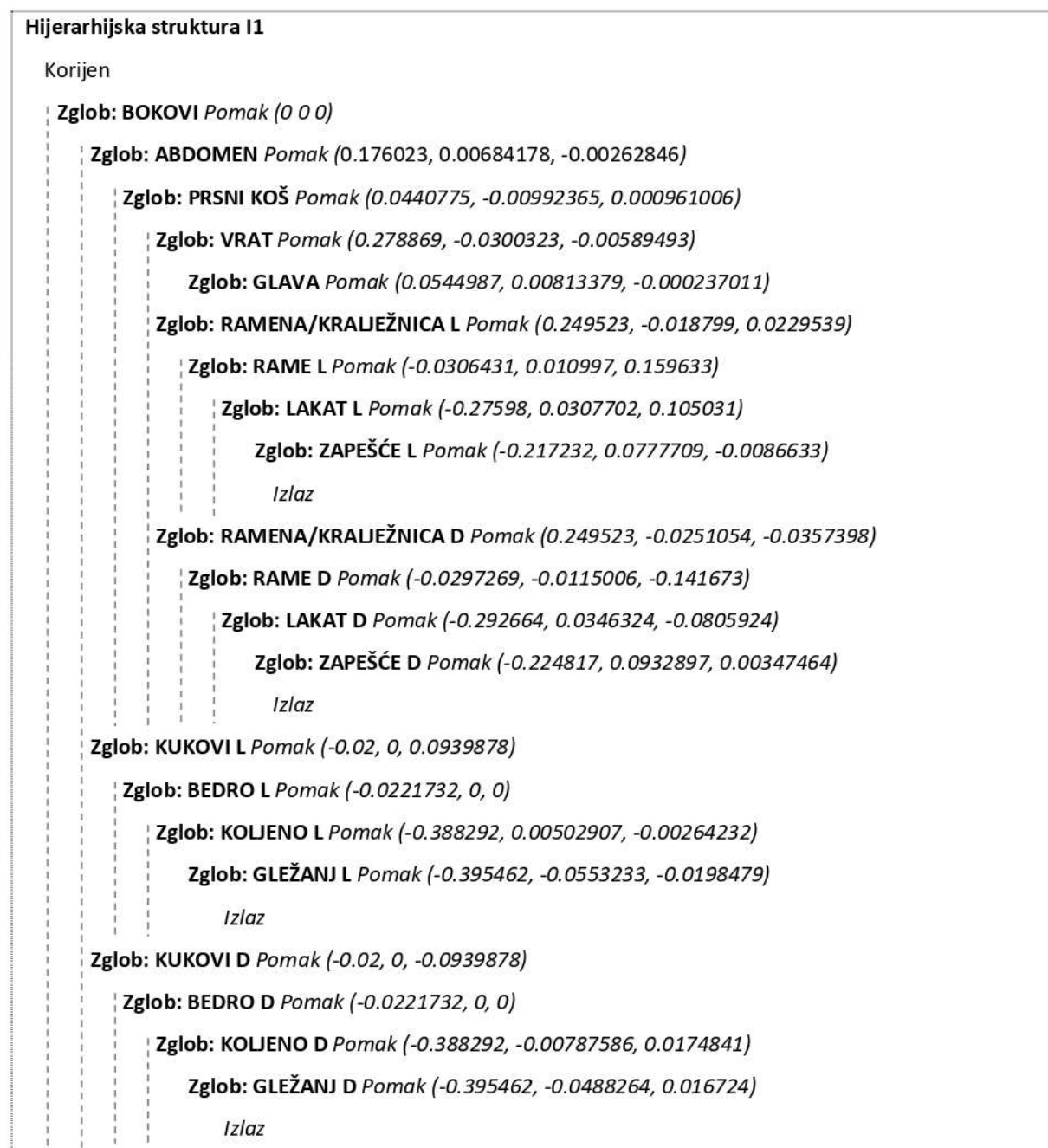


**Slika 127** Rezultati prilagodbe SMPL modela prema skeniranom 3D modelu ispitanice I3



### 4.3.2. Rezultati razvoja unutarnjeg kinematičkog modela na temelju podataka utvrđenih 3D skeniranjem

Na sl. 128 do 130, prikazane su koordinate točaka zglobova kinematičkih modela u hijerarhijskoj strukturi na temelju čega su kreirane skript datoteke za prilagodbu kinematičkih prametara unutarnjeg kostura SMPL modela tijela prema skeniranim 3D modelima tijela za tri ispitanice (I1, I2 i I3).



**Slika 128** Hijerarhijska struktura i kinematički parametri kostura kreiranog na temelju skeniranog 3D modela ispitanice I1

# Hijerarhijska struktura I2

Korijen

Zglob: BOKOVI Pomak (0 0 0)

Zglob: ABDOMEN Pomak (0.216867, 0.00637721, -0.00422829)

Zglob: PRSNI KOŠ Pomak (0.0473906, -0.00545199, -0.000892639)

Zglob: VRAT Pomak (0.288458, -0.0230493, -0.00012403)

Zglob: GLAVA Pomak (0.0644815 -0.00773611 -0.00510023)

Zglob: RAMENA/KRALJEŽNICA L Pomak (0.264181, -0.0105342, 0.0216703)

Zglob: RAME L Pomak (-0.020179, -0.0361356, 0.153519)

Zglob: LAKAT L Pomak (-0.260057, 0.0294777, 0.0765871)

Zglob: ZAPEŠĆE L Pomak (-0.234804, 0.080752, 0.0304958)

Izlaz

Zglob: RAMENA/KRALJEŽNICA D Pomak (0.264181, -0.0126112, -0.026885)

Zglob: RAME D Pomak (-0.030452, -0.0483206, -0.141926)

Zglob: LAKAT D Pomak (-0.26266, 0.00732785, -0.0779644)

Zglob: ZAPEŠĆE D Pomak (-0.235261, 0.0680601, -0.0436258)

Izlaz

Zglob: KUKOVI L Pomak (-0.02, 0, 0.112154)

Zglob: BEDRO L Pomak (-0.0222385, 0, 0)

Zglob: KOLJENO L Pomak (-0.362651, 0.00644116, -0.00814936)

Zglob: GLEŽANJ L Pomak (-0.365746, -0.0246992, 0.00248643)

Izlaz

Zglob: KUKOVI D Pomak (-0.02, 0, -0.112154)

Zglob: BEDRO D Pomak (-0.0222385, 0, 0)

Zglob: KOLJENO D Pomak (-0.362651, -0.0226225, -0.00528435)

Zglob: GLEŽANJ D Pomak (-0.365746, -0.0085347, -0.00504152)

Izlaz

**Slika 129** Hijerarhijska struktura i kinematički parametri kostura kreiranog na temelju skeniranog 3D modela ispitanice I2

## Hijerarhijska struktura I3

Korijen

Zglob: BOKOVI Pomak (0 0 0)

Zglob: ABDOMEN Pomak (0.194027, 0.0112949, 0.000153143)

Zglob: PRSNI KOŠ Pomak (0.0454763, -0.00710679, -0.000433799)

Zglob: VRAT Pomak (0.303969, -0.00457227, 0.00242906)

Zglob: GLAVA Pomak (0.0562639, 0.00233524, -0.00674595)

Zglob: RAMENA/KRALJEŽNICA L Pomak (0.277364, 0.00407223, 0.0293755)

Zglob: RAME L Pomak (-0.0387314, -0.00320309, 0.150465)

Zglob: LAKAT L Pomak (-0.247548, 0.00525267, 0.0827016)

Zglob: ZAPEŠĆE L Pomak (-0.213793, 0.0421943, 0.00579946)

Izlaz

Zglob: RAMENA/KRALJEŽNICA D Pomak (0.277364, 0.00512096, -0.0238351)

Zglob: RAME D Pomak (-0.0396548, -0.0111046, -0.155325)

Zglob: LAKAT D Pomak (-0.249044, -0.0106133, -0.0767052)

Zglob: ZAPEŠĆE D Pomak (-0.209936, 0.0319421, -0.0103528)

Izlaz

Zglob: KUKOVI L Pomak (-0.02, 0, 0.106843)

Zglob: BEDRO L Pomak (-0.0214519, 0, 0)

Zglob: KOLJENO L Pomak (-0.339461, -0.00444711, -0.0030695)

Zglob: GLEŽANJ L Pomak (-0.341159, -0.0643165, 0.00778598)

Izlaz

Zglob: KUKOVI D Pomak (-0.02 0 -0.106843)

Zglob: BEDRO D Pomak (-0.0214519, 0, 0)

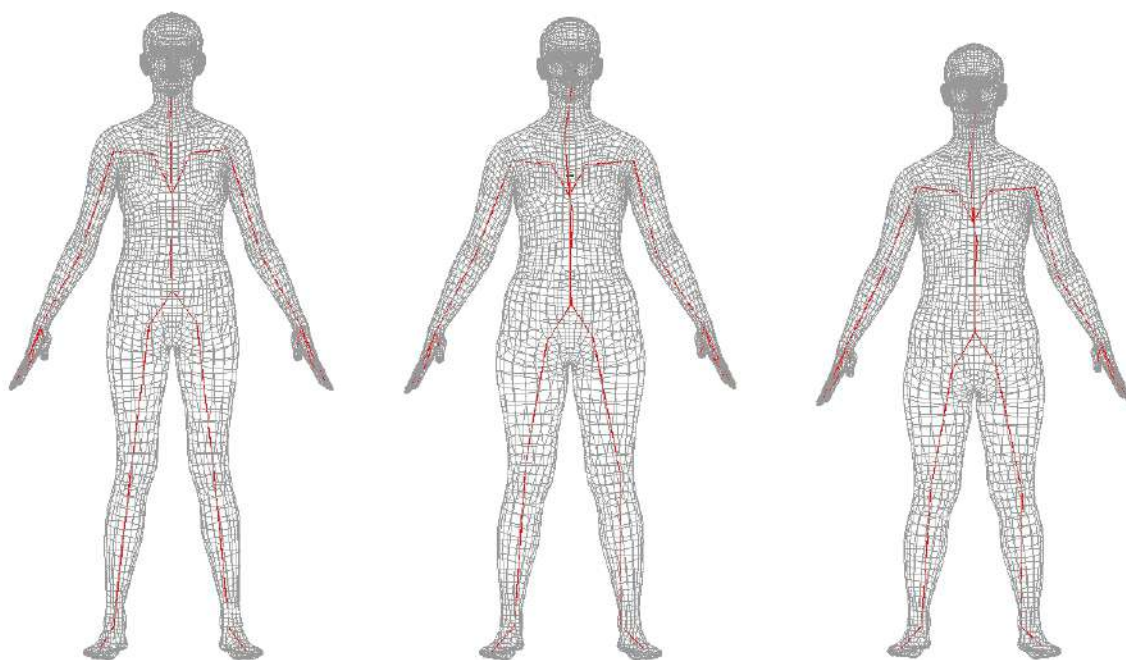
Zglob: KOLJENO D Pomak (-0.339461, -0.00521852, 0.00706249)

Zglob: GLEŽANJ D Pomak (-0.341159, -0.057553, -0.0175695)

Izlaz

**Slika 130** Hijerarhijska struktura i kinematički parametri kostura kreiranog na temelju skeniranog 3D modela ispitanice I3

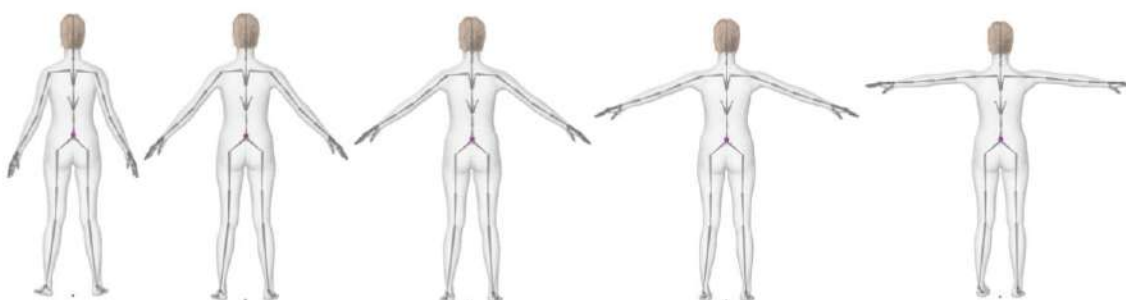
Rezultati prilagodbe kinematičkog kostura na temelju podataka utvrđenih 3D skeniranjem prikazani su na sl. 131. Povezivanjem sustava za 3D skeniranje i programa za 3D animaciju preko skript datoteka razvijenih u okviru ovog doktorskog rada, uvelike je olakšan i ubrzan postupak razvoja i prilagodbe animiranih modela tijela prilagođenih ciljanim ispitanicima.



**Slika 131** 3D modeli tijela i unutarnji kinematički kosturi prilagođeni za tri ispitanice na temelju podataka utvrđenih 3D skeniranjem

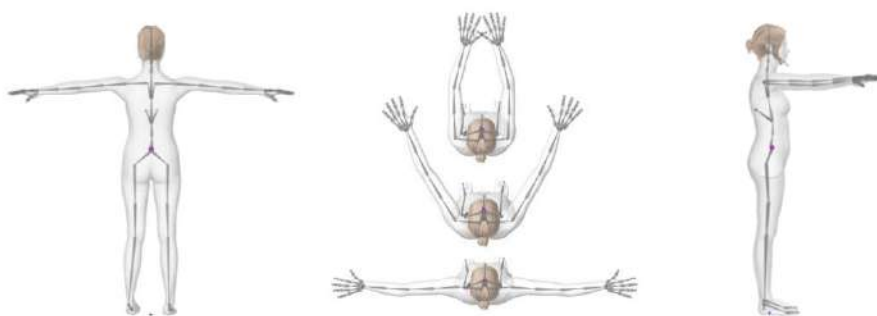
#### 4.3.3. Animacija prilagođenih modela tijela u zadanih pet pokreta

Rezultati animacije 3D modela tijela prilagođenih prema tri ispitanice prikazani su kao niz sličica modela u ključnim položajima animacije pojedinog kinematičkog lanca, sl. 132 do 136.

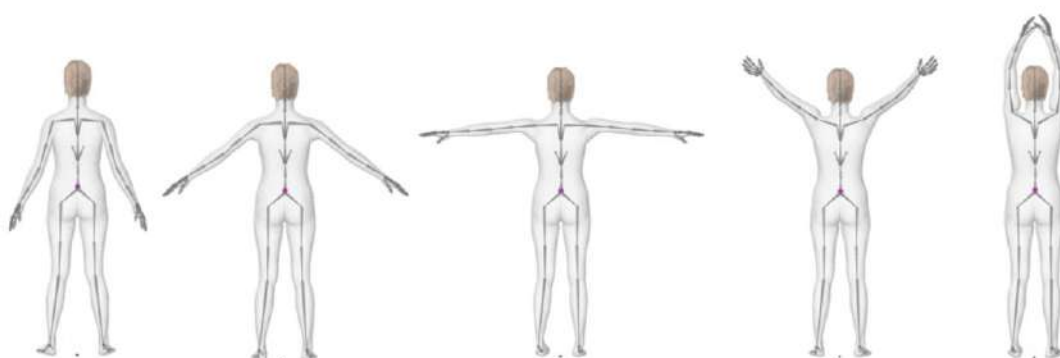


**Slika 132** Prilagođeni animirani 3D model tijela – KL 1, ispitanica I1

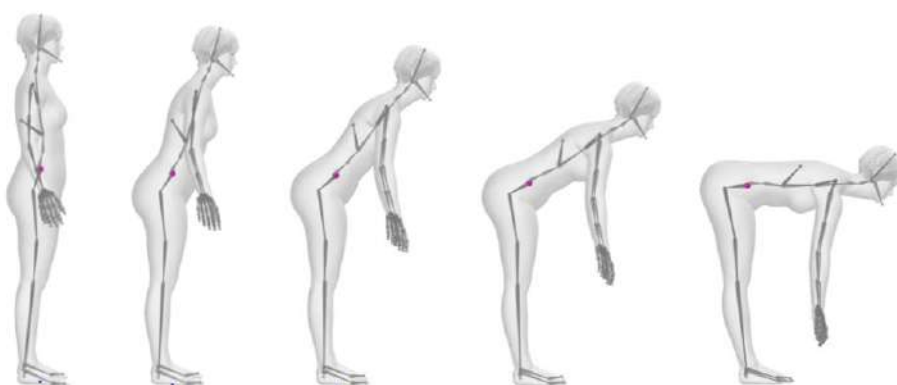




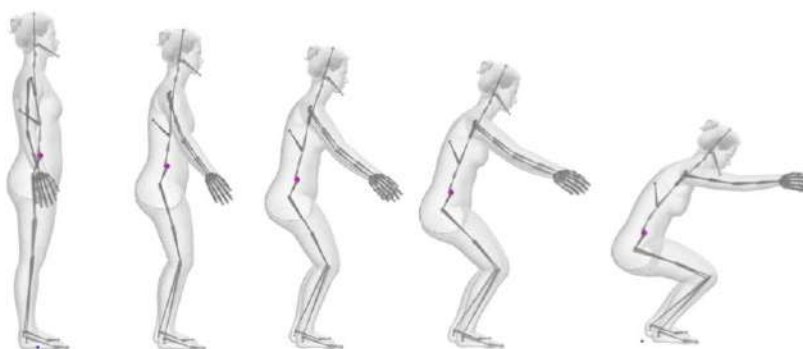
**Slika 133** Prilagođeni animirani 3D model tijela – KL 2, ispitanica I1



**Slika 134** Prilagođeni animirani 3D model tijela – KL 3, ispitanica I1



**Slika 135** Prilagođeni animirani 3D model tijela – KL 4, ispitanica I2



**Slika 136** Prilagođeni animirani 3D model tijela – KL 5, ispitanica I3

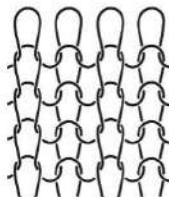
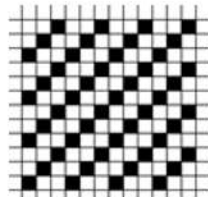
#### 4.4. Rezultati ispitivanja i analize svojstava tekstilnih materijala za 3D simulaciju

U narednim točkama prikazani su rezultati ispitivanja i analize svojstava za dva tekstilna materijala korištena u daljnjem istraživanju.

##### 4.4.1. Rezultati utvrđivanja strukturnih karakteristika i fizikalnih parametara tekstilnih materijala

Sirovinski sastav, strukturne karakteristike i parametri fizikalnih svojstava za dva tekstilna materijala, odabrana za daljnje istraživanje, prikazani su u tab. 53.

**Tablica 53** Sirovinski sastav, struktura i fizikalni parametri tekstilnih materijala za ispitivanje

|                                 | M1                                                                                                      | M2                                                                                          |              |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Sirovinski sastav               | 78% poliestersko vlakno<br>22% elastansko vlakno                                                        | 65% pamuk<br>33% poliestersko vlakno<br>2% elastansko vlakno                                |              |
| Preplet / vez                   | Desno-desno pletivo  | Keper  |              |
| Gustoća                         | nizovi / osnova                                                                                         | 14 [nizova/cm]                                                                              | 40 [niti/cm] |
|                                 | redovi / potka                                                                                          | 21 [redova/cm]                                                                              | 20 [niti/cm] |
| Plošna masa [g/m <sup>2</sup> ] | 191,76                                                                                                  | 226,58                                                                                      |              |
| Debljina [mm]                   | 0,44                                                                                                    | 0,52                                                                                        |              |

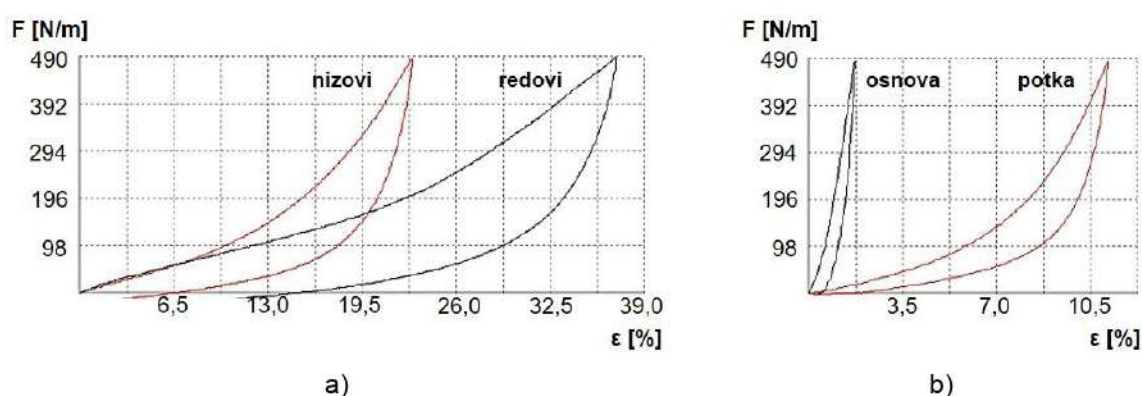
##### 4.4.2. Rezultati ispitivanja parametara mehaničkih svojstava primjenom KES sustava

U tab. 54 prikazani su parametri mehaničkih svojstava za tekstilne materijal M1 i M2, utvrđeni primjenom sustava Kawabata Evaluation System. Utvrđene vrijednosti primjenjene su u daljnjem istraživanju za razvoj i analizu računalnih 3D prototipova modela odjevnih predmeta, toč. 3.6. i 3.7. Kod materijala M1 utvrđene su veće vrijednosti parametara istezanja te manja savojna i smična krutost u odnosu na materijal M2, što je i očekivano s obzirom na sirovinski

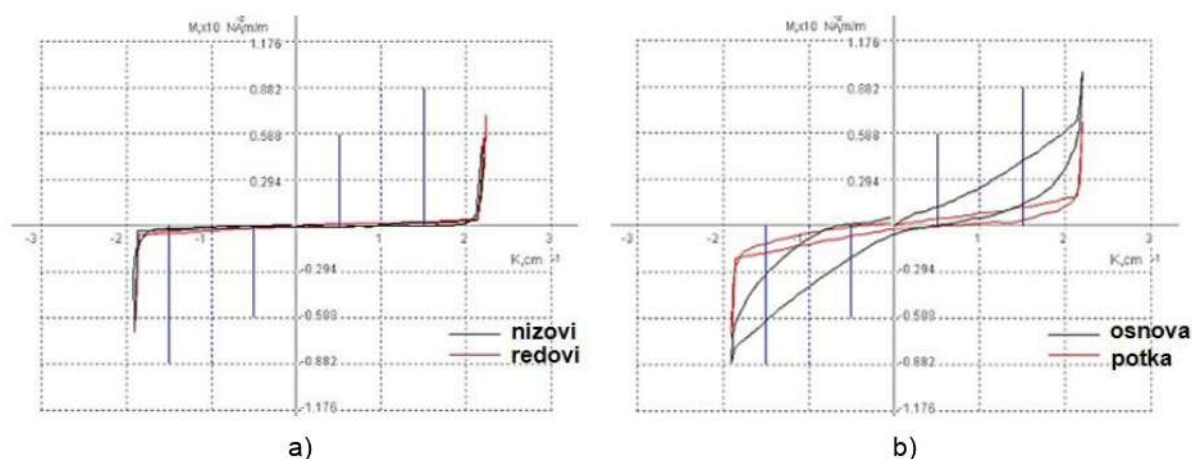
sastav i strukturne karakteristike materijala. Izražena elastična svojstva čine materijal M1 primjenjivim za izradu modela ženskog trikoa K1, obzirom da se radi o modelu koji jako prijanja uz tijelo i bez ograničenja omogućava i odražava tjelesne deformacije. Kod materijala M2 utvrđeno je veće istezanje u smjeru potke, što potvrđuje utjecaj elastanske pređe u strukturi potkinih niti. Veće istezanje u smjeru potke je poželjna karakteristika kod izrade odjeće s obzirom na izražene promjene u poprečnim dimenzijama tijela prilikom kretanja.

**Tablica 54** Tablica parametara mehaničkih svojstava utvrđenih primjenom KES sustava

| Parametri mehaničkih svojstava |                                                                        |                               | M1     | M2     |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------|--------|
| Vlačna svojstva                | Produljenje pri maksimalnom vlačnom opterećenju u smjeru osnove/nizova | $EMT-1$ [%]                   | 22,940 | 1,730  |
|                                | Produljenje pri maksimalnom vlačnom opterećenju u smjeru potke/redova  | $EMT-2$ [%]                   | 36,940 | 11,180 |
| Savojna svojstva               | Savojna krutost u smjeru osnove                                        | $B-1$ [cNcm]                  | 0,024  | 0,356  |
|                                | Savojna krutost u smjeru potke                                         | $B-2$ [cNcm]                  | 0,023  | 0,093  |
| Smična svojstva                | Smična krutost                                                         | $G$ [cN/(cm°) <sup>-1</sup> ] | 0,000  | 0,010  |
| Kompresijska svojstva          | Debljina pri predopterećenju                                           | $T0$ [mm]                     | 0,537  | 0,879  |



**Slika 137** Dijagrami vlačnih svojstava dobiveni ispitivanjem KES sustavom: a) materijal M1, b) materijal M2



Slika 138 Dijagrami savojnih svojstava dobiveni ispitivanjem KES sustavom: a) materijal M1, b) materijal M2

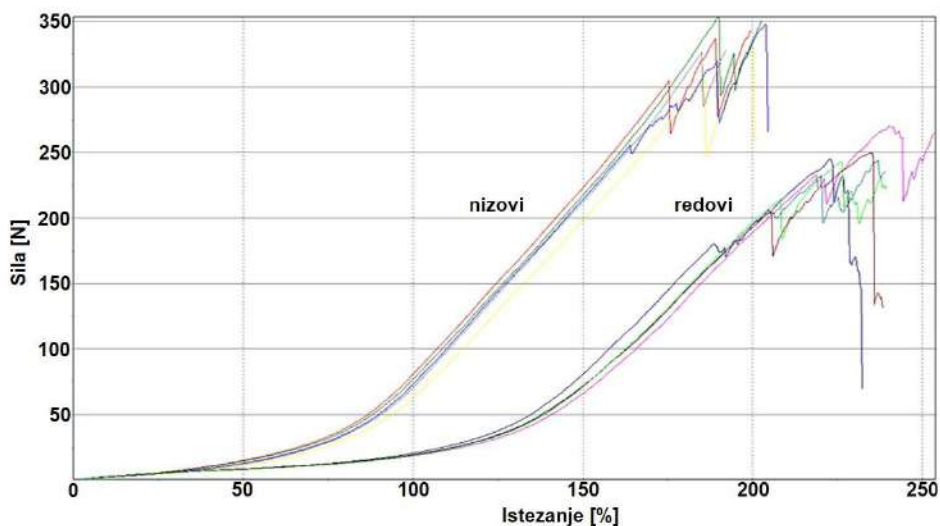
#### 4.4.3. Rezultati ispitivanja prekidne sile i prekidnog istezanja metodom trake

U tab. 55 prikazani su rezultati ispitivanja prekidne sile i prekidnog istezanja standardnom metodom trake. Utvrđene vrijednosti primjenjene su u daljnjem istraživanju za analizu računalnih 3D prototipova modela odjevnih predmeta u dinamičkim uvjetima, toč. 3.7.

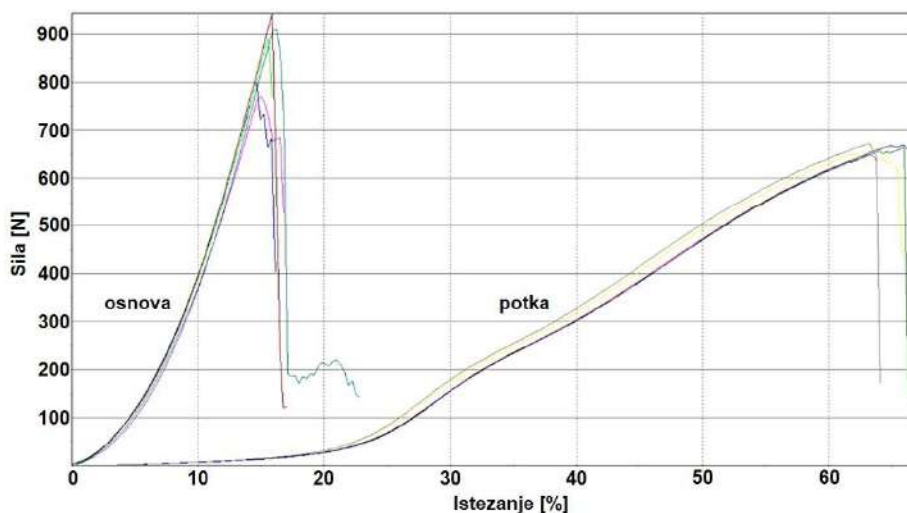
Tablica 55 Rezultati ispitivanja prekidne sile i prekidnog istezanja metodom trake

| Parametri          |                     | M1     |        | M2     |        |
|--------------------|---------------------|--------|--------|--------|--------|
|                    |                     | nizovi | redovi | osnova | potka  |
| Prekidna sila      | $F_p$ [N]           | 341,02 | 250,68 | 877,32 | 664,72 |
| Prekidno istezanje | $\varepsilon_p$ [%] | 197,04 | 232,10 | 15,50  | 64,50  |





Slika 139 Dijagram prekidne sile i prekidnog istezanja materijala M1



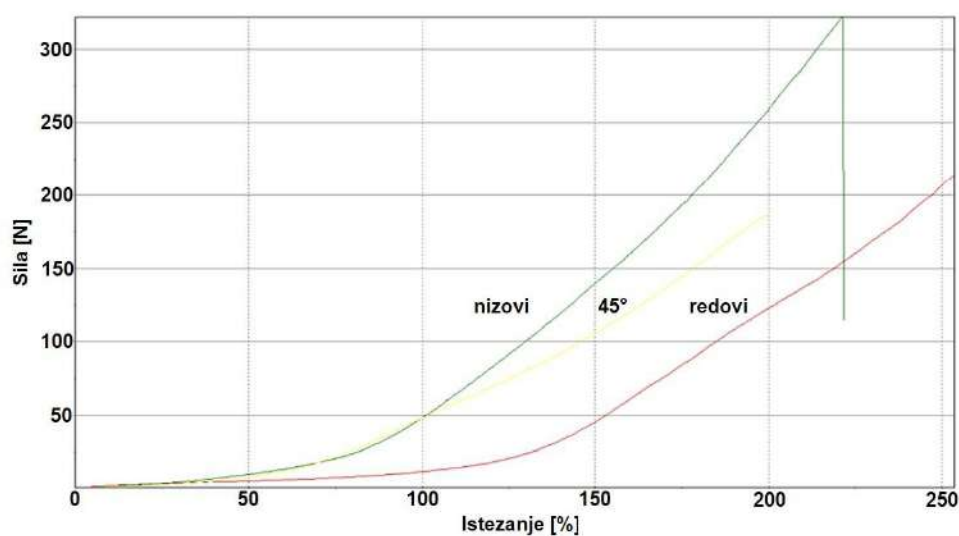
Slika 140 Dijagram prekidne sile i prekidnog istezanja materijala M2

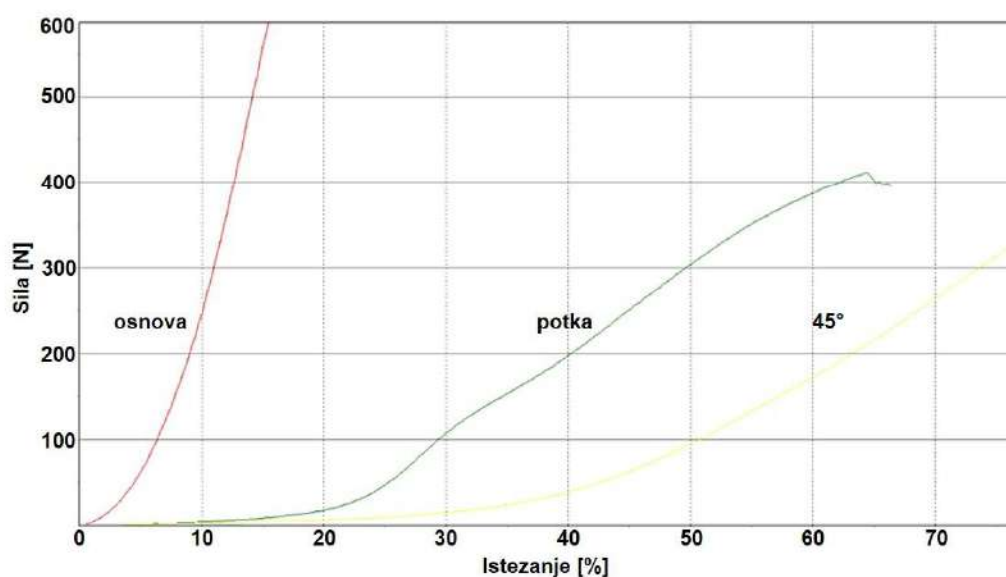
#### 4.4.4. Rezultati ispitivanja svojstava materijala metodama koje primjenjuje Fabric Kit mjerni sustav

U tab. 56 prikazani su rezultati ispitivanja vlačnih svojstava prema metodi Fabric Kit. Utvrđene vrijednosti primjenjene su u daljnjem istraživanju za 3D simulaciju i razvoj računalnih 3D prototipova modela odjevnih predmeta, točka 3.6.

**Tablica 56** Rezultati ispitivanja vlačnih svojstava Fabric Kit metodom

|                           | Sila $F_n$ [N] |        |     |        |       |      |
|---------------------------|----------------|--------|-----|--------|-------|------|
|                           | M1             |        |     | M2     |       |      |
|                           | nizovi         | redovi | 45° | osnova | potka | 45°  |
| Interval produljenja [mm] | 10,0           |        |     | 1,0    | 10,0  |      |
| Interval istežanja [%]    | 8,33           |        |     | 0,83   | 8,33  |      |
| 1.                        | 1,7            | 1,3    | 1,2 | 3,1    | 3,3   | 2,7  |
| 2.                        | 2,5            | 2,3    | 1,9 | 8,0    | 10,8  | 5,1  |
| 3.                        | 3,2            | 3,2    | 2,5 | 17,7   | 47,1  | 9,7  |
| 4.                        | 4,0            | 4,8    | 3,5 | 29,8   | 139,8 | 20,6 |
| 5.                        | 4,5            | 6,7    | 4,9 | 45,5   | 214,9 | 45,9 |


**Slika 141** Dijagram ispitivanja vlačnih svojstava prema Fabric Kit metodi - materijal M1



**Slika 142** Dijagram ispitivanja vlačnih svojstava prema Fabric Kit metodi - materijal M2

U tab. 57 prikazane su vrijednosti parametara vlačnih svojstava, odnosno vrijednosti sila potrebnih za produljenja od 1 do 5 mm, kako je definirano prema Fabric Kit metodi, a koji su očitani iz  $F/\epsilon$  dijagrama uzoraka ispitivanih standardnom metodom trake.

**Tablica 57** Vrijednosti sila potrebnih za produljenja od 1 mm do 5 mm utvrđenih iz  $F/\epsilon$  dijagrama uzoraka ispitanih standardnom metodom trake

|                           | Sila $F_n$ [N] |        |        |       |
|---------------------------|----------------|--------|--------|-------|
|                           | M1             |        | M2     |       |
|                           | nizovi         | redovi | osnova | potka |
| Interval produljenja [mm] | 10,0           |        | 1,0    | 10,0  |
| Interval istežanja [%]    | 10,0           |        | 1,0    | 10,0  |
| 1.                        | 2,6            | 2,1    | 13,1   | 7,5   |
| 2.                        | 4,3            | 3,7    | 27,7   | 30,3  |
| 3.                        | 5,9            | 5,9    | 47,4   | 165,6 |
| 4.                        | 7,2            | 8,8    | 81,8   | 310,6 |
| 5.                        | 8,1            | 12,5   | 113,4  | 480,7 |

Iz analize rezultata vidljivo je razmjerno povećanje u očitanim vrijednostima sila na standardnim uzorcima, s obzirom na različite dimenzije širine uzoraka između dviju metoda, odnosno različite širine na koje se raspoređuje djelovanje sile prilikom ispitivanja (širina uzorka kod Fabric Kit metode iznosi 3 cm, a kod standardne metode trake 5 cm), što ukazuje na mogućnost primjene parametara utvrđenih standardnom metodom ispitivanja kod definiranja i unosa vrijednosti parametara materijala za 3D simulaciju u CAD sustavu Clo3D.

U tab. 58 prikazani su parametri savojnih svojstava utvrđeni prema Fabric Kit metodi i izračunate vrijednosti savojne krutosti.

**Tablica 58** Rezultati ispitivanja savojnih svojstava Fabric Kit metodom

| Parametar |                                                  | M1     |        |     | M2     |       |     |
|-----------|--------------------------------------------------|--------|--------|-----|--------|-------|-----|
|           |                                                  | nizovi | redovi | 45° | osnova | potka | 45° |
| 1.        | Dodirna duljina savijenog uzorka s podlogom [mm] | 9      | 14     | 19  | 45     | 26    | 33  |
| 2.        | Savojna duljina uzorka [mm]                      | 28     | 30     | 30  | 52     | 36    | 41  |

U tab. 59 prikazani su rezultati ispitivanja mase materijala prema Fabric Kit metodi. Vrijednosti utvrđene vaganjem sva tri uzorka zajedno su preko dimenzija uzoraka preračunate u plošnu masu izraženu u  $\text{g/m}^2$  i uspoređene s vrijednostima utvrđenim standardnom metodom ispitivanja.

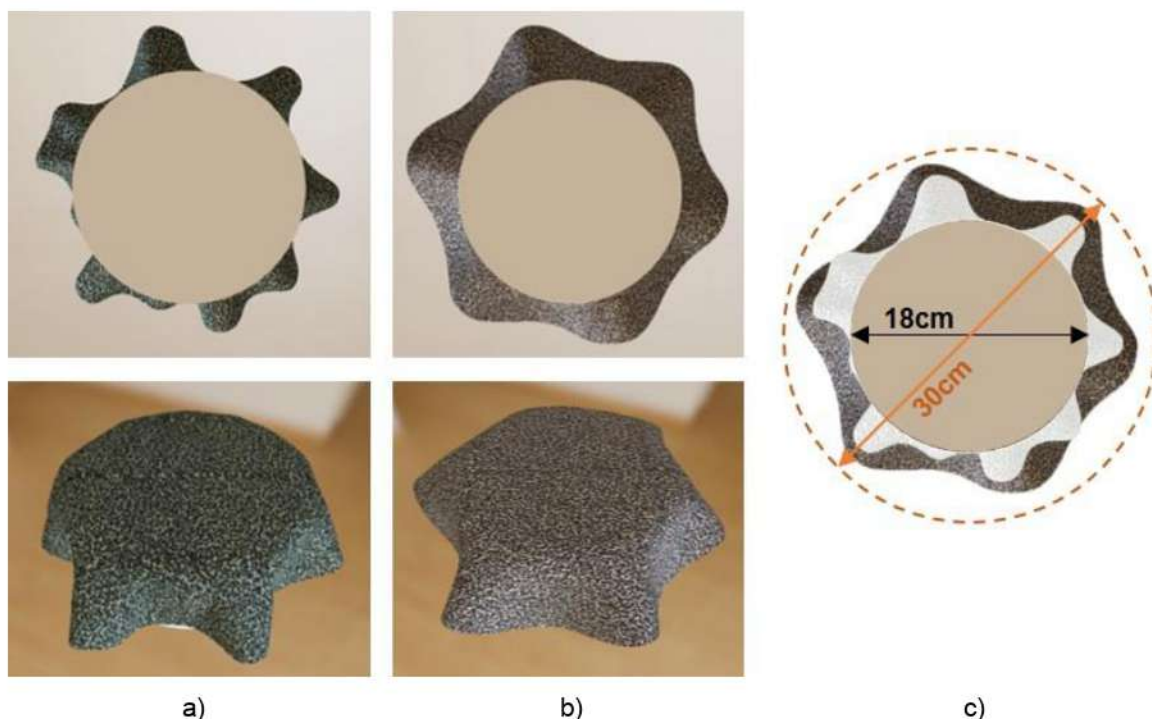
**Tablica 59** Masa materijala utvrđena prema Fabric Kit metodi

|                                             | M1     | M2     |
|---------------------------------------------|--------|--------|
| Izmjerena masa sva tri uzorka zajedno [g]   | 2,0914 | 2,4751 |
| Plošna masa [ $\text{g/m}^2$ ]              | 193,65 | 229,18 |
| Masa [ $\text{g/m}^2$ ] – standardna metoda | 191,76 | 226,58 |

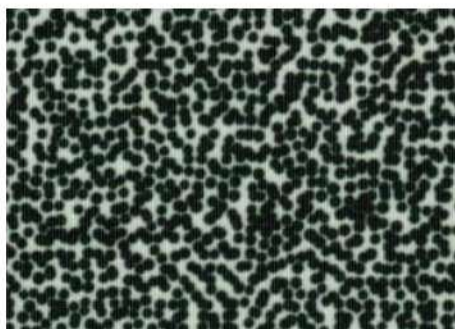


#### 4.4.5. Rezultati utvrđivanja parametara mehaničkih svojstava materijala primjenom SEDDI Textura aplikacije

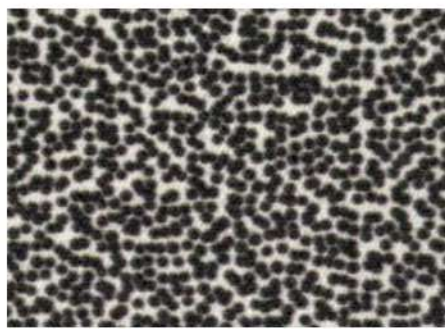
U ovoj točki prikazani su rezultati utvrđivanja parametara mehaničkih svojstava materijala primjenom SEDDI Texture AI tehnologije. Na sl. 143 prikazani su digitalni drapirani uzorci materijala M1 (slika 143a) i M2 (slika 143b), te parametri drapiranja i usporedba krivulja deformiranih uzoraka (slika 143c). Prikaz drapiranja uzorka, kao jedan od rezultata koje daje SEDDI aplikacija, koriste se za brzu vizualnu procjenu svojstava materijala. Vrijednosti pojedinog parametra mehaničkih svojstava za primjenu u CAD sustavu za 3D simulaciju odjeće Clo3D izvezene su kao tekstualne datoteke, tab. 60 i u formatu prikladnom za direktan unos u CAD sustav. Primjena parametara mehaničkih svojstava utvrđenih pomoću SEDDI Textura AI tehnologije prikazana je u točki 3.6. Na temelju skenirane površine materijala, SEDDI kreira i dodatne datoteke za definiranje površinskih parametara, poput boje i teksture, sl. 144, hrapavosti površine i prozirnosti materijala, čime se postiže realističniji izgled površine materijala kod 3D simulacije. Podaci su primjenjeni na računalnim 3D prototipovima prikazanim u toč. 4.6.



**Slika 143** Prikaz virtualnog drapiranja uzoraka materijala na temelju parametara svojstava utvrđenih SEDDI Textura AI aplikacijom: a) materijal M1, b) materijal M2, c) opis parametara drapiranja



a)



b)

**Slika 144** Prikaz boje i teksture površine materijala za aplikaciju na računalne 3D prototipove odjeće: a) materijal M1, b) materijal M2

**Tablica 60** Utvrđene vrijednosti parametara mehaničkih svojstava primjenom SEDDI Textura AI aplikacije za unos u program Clo3D

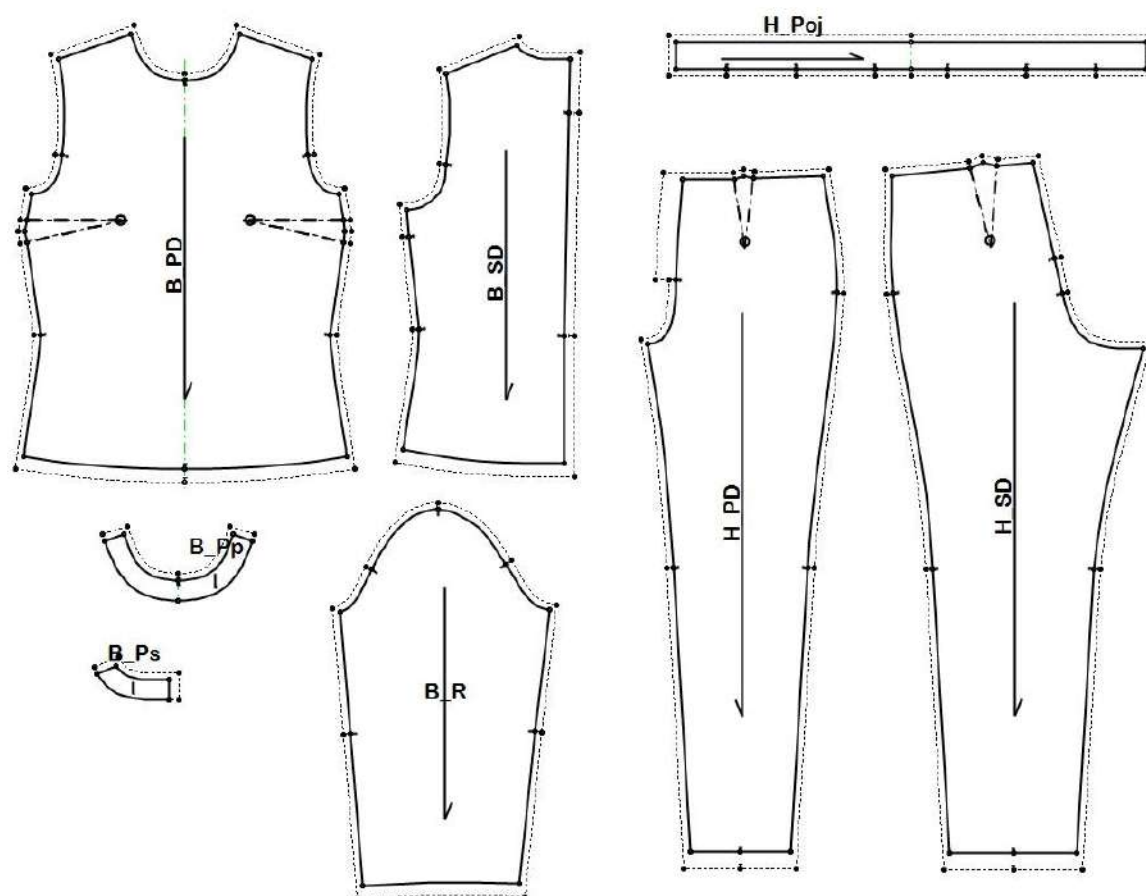
| Parametri mehaničkih svojstava SEDDI Textura aplikacije za primjenu u programu Clo3D |                                                              | M1    | M2     |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------|--------|
| Vlačna svojstva                                                                      | Naprezanje – osnova/nizovi [ $\text{g/s}^2$ ]                | 89184 | 691472 |
|                                                                                      | Naprezanje – potka/redovi [ $\text{g/s}^2$ ]                 | 54930 | 425985 |
| Smična svojstva                                                                      | Smična krutost [ $\text{g/s}^2$ ]                            | 17693 | 89210  |
| Svojna svojstva                                                                      | Svojna krutost - osnova/nizovi [ $\text{gmm}^2/\text{s}^2$ ] | 510   | 4651   |
|                                                                                      | Svojna krutost - potka/redovi [ $\text{gmm}^2/\text{s}^2$ ]  | 474   | 2578   |
|                                                                                      | Svojna krutost - 45° [ $\text{gmm}^2/\text{s}^2$ ]           | 337   | 2822   |
| Plošna masa [ $\text{g/m}^2$ ]                                                       |                                                              | 191   | 226    |
| Promjer pređe [mm]                                                                   |                                                              | 0,108 | 0,228  |

#### 4.5. Rezultati računalne konstrukcije i razvoja parametarskih krojeva modela odjevnih predmeta

U slijedećim točkama su prikazani rezultati konstrukcije krojeva i razvijeni parametarski krojevi za pet modela odjevnih predmeta korištenih u istraživanju.

#### 4.5.1. Rezultati računalne konstrukcije i modeliranja krojeva modela odjevnih predmeta

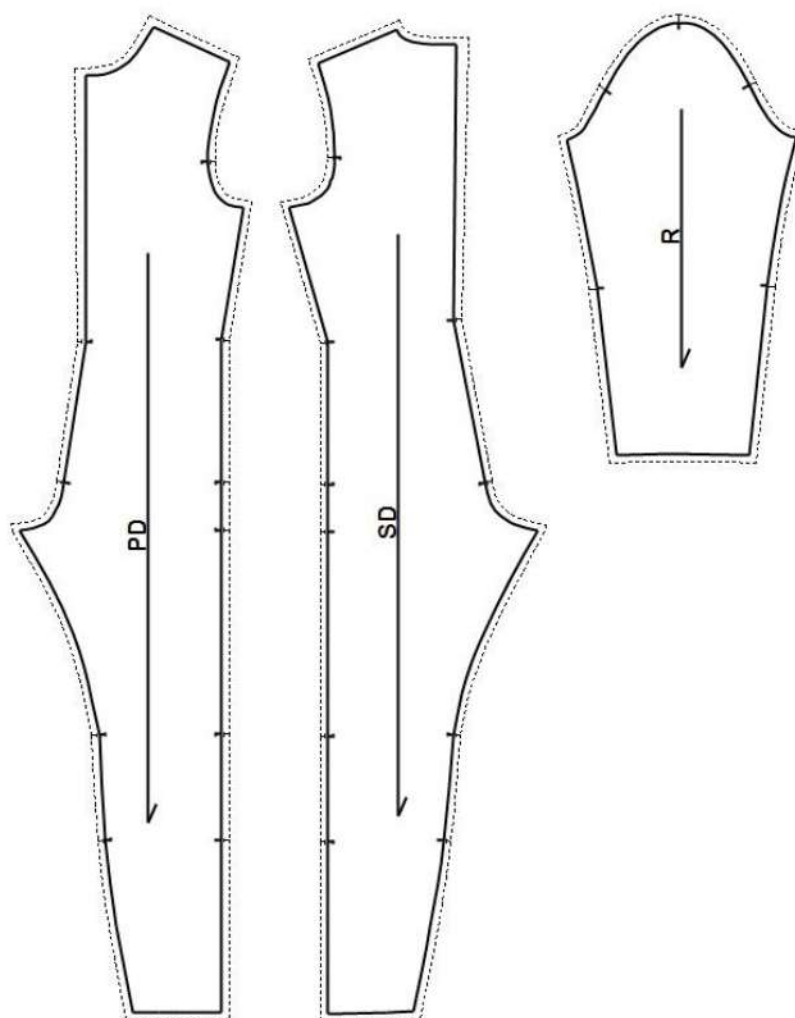
Na sl. 145, prikazani su konstruirani krojevi baznog modela ženske bluze i hlača odjevnice veličine 38.



Popis krojnih dijelova:  $B_{PD}$  – bluza prednji dio,  $B_{SD}$  – bluza stražnji dio,  $B_{Pp}$  – bluza prednji podlistak,  $B_{Ps}$  – bluza stražnji podlistak,  $B_R$  – bluza rukav,  $H_{PD}$  – hlače prednji dio,  $H_{SD}$  – hlače stražnji dio,  $H_{Poj}$  – hlače pojasnica

**Slika 145** Kroj ženske bluze i ženskih hlača odjevnice veličine 38

Na sl. 146 prikazan je kroj ženskog trikoa K1 odjevnine veličine 38.

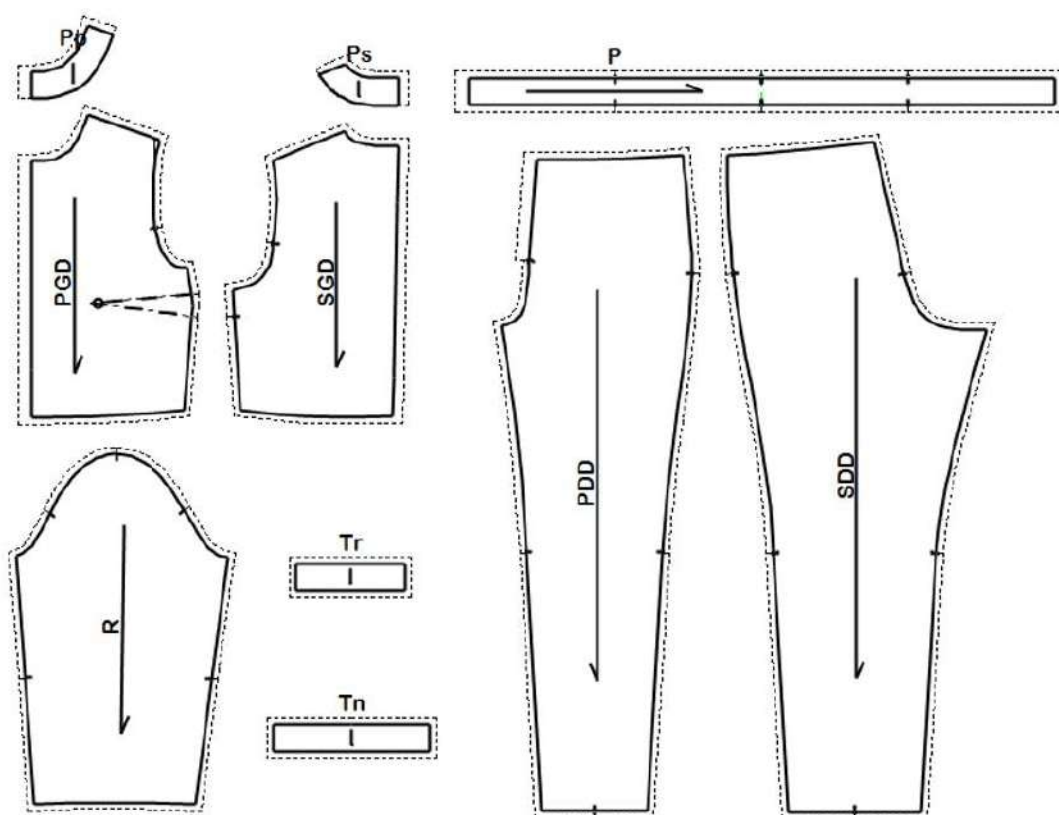


Popis krojnih dijelova: *PD* – prednji dio, *SD* – stražnji dio, *R* – rukav

**Slika 146** Kroj ženskog trikoa – model K1



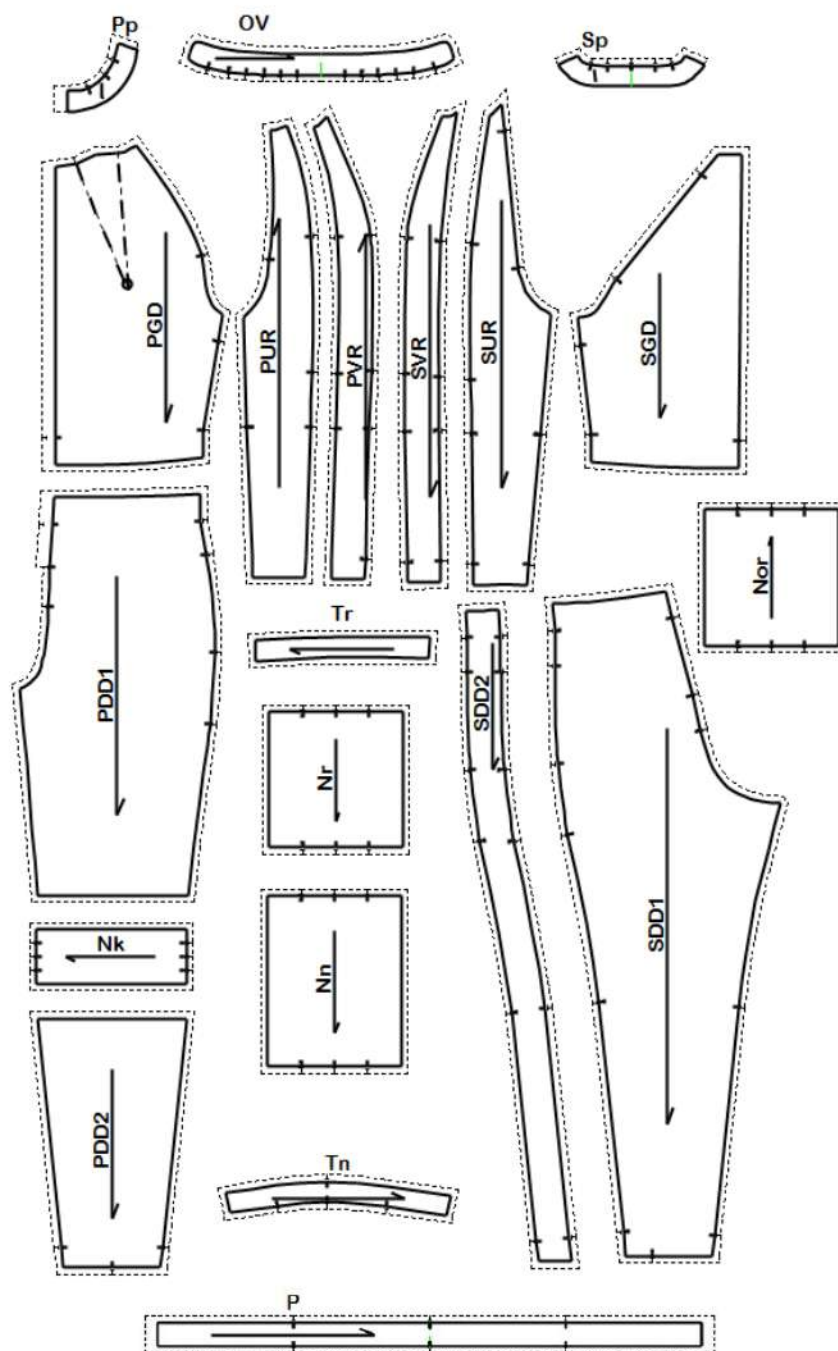
Na sl. 147 prikazan je kroj ženskog radnog kombinezona model K2 odjevne veličine 38.



Popis krojnih dijelova: *PGD* – prednji gornji dio, *SGD* – stražnji gornji dio, *Pp* – podlistak prednji, *Ps* – podlistak stražnji, *R* – rukav, *Tr* – tunel rukav, *PDD* – prednji donji dio, *SDD* – stražnji donji dio, *P* – pojasnica, *Tn* – tunel nogavica

**Slika 147** Kroj ženskog radnog kombinezona – model K2

Na sl. 148 prikazan je kroj ženskog radnog kombinezona model K3 odjevne veličine 38.

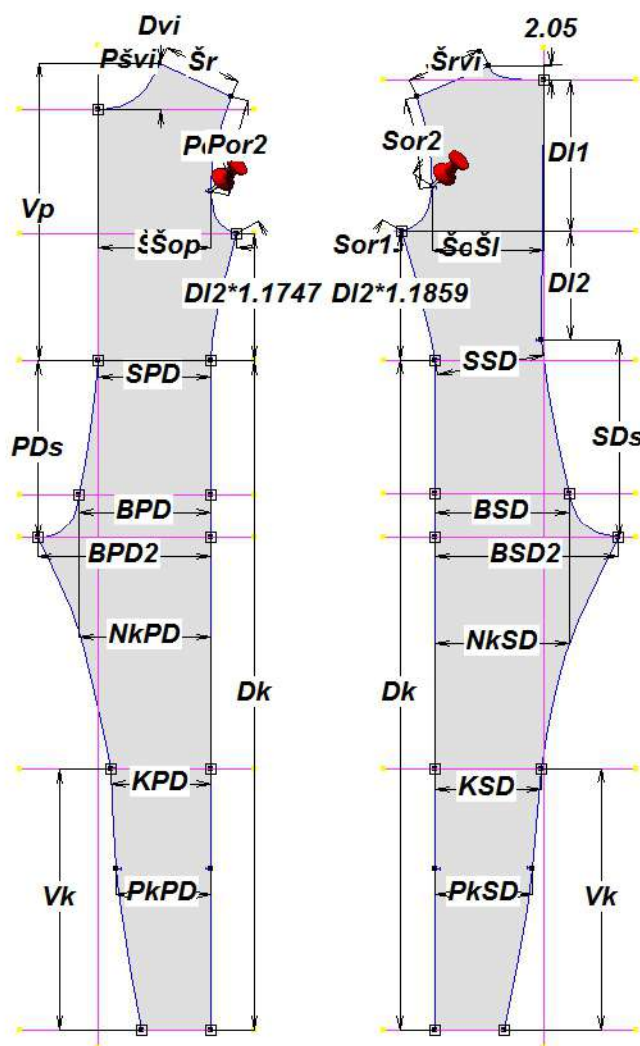


Popis krojnih dijelova: *PGD* – prednji gornji dio, *SGD* – stražnji gornji dio, *Pp* – podlistak prednji, *Ps* – podlistak stražnji, *OV* – ovratnik, *PUR* – prednji unutarnji rukav, *PVR* – prednji vanjski rukav, *SUR* – stražnji unutarnji rukav, *SVR* – stražnji vanjski rukav, *Tr* – tunel rukav, *PDD1* – prednji donji dio 1, *PDD2* – prednji donji dio 2, *SDD1* – stražnji donji dio 1, *SDD2* – stražnji donji dio 2, *P* – pojasnica, *Tn* – tunel nogavica, *Nor* – nabor orukavlje, *Nr* – nabor rukav, *Nn* – nabor nogavica, *Nk* – nabor koljeno

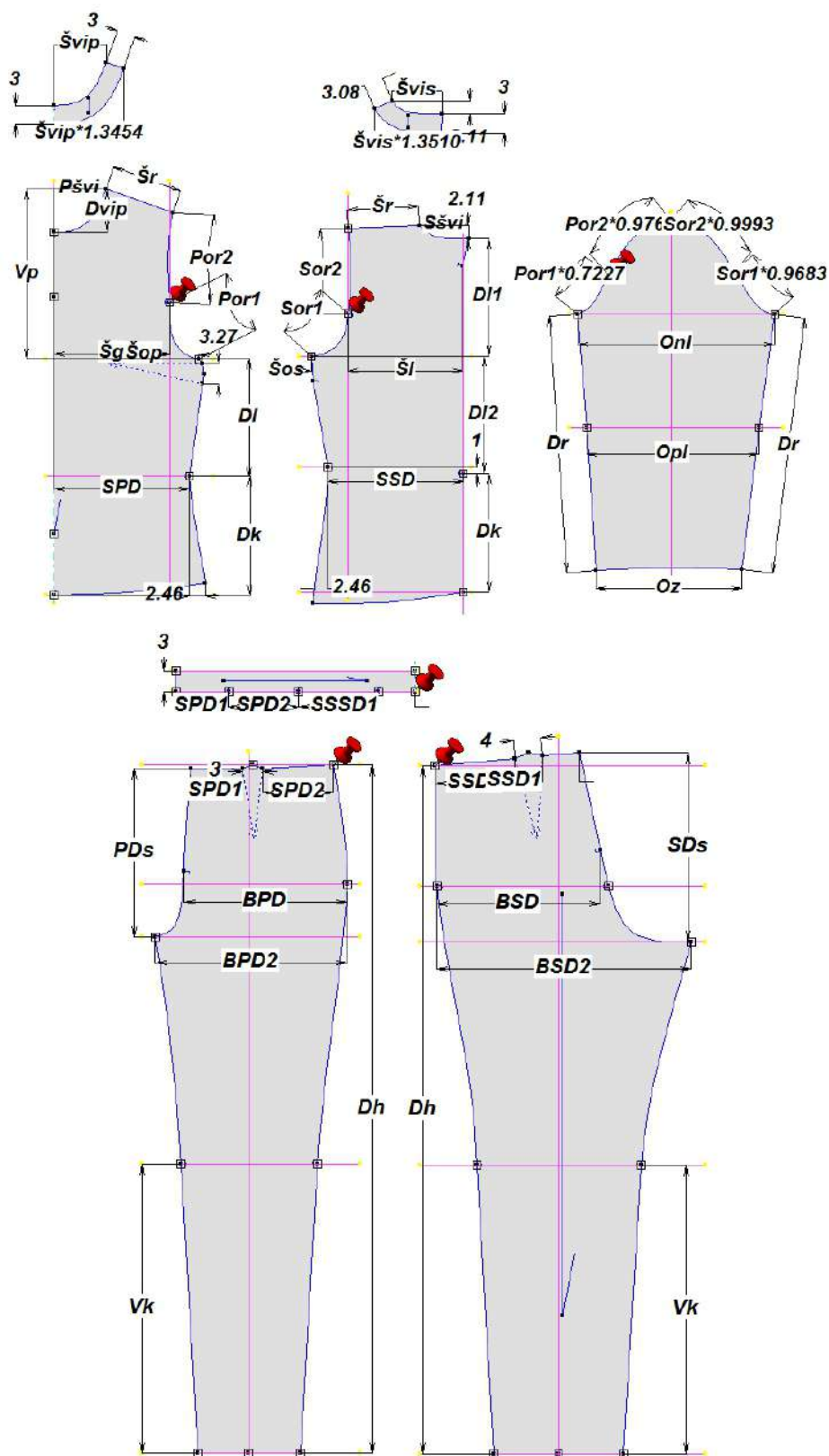
**Slika 148** Kroj ženskog radnog kombinezona – model K3

#### 4.5.2. Rezultati razvoja parametarskih krojeva za automatsku prilagodbu prema individualnim mjerama i tipovima oblika tijela

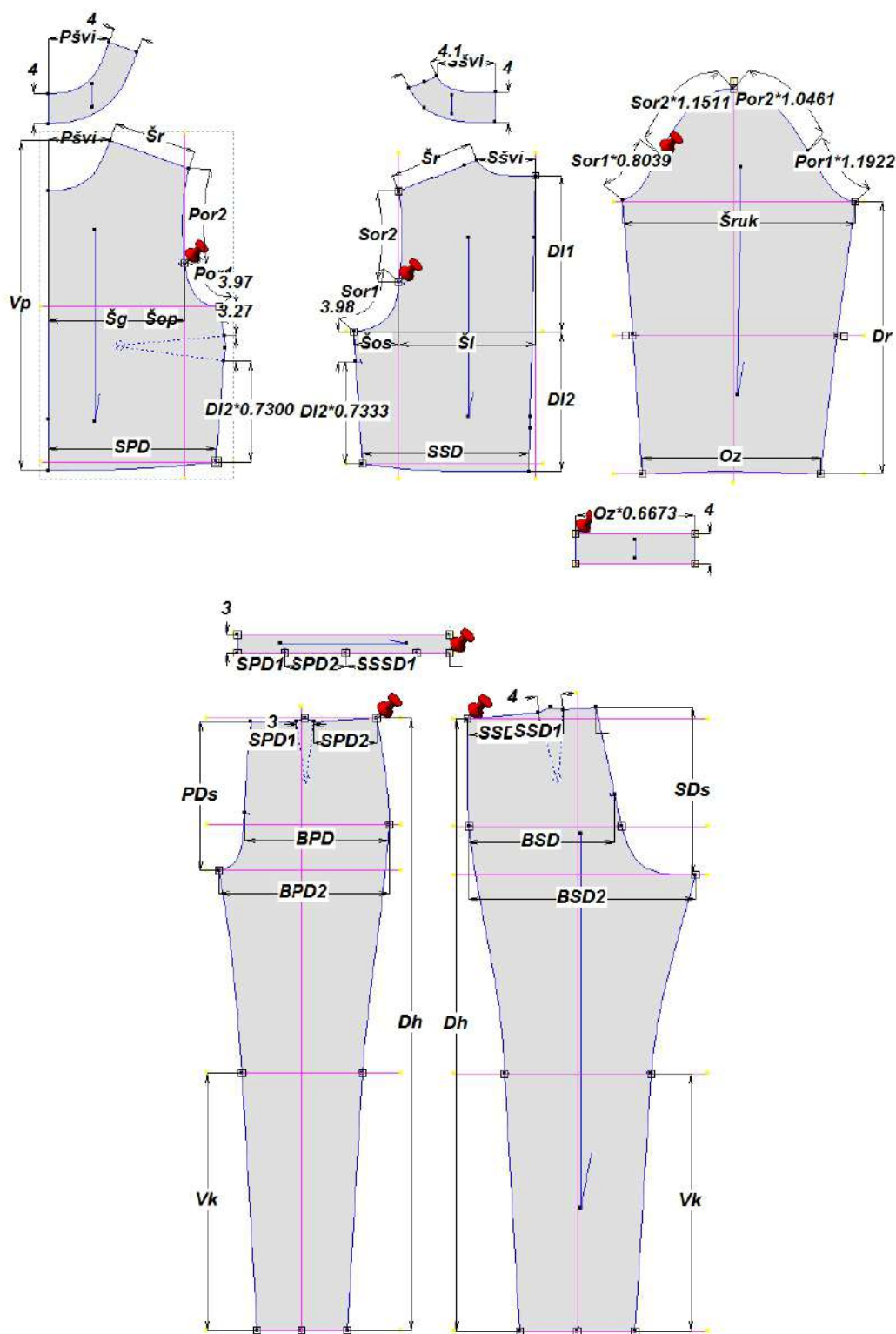
Prema prethodno opisanoj metodi, prikazanoj u toč. 3.5.2., razvijeni su parametarski krojevi modela odjevnih predmeta prikazani na sl. 149 do 152. Definirani matematički izrazi za prilagodbu dimenzija kroja prema tri različita tipa oblika tijela prikazani su u narednim točkama, zajedno s izračunom dimenzija segmenata kroja za tri odabrane ispitanice.



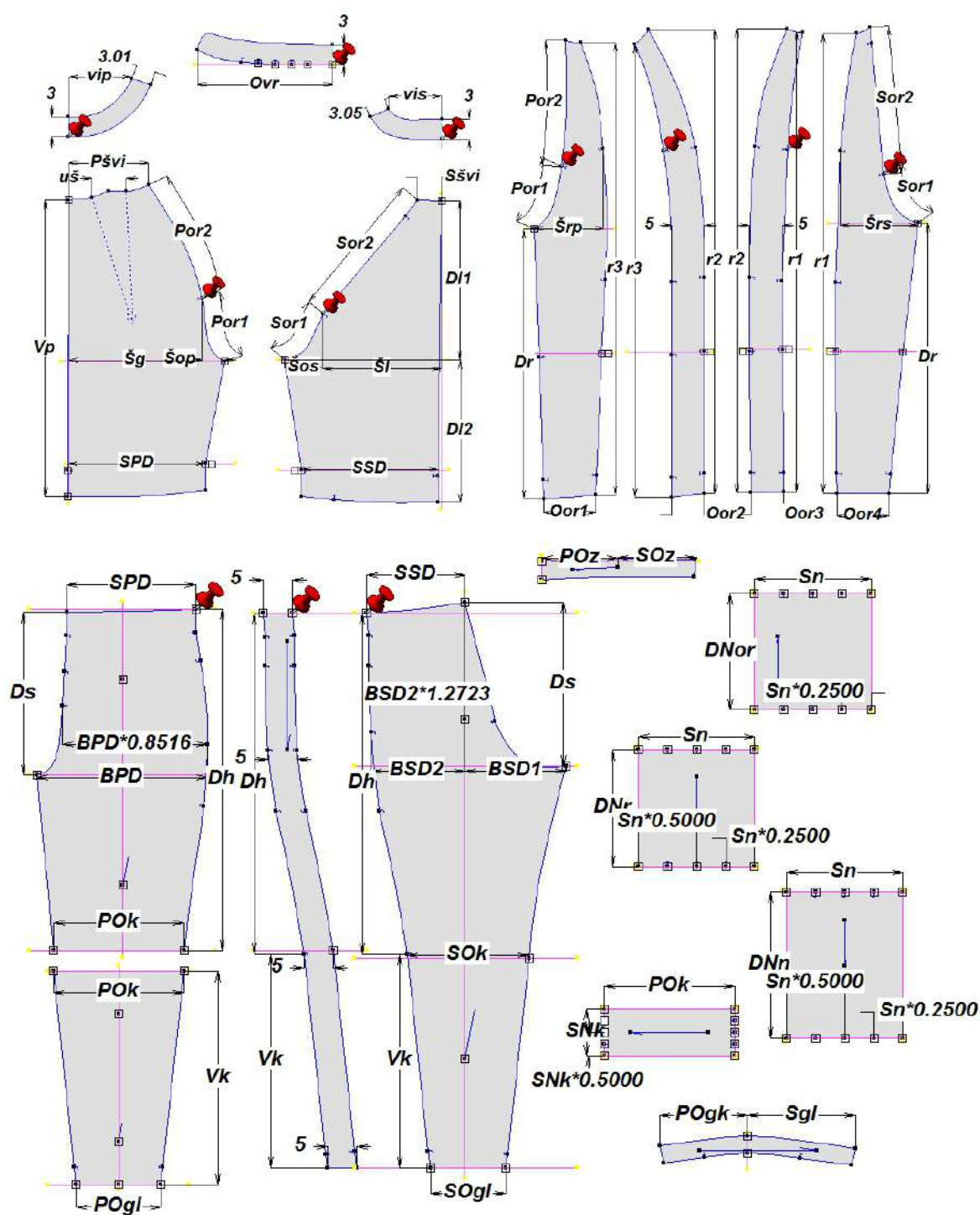
Slika 149 Parametarski kroj ženskog trikoa – model K1







Slika 151 Parametarski kroj ženskog kombinezona – model K2



**Slika 152** Parametarski kroj ženskog kombinezona – model K3

#### 4.5.2.1. Matematički izrazi za prilagodbu kroja ženskog trikoa K1

##### Tip tijela F1 – ispitanica I1:

$$Og_{kroj} = 2[(0,203 \cdot Og_{tijela} + 0,042 \cdot Og_{tijela} + 0,083 \cdot Og_{tijela} + 0,172 \cdot Og_{tijela}) \cdot k_{istezanja}] \quad (94)$$

$$Og_{kroj} = 2[(0,203 \cdot 90,3 \cdot 0,9) + (0,042 \cdot 90,3 \cdot 0,9) + (0,083 \cdot 90,3 \cdot 0,9) + (0,172 \cdot 90,3 \cdot 0,9)] = 2(16,50 + 3,41 + 6,74 + 14,00) = 81,3 \text{ cm}$$

$$Os_{kroj} = 2[(0,245 \cdot Os_{tijela} + 0,255 \cdot Os_{tijela}) \cdot k_{istezanja}] \quad (95)$$

$$Os_{kroj} = 2[(0,245 \cdot 71,1 \cdot 0,9) + (0,255 \cdot 71,1 \cdot 0,9)] = 2(15,68 + 16,32) = 64,0 \text{ cm}$$

$$Ob_{kroj} = 2[(0,24 \cdot Ob_{tijela} + 0,26 \cdot Ob_{tijela}) \cdot k_{istezanja}] \quad (96)$$

$$Ob_{kroj} = 2[(0,24 \cdot 87,5 \cdot 0,9) + (0,26 \cdot 87,5 \cdot 0,9)] = 2(18,9 + 20,48) = 78,76 \text{ cm}$$

$$Ob_{2 \text{ kroj}} = 2[(0,24 \cdot Ob_{2 \text{ tijela}} + 0,26 \cdot Ob_{2 \text{ tijela}}) \cdot k_{istezanja}] \quad (97)$$

$$Ob_{2 \text{ kroj}} = 2[(0,24 \cdot 89,2 \cdot 0,9) + (0,26 \cdot 89,2 \cdot 0,9)] = 2(19,26 + 20,87) = 80,26 \text{ cm}$$

$$Onl_{kroj} = 24,1 \cdot 0,9 = 21,69 \quad (98)$$

$$Opl_{kroj} = 21,9 \cdot 0,9 = 19,71 \quad (99)$$

$$Onk_{kroj} = 2(0,5 \cdot 50,5) \cdot 0,9 = 45,45 \text{ cm} \quad (100)$$

$$Opk_{kroj} = 2(0,5 \cdot 31,6) \cdot 0,9 = 28,44 \text{ cm} \quad (101)$$

##### Tip tijela F2 – ispitanica I2:

$$Og_{kroj} = 2[(0,208 \cdot Og_{tijela} + 0,042 \cdot Og_{tijela} + 0,083 \cdot Og_{tijela} + 0,167 \cdot Og_{tijela}) \cdot k_{istezanja}] \quad (102)$$

$$Og_{kroj} = 2[(0,208 \cdot 95,4 \cdot 0,9) + (0,042 \cdot 95,4 \cdot 0,9) + (0,083 \cdot 95,4 \cdot 0,9) + (0,167 \cdot 95,4 \cdot 0,9)] = 2(17,86 + 3,61 + 7,13 + 14,34) = 85,88 \text{ cm}$$

$$Os_{kroj} = 2[(0,25 \cdot Os_{tijela} + 0,25 \cdot Os_{tijela}) \cdot k_{istezanja}] \quad (103)$$

$$Os_{kroj} = 2[(0,25 \cdot 73,7 \cdot 0,9) + (0,25 \cdot 73,7 \cdot 0,9)] = 2(16,58 + 16,58) = 66,32 \text{ cm}$$

$$Ob_{kroj} = 2[(0,245 \cdot Ob_{tijela} + 0,255 \cdot Ob_{tijela}) \cdot k_{istezanja}] \quad (104)$$

$$Ob_{kroj} = 2[(0,245 \cdot 101,3 \cdot 0,9) + (0,255 \cdot 101,3 \cdot 0,9)] = 2(22,34 + 23,25) = 91,18 \text{ cm}$$

$$Ob_{2 \text{ kroj}} = 2[(0,245 \cdot Ob_{2 \text{ tijela}} + 0,255 \cdot Ob_{2 \text{ tijela}}) \cdot k_{istezanja}] \quad (105)$$

$$Ob_{2 \text{ kroj}} = 2[(0,245 \cdot 104,3 \cdot 0,9) + (0,255 \cdot 104,3 \cdot 0,9)] = 2(23,00 + 23,47) = 92,94 \text{ cm}$$

$$Onl_{kroj} = 28,9 \cdot 0,9 = 26,01 \quad (106)$$

$$Opl_{kroj} = 24,9 \cdot 0,9 = 22,41 \quad (107)$$

$$Onk_{kroj} = 2(0,5 \cdot 57,7) \cdot 0,9 = 51,93 \text{ cm} \quad (108)$$

$$Opk_{kroj} = 2(0,5 \cdot 37,9) \cdot 0,9 = 34,11 \text{ cm} \quad (109)$$

### **Tip tijela F3 – ispitanica I3:**

$$Og_{kroj} = 2[(0,213 \cdot Og_{tijela} + 0,042 \cdot Og_{tijela} + 0,083 \cdot Og_{tijela} + 0,162 \cdot Og_{tijela}) \cdot k_{istezanja}] \quad (110)$$

$$Og_{kroj} = 2[(0,213 \cdot 91,6 \cdot 0,9) + (0,042 \cdot 91,6 \cdot 0,9) + (0,083 \cdot 91,6 \cdot 0,9) + (0,162 \cdot 91,6 \cdot 0,9)] = 2(17,56 + 3,46 + 6,84 + 13,36) = 82,44 \text{ cm}$$

$$Os_{kroj} = 2[(0,25 \cdot Os_{tijela} + 0,25 \cdot Os_{tijela}) \cdot k_{istezanja}] \quad (111)$$

$$Os_{kroj} = 2[(0,25 \cdot 72,3 \cdot 0,9) + (0,25 \cdot 72,3 \cdot 0,9)] = 2(16,27 + 16,27) = 65,08 \text{ cm}$$

$$Ob_{kroj} = 2[(0,235 \cdot Ob_{tijela} + 0,265 \cdot Ob_{tijela}) \cdot k_{istezanja}] \quad (112)$$

$$Ob_{kroj} = 2[(0,235 \cdot 97,4 \cdot 0,9) + (0,265 \cdot 97,4 \cdot 0,9)] = 2(20,6 + 23,23) = 87,66 \text{ cm}$$

$$Ob_{2 \text{ kroj}} = 2[(0,235 \cdot Ob_{2 \text{ tijela}} + 0,265 \cdot Ob_{2 \text{ tijela}}) \cdot k_{istezanja}] \quad (113)$$

$$Ob_{2 \text{ kroj}} = 2[(0,235 \cdot 98,4 \cdot 0,9) + (0,265 \cdot 98,4 \cdot 0,9)] = 2(20,82 + 23,47) = 88,58 \text{ cm}$$

$$Onl_{kroj} = 28,0 \cdot 0,9 = 25,20 \quad (114)$$

$$Opl_{kroj} = 23,8 \cdot 0,9 = 21,42 \quad (115)$$

$$Onk_{kroj} = 2(0,5 \cdot 55,2) \cdot 0,9 = 49,68 \text{ cm} \quad (116)$$

$$Opk_{kroj} = 2(0,5 \cdot 34,0) \cdot 0,9 = 30,60 \text{ cm} \quad (117)$$

### **4.5.2.2. Matematički izrazi za prilagodbu krojeva modela ženske bluze, hlača i radnog kombinezona K2**

### **Tip tijela F1 – ispitanica I1:**

$$Og_{kroj} = 2[(0,203 \cdot Og_{tijela} + 0,25 \cdot D_{komocija}) + (0,042 \cdot Og_{tijela}) + (0,083 \cdot Og_{tijela}) + (0,172 \cdot Og_{tijela} + 0,25 \cdot D_{komocija})] \quad (118)$$

$$Og_{kroj} = 2[(0,203 \cdot 90,3 + 1,5) + (0,042 \cdot 90,3) + (0,083 \cdot 90,3) + (0,172 \cdot 90,3 + 1,5)] = 2(18,33 + 1,5 + 3,79 + 7,49 + 15,53 + 1,5) = 96,28 \text{ cm}$$

$$Os_{kroj} = 2[0,245(Os + D_{nabiranje}) + 0,255(Os + D_{nabiranje})] \quad (119)$$

$$Os_{kroj} = 2[0,245(71,1 + 16) + 0,255(71,1 + 16)] = 2[21,39 + 22,27] = 87,32 \text{ cm}$$

$$Ob_{kroj} = 2[0,24(Ob + D_{komocija}) + 0,26(Ob + D_{komocija})] \quad (120)$$

$$Ob_{kroj} = 2[0,24(87,5 + 6) + 0,26(87,5 + 6)] = 2(22,44 + 24,31) = 93,5 \text{ cm}$$

$$Ob_{2 \text{ kroj}} = 2[0,24(Ob_{2 \text{ tijela}} + D_{komocija}) + 0,26(Ob_{2 \text{ tijela}} + D_{komocija})] \quad (121)$$



$$Ob_{2\text{ kroj}} = 2[0,24(89,2 + 6) + 0,26(89,2 + 6)] = 2(22,85 + 24,75) = 95,2 \text{ cm}$$

### **Tip tijela F2 – ispitanica I2:**

$$Og_{\text{kroj}} = 2[(0,208 \cdot Og_{\text{tijela}} + 0,25 \cdot D_{\text{komocija}}) + (0,042 \cdot Og_{\text{tijela}}) + (0,083 \cdot Og_{\text{tijela}}) + (0,167 \cdot Og_{\text{tijela}} + 0,25 \cdot D_{\text{komocija}})] \quad (122)$$

$$Og_{\text{kroj}} = 2[(0,208 \cdot 95,4 + 1,5) + (0,042 \cdot 95,4) + (0,083 \cdot 95,4) + (0,167 \cdot 95,4 + 1,5)] = 2(19,84 + 1,5 + 4,01 + 7,92 + 15,93 + 1,5) = 101,4 \text{ cm}$$

$$Os_{\text{kroj}} = 2[0,25(Os + D_{\text{nabiranje}}) + 0,25(Os + D_{\text{nabiranje}})] \quad (123)$$

$$Os_{\text{kroj}} = 2[0,25(73,7 + 16) + 0,25(73,7 + 16)] = 2[22,43 + 22,43] = 89,7 \text{ cm}$$

$$Ob_{\text{kroj}} = 2[0,245(Ob + D_{\text{komocija}}) + 0,255(Ob + D_{\text{komocija}})] \quad (124)$$

$$Ob_{\text{kroj}} = 2[0,245(101,3 + 6) + 0,255(101,3 + 6)] = 2(26,29 + 27,36) = 107,3 \text{ cm}$$

$$Ob_{2\text{ kroj}} = 2[0,245(Ob_{2\text{ tijela}} + D_{\text{komocija}}) + 0,255(Ob_{2\text{ tijela}} + D_{\text{komocija}})] \quad (125)$$

$$Ob_{2\text{ kroj}} = 2[0,245(104,3 + 6) + 0,255(104,3 + 6)] = 2(27,02 + 28,13) = 110,3 \text{ cm}$$

### **Tip tijela F3 – ispitanica I3:**

$$Og_{\text{kroj}} = 2[(0,213 \cdot Og_{\text{tijela}} + 0,25 \cdot D_{\text{komocija}}) + (0,042 \cdot Og_{\text{tijela}}) + (0,083 \cdot Og_{\text{tijela}}) + (0,162 \cdot Og_{\text{tijela}} + 0,25 \cdot D_{\text{komocija}})] \quad (126)$$

$$Og_{\text{kroj}} = 2[0,213 \cdot 91,6 + 1,5) + (0,042 \cdot 91,6) + (0,083 \cdot 91,6) + (0,162 \cdot 91,6 + 1,5)] = 2(19,51 + 1,5 + 3,85 + 7,6 + 14,94 + 1,5) = 97,8 \text{ cm}$$

$$Os_{\text{kroj}} = 2[0,25(Os + D_{\text{nabiranje}}) + 0,25(Os + D_{\text{nabiranje}})] \quad (127)$$

$$Os_{\text{kroj}} = 2[0,25(72,3 + 16) + 0,25(72,3 + 6)] = 2(22,06 + 22,06) = 88,3 \text{ cm}$$

$$Ob_{\text{kroj}} = 2[0,235(Ob + D_{\text{komocija}}) + 0,265(Ob + D_{\text{komocija}})] \quad (128)$$

$$Ob_{\text{kroj}} = 2[0,235(97,4 + 6) + 0,265(97,4 + 6)] = 2(24,30 + 27,40) = 103,4 \text{ cm}$$

$$Ob_{2\text{ kroj}} = 2[0,235(Ob_{2\text{ tijela}} + D_{\text{komocija}}) + 0,265(Ob_{2\text{ tijela}} + D_{\text{komocija}})] \quad (129)$$

$$Ob_{2\text{ kroj}} = 2[0,235(98,4 + 6) + 0,265(98,4 + 6)] = 2(24,53 + 27,67) = 104,4 \text{ cm}$$

### 4.5.2.3. Matematički izrazi za prilagodbu kroja ženskog radnog kombinezona K3

#### Tip tijela F1 – ispitanica I1:

$$Og_{kroj} = 2[(0,203 \cdot Og_{tijela} + 0,25 \cdot D_{komocija}) + (0,042 \cdot Og_{tijela}) + (0,083 \cdot Og_{tijela}) + (0,086 \cdot Og_{tijela} \cdot fd + 0,125 \cdot D_{komocija}) + (0,086 \cdot Og_{tijela} + 0,125 \cdot D_{komocija})] \quad (130)$$

$$Og_{kroj} = 2[0,203 \cdot 90,3 + 1,5) + (0,042 \cdot 90,3) + (0,083 \cdot 90,3) + (0,086 \cdot 90,3 \cdot 1,345 + 0,75) + (0,086 \cdot 90,3 + 0,75)] = 2(19,84 + 3,79 + 7,49 + 11,20 + 8,52) = 101,68 \text{ cm} \Rightarrow 11,38 \text{ cm ukupne komocije}$$

$$Ob_{kroj} = 2[0,24(Ob_{tijela} + D_{komocija}) + (fd \cdot 0,13 \cdot Ob_{tijela} + 0,13 \cdot D_{komocija}) + 0,13(Ob_{tijela} + D_{komocija})] \quad (131)$$

$$Ob_{kroj} = 2[(0,24 \cdot 87,5 + 1,44) + (1,192 \cdot 11,37 + 0,78) + (11,37 + 0,78)] = 2(22,44 + 14,33 + 12,15) = 97,84 \text{ cm} \Rightarrow 10,34 \text{ cm ukupne komocije}$$

$$Ob_{2kroj} = 2[0,24(Ob_{2tijela} + D_{komocija}) + (fd \cdot 0,13 \cdot Ob_{2tijela} + 0,13 \cdot D_{komocija}) + 0,13(Ob_{2tijela} + D_{komocija})] \quad (132)$$

$$Ob_{2kroj} = 2[(0,24 \cdot 89,2 + 1,44) + (1,192 \cdot 11,60 + 0,78) + (11,60 + 0,78)] = 2(22,85 + 14,61 + 12,38) = 99,68 \text{ cm} \Rightarrow 10,48 \text{ cm ukupne komocije}$$

$$Ds_{kroj} = (Ds_{tijela} + 2) \cdot fd \quad (133)$$

$$Ds_{kroj} = (29,0 + 2) \cdot 1,08 = 33,48 \text{ cm} \Rightarrow 2,48 \text{ cm dodatnog produljenja}$$

$$Dl_{2kroj} = (Dl_{2tijela} + 2) \cdot fd \quad (134)$$

$$Dl_{2kroj} = (13,0 + 2) \cdot 1,08 = 16,20 \text{ cm} \Rightarrow 1,20 \text{ cm dodatnog produljenja}$$

#### Tip tijela F2 – ispitanica I2:

$$Og_{kroj} = 2[(0,208 \cdot Og_{tijela} + 0,25 \cdot D_{komocija}) + (0,042 \cdot Og_{tijela}) + (0,083 \cdot Og_{tijela}) + (0,084 \cdot Og_{tijela} \cdot fd + 0,125 \cdot D_{komocija}) + (0,084 \cdot Og_{tijela} + 0,125 \cdot D_{komocija})] \quad (135)$$

$$Og_{kroj} = 2[(0,208 \cdot 95,4 + 1,5) + (0,042 \cdot 95,4) + (0,083 \cdot 95,4) + (0,084 \cdot 95,4 \cdot 1,364 + 0,75) + (0,084 \cdot 95,4 + 0,75)] = 2(21,35 + 4,01 + 7,92 + 11,68 + 8,76) = 107,44 \text{ cm} \Rightarrow 12,04 \text{ cm} \quad (136)$$

$$Ob_{kroj} = 2[0,245(Ob_{tijela} + D_{komocija}) + (fd \cdot 0,1275 \cdot Ob_{tijela} + 0,1275 \cdot D_{komocija}) + 0,1275(Ob_{tijela} + D_{komocija})] \quad (137)$$

$$\begin{aligned}
 Ob_{kroj} &= 2[(0,245 \cdot 101,3 + 1,47) + (1,186 \cdot 12,92 + 0,765) + (12,92 + 0,765)] = \\
 &2(26,29 + 16,09 + 13,68) = 112,12 \text{ cm} \Rightarrow 10,82 \text{ cm ukupne komocije} \\
 Ob_{2kroj} &= 2[0,245(Ob_{2tijela} + D_{komocija}) + (fd \cdot 0,1275 \cdot Ob_{2tijela} + 0,1275 \cdot D_{komocija}) + \\
 &0,1275(Ob_{2tijela} + D_{komocija})] \quad (138)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Ob_{2kroj} &= 2[(0,245 \cdot 104,3 + 1,47) + (1,186 \cdot 13,30 + 0,765) + (13,30 + 0,765)] = \\
 &2(27,02 + 16,54 + 14,06) = 115,25 \text{ cm} \Rightarrow 10,95 \text{ cm ukupne komocije} \\
 Ds_{kroj} &= (Ds_{tijela} + 2) \cdot fd \quad (139)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Ds_{kroj} &= (30,8 + 2) \cdot 1,08 = 35,42 \text{ cm} \Rightarrow 2,64 \text{ cm produljenja} \\
 Dl_{2kroj} &= (Dl_{2tijela} + 2) \cdot fd \quad (140)
 \end{aligned}$$

$$Dl_{2kroj} = (15,9 + 2) \cdot 1,08 = 19,33 \text{ cm} \Rightarrow 1,43 \text{ cm dodatnog produljenja}$$

### **Tip tijela F3 – ispitanica I3:**

$$\begin{aligned}
 Og_{kroj} &= 2[(0,203 \cdot Og_{tijela} + 0,25 \cdot D_{komocija}) + (0,042 \cdot Og_{tijela}) + (0,083 \cdot Og_{tijela}) + \\
 &+ (0,086 \cdot Og_{tijela} \cdot fd + 0,125 \cdot D_{komocija}) + (0,086 \cdot Og_{tijela} + 0,125 \cdot \\
 &\cdot D_{komocija})] \quad (141)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Og_{kroj} &= 2[0,213 \cdot 91,6 + 1,5) + (0,042 \cdot 91,6) + (0,083 \cdot 91,6) + (0,081 \cdot 91,6 \cdot 1,310 + \\
 &0,75) + (0,081 \cdot 91,6 + 0,75)] = 2(21,01 + 3,85 + 7,60 + 10,5 + 8,17) = \\
 &102,26 \text{ cm} \Rightarrow 10,66 \text{ cm ukupne komocije} \quad (142)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Ob_{kroj} &= 2[0,235(Ob_{tijela} + D_{komocija}) + (fd \cdot 0,1325 \cdot Ob_{tijela} + 0,1325 \cdot D_{komocija}) + \\
 &0,1325(Ob_{tijela} + D_{komocija})] \quad (143)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Ob_{kroj} &= 2[(0,235 \cdot 97,4 + 1,41) + (1,161 \cdot 12,91 + 0,795) + (12,91 + 0,795)] = \\
 &2(24,30 + 15,78 + 13,71) = 107,58 \text{ cm} \Rightarrow 10,18 \text{ cm ukupne komocije} \\
 Ob_{2kroj} &= 2[0,235(Ob_{2tijela} + D_{komocija}) + (fd \cdot 0,1325 \cdot Ob_{2tijela} + 0,1325 \cdot D_{komocija}) + \\
 &0,1325(Ob_{2tijela} + D_{komocija})] \quad (144)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Ob_{2kroj} &= 2[(0,235 \cdot 98,4 + 1,41) + (1,161 \cdot 13,04 + 0,795) + (13,04 + 0,795)] = \\
 &2(24,53 + 15,93 + 13,84) = 109,20 \text{ cm} \Rightarrow 10,80 \text{ cm ukupne komocije} \\
 Ds_{kroj} &= (Ds_{tijela} + 2) \cdot fd \quad (145)
 \end{aligned}$$

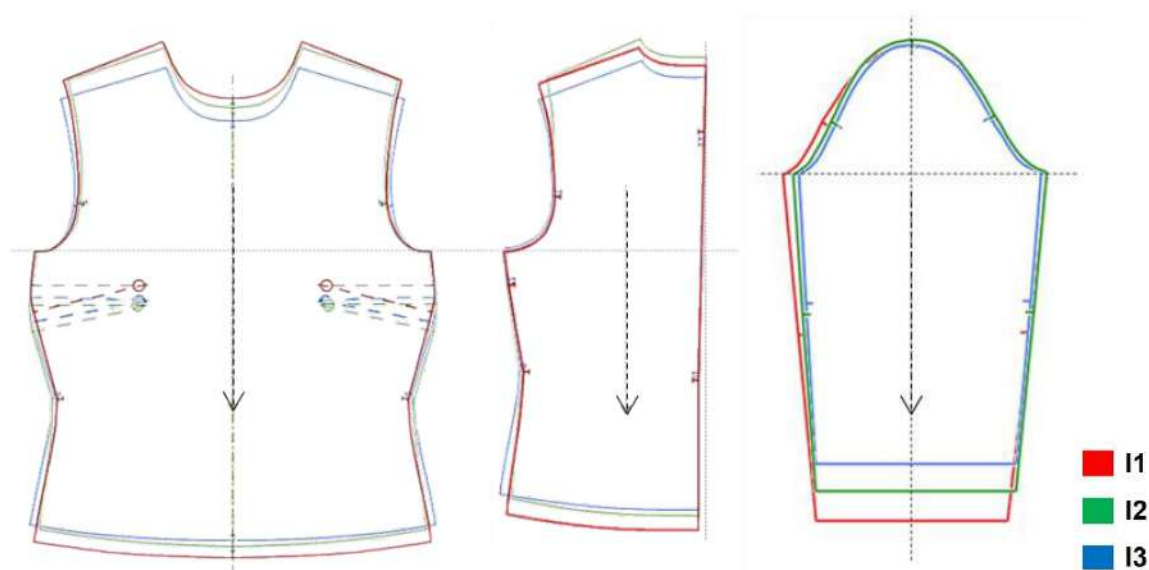
$$\begin{aligned}
 Ds_{kroj} &= (32,5 + 2) \cdot 1,08 = 37,26 \text{ cm} \Rightarrow 2,76 \text{ cm produljenja} \\
 Dl_{2kroj} &= (Dl_{2tijela} + 2) \cdot fd \quad (146)
 \end{aligned}$$

$$Dl_{2kroj} = (14,6 + 2) \cdot 1,08 = 17,93 \text{ cm} \Rightarrow 1,34 \text{ cm dodatnog produljenja}$$

### 4.5.3. Rezultati prilagodbe parametarskih krojeva prema individualnim mjerama za tri ispitanice različitih tipova tijela

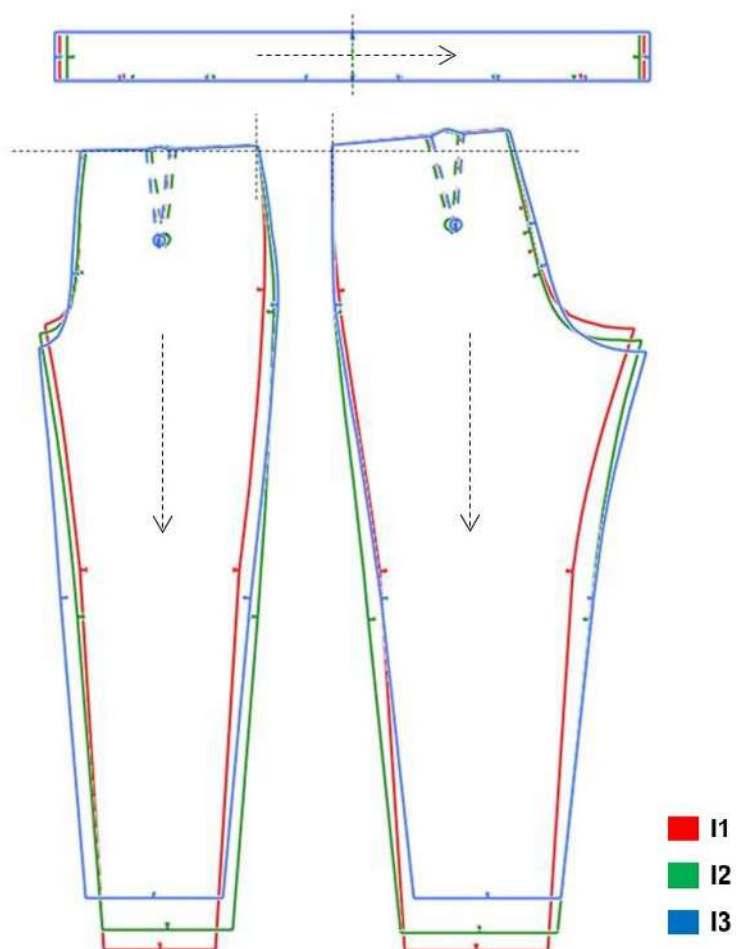
Na sl. 153 do 157 prikazani su rezultati prilagodbe parametarskih krojeva prema individualnim antropometrijskim karakteristikama i mjerama za tri ispitanice različitih tipova tijela. Izvedena je usporedba kontura prilagođenih krojeva preklapanjem preko zajedničke osi.

#### Ženska bluza i hlače



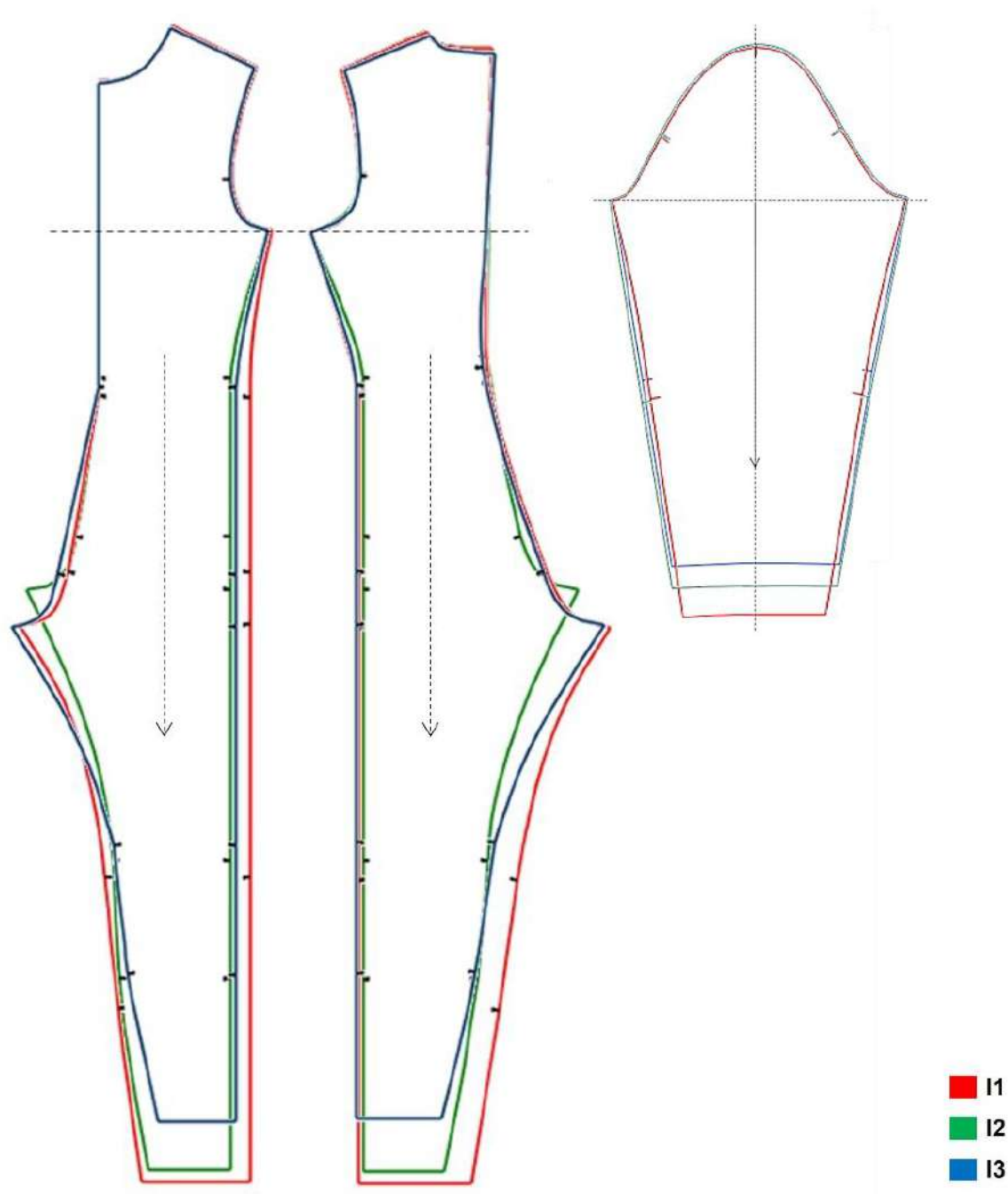
**Slika 153** Analiza prilagođenih krojeva ženske bluze za tri ispitanice različitih tipova tijela preklapanjem kontura kroja na liniji opsega grudi





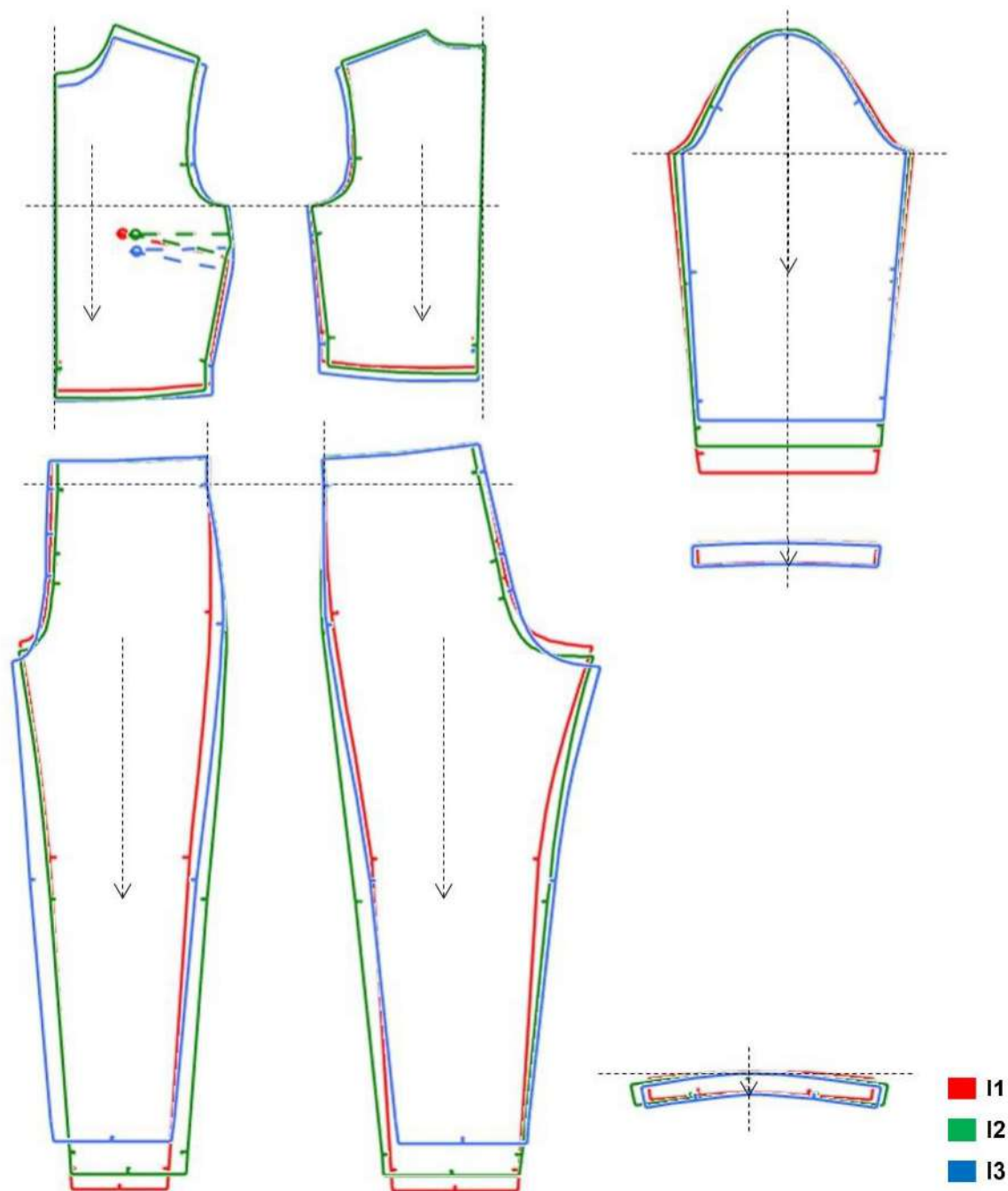
**Slika 154** Analiza prilagođenih krojeva ženskih hlača za tri ispitanice različitih tipova tijela preklapanjem kontura kroja na liniji opsega struka

# Ženski triko - model K1



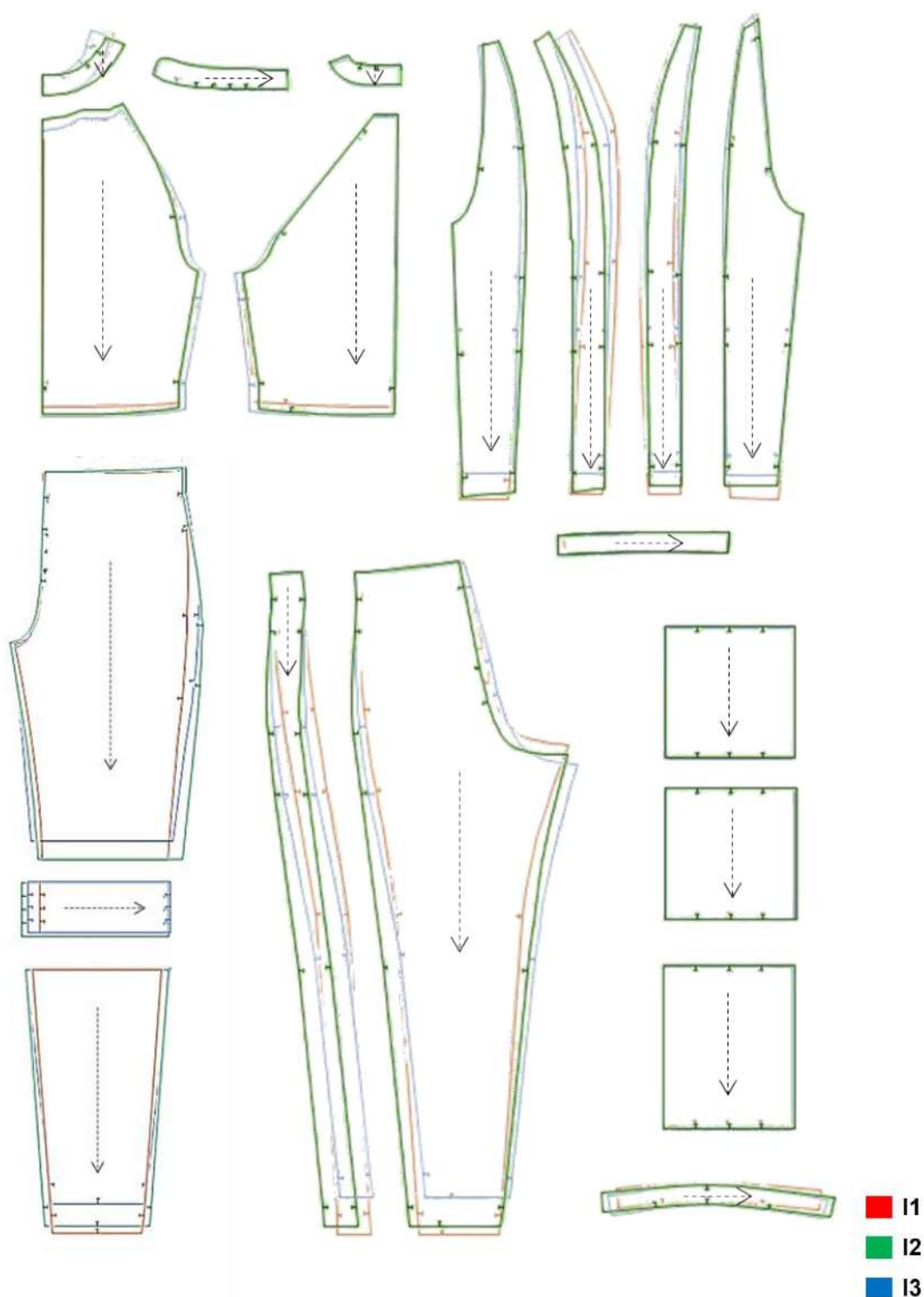
**Slika 155** Analiza prilagođenih krojeva ženskog trikoa K1 za tri ispitanice različitih tipova tijela preklapanjem kontura kroja na liniji opsega grudi

# Ženski radni kombinezon - model K2



**Slika 156** Analiza prilagođenih krojeva modela kombinezona K2 za tri ispitanice različitih tipova tijela preklapanjem kontura kroja na liniji opsega grudi i opsega struka

# Ženski radni kombinezon - model K3



**Slika 157** Analiza prilagođenih krojeva modela kombinezona K3 za tri ispitanice različitih tipova tijela preklapanjem kontura kroja na liniji opsega grudi i opsega struka



#### 4.5.4. Rezultati subjektivnog vrednovanja pristalosti realnih prototipova modela odjevnih predmeta

Subjektivnim vrednovanjem, od strane ispitanica I1, I2 i I3, prema čijim antropometrijskim karakteristikama je izvedena prilagodba krojeva, u osnovnom statičkom položaju tijela svi izrađeni modeli su ocijenjeni pozitivno, odnosno ni na jednom modelu nije utvrđen neugodni osjećaj pritiska na tijelo. Time je potvrđena dobra dimenzijska pristalost izrađenih prototipova, čime je dokazana primjenjivost postavljene metode prilagodbe i razvijenih parametarskih krojeva za prilagodbu različitim veličinama i tipovima oblika ljudskog tijela.

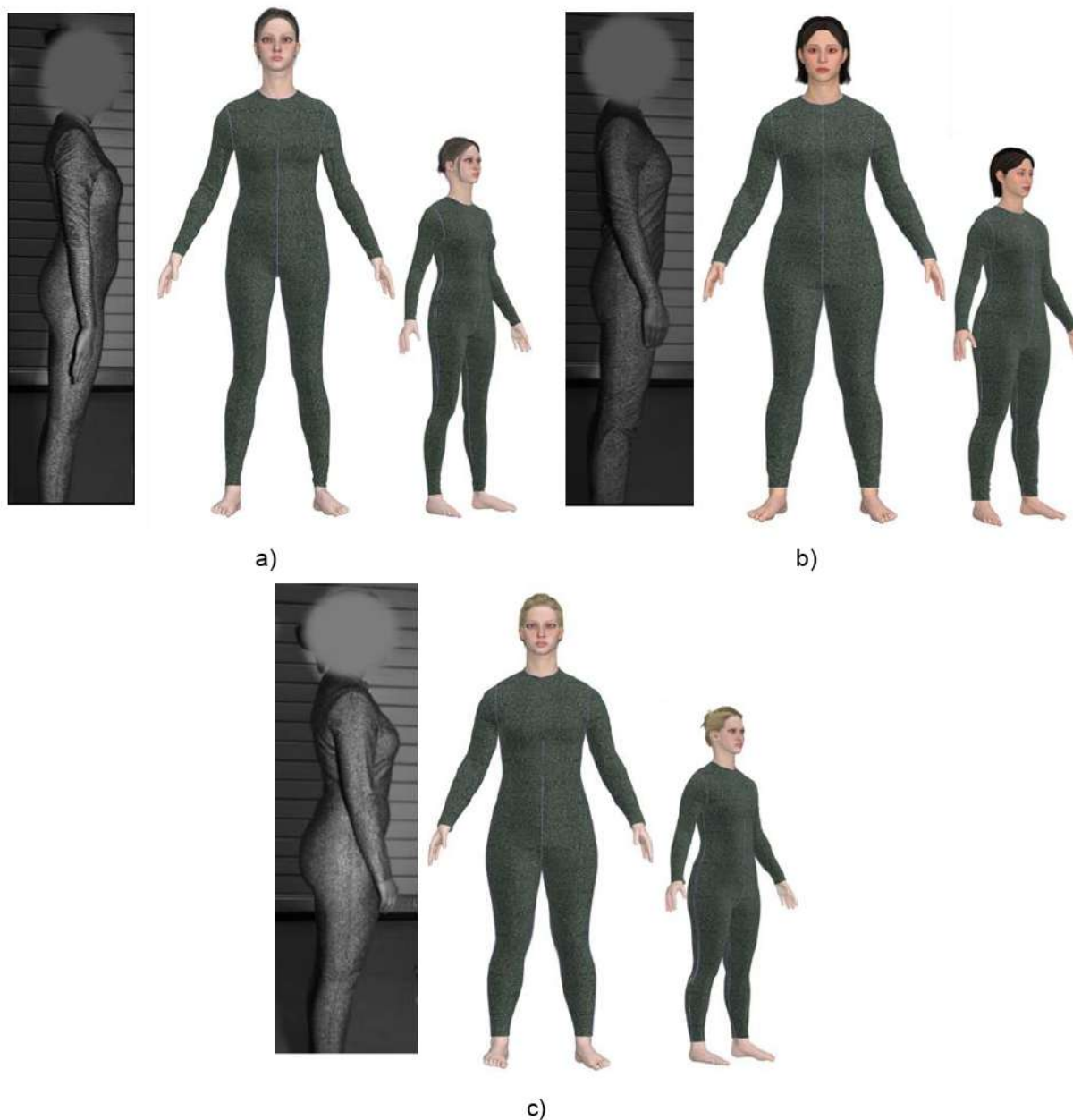
Subjektivnim vrednovanjem pristalosti odjevnih predmeta prilikom izvođenja zadanih pokreta, na modelima ženske bluze i temeljnog radnog kombinezona K2, sve tri ispitanice izrazile su neugodni osjećaj pritiska modela odjevnih predmeta na području gornjeg dijela leđa, između linije grudi i vrata, prilikom pokretanja ruku, što ukazuje na nedovoljnu komociju koja se dodaje prema standardnoj metodi konstrukcije, za model odjevnog predmeta namijenjen izvođenju takvih ekstremnih pokreta. Kod temeljnog modela kombinezona K2, dodatno je utvrđena problematika kod mjere ukupnog opsega trupa, što je prilikom izvođenja pokreta KL 4 i KL 5 (savijanje tijela u položaj pretklona i spuštanje u položaj čučnja) izazvalo jako izražen osjećaj neugodnog pritiska u području sjedalnog šava, što je onemogućilo pravilno izvođenje pokreta P4 i P5. Problematika ukazuje na nedovoljni iznos produljenja na području struka, koji se dodaje prilikom modeliranja i montaže gornjeg i donjeg dijela kroja prema standardnoj metodi konstrukcije, što je bilo i očekivano s obzirom na utvrđene rezultate antropometrijske analize na tijelima u karakterističnim položajima, prikazanim u toč. 3.2. S obzirom na negativno ocijenjenu pristalost modela kombinezona K2, model je izuzet iz dijela istraživanja dinamičke pristalosti na realnim prototipovima, odnosno analiza statičke i dinamičke pristalosti računalnog 3D prototipa modela kombinezona K2 dana je kao prilog rezultatima istraživanja, Prilog A.2.

#### 4.6. Rezultati razvoja računalnih 3D prototipova modela odjevnih predmeta

Prema koracima opisanim u toč. 3.6., definirani su svi potrebni parametri za izvođenje 3D simulacija te su razvijeni računalni 3D prototipovi pet modela odjevnih predmeta, prilagođeni antropometrijskim karakteristikama prema tri ispitanice različitih tipova tijela, prikazani na sl. 158 do 164, zajedno s realno izrađenim prototipovima. Na računalnim 3D prototipovima, simuliranim na temelju mehaničkih parametara materijala utvrđenih preko SEDDI Textura AI

aplikacije, vidljivi su bolji rezultati s aspekta izgleda prototipova i vizualno realističnijeg oblikovanja površine i nabora materijala na 3D modelima tijela.

### Ženski triko K1

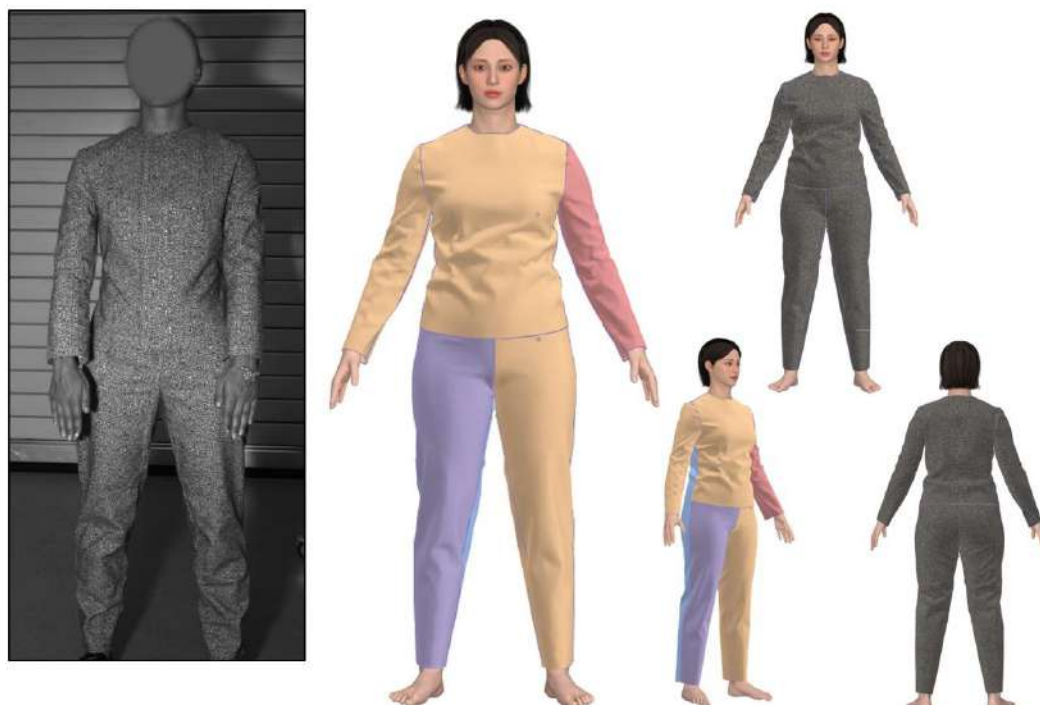


**Slika 158** Realni i računalni 3D prototipovi modela ženskog trikoa K1 simulirani na temelju mehaničkih parametara utvrđenih preko SEDDI aplikacije: a) ispitanica I1, b) ispitanica I2, c) ispitanica I3

## Ženska bluza i hlače



**Slika 159** Realni i računalni 3D prototip modela ženske bluze i hlača simuliran na temelju mehaničkih parametara utvrđenih preko SEDDI aplikacije - ispitanica I1



**Slika 160** Realni i računalni 3D prototip modela ženske bluze i hlača simuliran na temelju mehaničkih parametara utvrđenih preko SEDDI aplikacije - ispitanica I2



**Slika 161** Realni i računalni 3D prototip modela ženske bluze i hlača simuliran na temelju mehaničkih parametara utvrđenih preko SEDDI aplikacije - ispitanica I3

### **Model ženskog kombinezona K3**



**Slika 162** Realni i računalni 3D prototip modela ženskog kombinezona K3 simuliran na temelju mehaničkih parametara utvrđenih preko SEDDI aplikacije - ispitanica I1





**Slika 163** Realni i računalni 3D prototip modela ženskog kombinezona K3 simuliran na temelju mehaničkih parametara utvrđenih preko SEDDI aplikacije - ispitanica I2

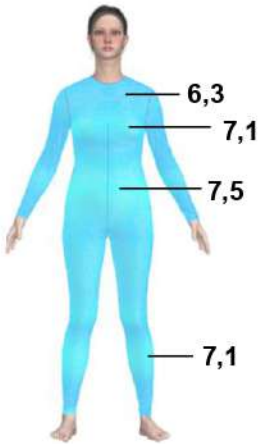
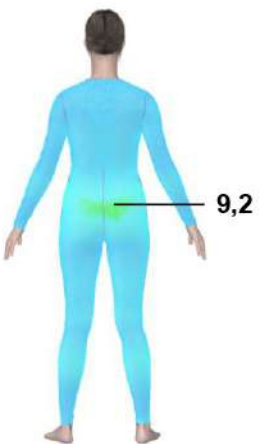
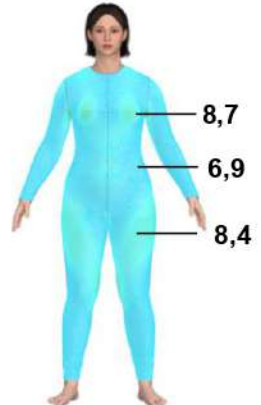
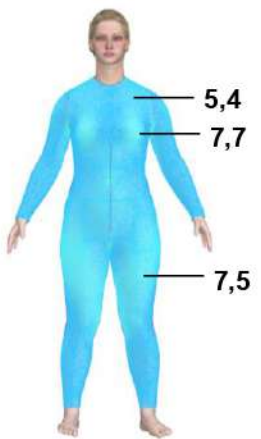
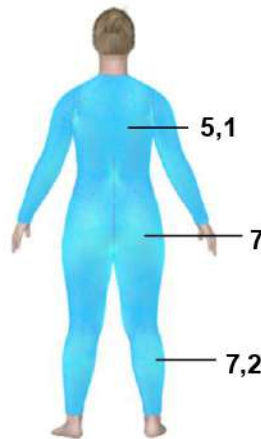


**Slika 164** Realni i računalni 3D prototip modela ženskog kombinezona K3 simuliran na temelju mehaničkih parametara utvrđenih preko SEDDI aplikacije - ispitanica I3

Računalnim ispitivanjem pristalosti na 3D modelima tijela prilagođenim prema tri ispitanice, u uspravnom statičkom položaju, metodom analize istezanja računalnih 3D prototipova materijala u smjeru potke (x), analizirane su 3D simulacije temeljene na mehaničkim parametrima materijala utvrđenim Fabric Kit metodom i pomoću SEDDI Textura aplikacije te su na svim prototipovima u uspravnom statičkom položaju utvrđene iste vrijednosti. Stoga su u nastavku prikazani rezultati analize na modelima simuliranim primjenom parametara SEDDI Textura aplikacije.

Na svim razvijenim 3D prototipovima, utvrđena je dobra dimenzijska pristalost na modelima tijela u uspravnom, statičkom položaju. Kod modela trikoa K1 utvrđeno je istezanje u smjeru potke od 5 do 9 %, po cijeloj površini odjevnog predmeta, što je i očekivani rezultat s obzirom da su zbog vrste i elastičnih svojstava primjenjenog materijala M1, dimenzije kroja kod početne konstrukcije umanjene za 10%, tab. 61. Kod prilagođenih 3D prototipova ženske bluze i hlača te na prototipovima ženskog kombinezona K3, nije utvrđeno značajno istezanje ni na jednom dijelu površine, tab. 62 i 63, odnosno minimalno istezanje od 4 % vidljivo je na pojasnici kombinezona K3, što je posljedica simulacije gume za nabiranje umetnute u tunel u pojasnici. Utvrđeni rezultati analize potvrđuju dobru prilagodbu krojeva prema antropometrijskim karakteristikama ispitanica različitih tipova tijela primjenom metode parametrizacije i matematičkih izraza za prilagodbu razvijenih u okviru doktorskog rada i prikazanih u toč. 4.5.2.

**Tablica 61** Rezultati ispitivanja pristalosti analizom istezanja računalnih 3D prototipova ženskog trikoa K1 na modelima tijela ispitanica u uspravnom statičkom položaju – P0

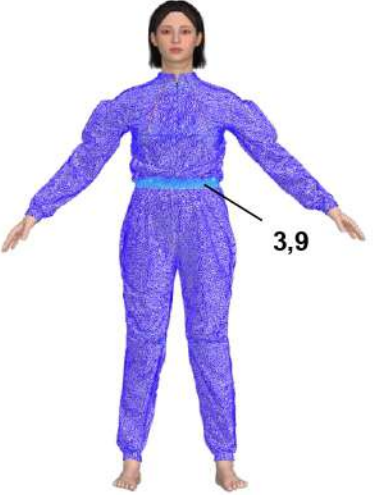
| K1 | Istezanje (x) - potka [%]                                                           |                                                                                     |                                                                                       |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|    | I1                                                                                  | I2                                                                                  | I3                                                                                    |
| I1 |    |    |    |
|    |   |   |   |
|    |  |  |  |

**Tablica 62** Rezultati ispitivanja pristalosti analizom istezanja računalnih 3D prototipova modela ženske bluže i hlača na modelima tijela ispitanica u uspravnom statičkom položaju – P0

| K3 | Istezanje (x) - potka [%] |  |  |
|----|---------------------------|--|--|
| I1 |                           |  |  |
|    |                           |  |  |
|    |                           |  |  |



**Tablica 63** Rezultati ispitivanja pristalosti analizom istezanja računalnih 3D prototipova ženskog kombinezona K3 na modelima tijela ispitanica u uspravnom statičkom položaju – P0

| K3 | Istezanje (x) - potka [%]                                                           |                                                                                      |                                                                                       |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| I1 |    |    |    |
|    |   |   |   |
|    |  |  |  |

#### 4.7. Rezultati ispitivanja dinamičke pristalosti računalnih 3D prototipova modela odjevnih predmeta prilagođenih antropometrijskim karakteristikama ispitanica različitih tipova tijela u karakterističnim položajima tijela

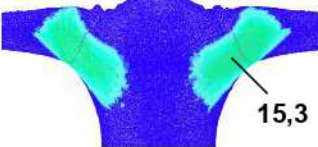
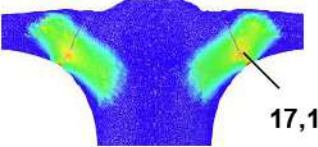
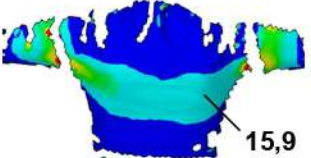
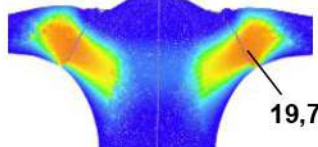
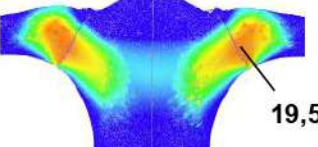
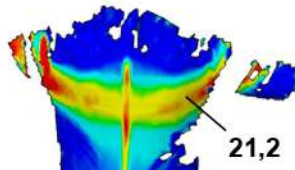
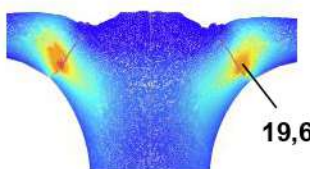
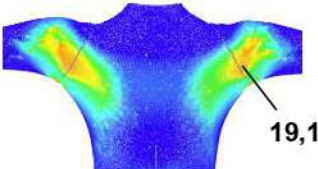
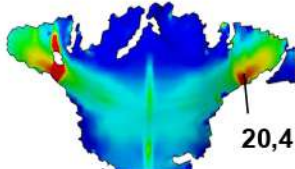
U nastavku su prikazani rezultati ispitivanja dinamičke pristalosti računalnih prototipova na 3D modelima tijela koji su prilagođeni prema antropometrijskim i kinematičkim karakteristikama tri ispitanice, primjenom metode i razvijenih skript datoteka za prilagodbu parametarskog SMPL modela u programu Maya2022, što je prikazano u toč. 3.3. Analizirani su 3D prototipovi simulirani na temelju mehaničkih parametara materijala utvrđenih Fabric Kit metodom i digitalizacijom pomoću SEDDI Textura AI aplikacije, pri čemu su deformacije 3D prototipova u pojedinom položaju analizirane u odnosu na deformacije utvrđene ispitivanjem realnih prototipova pojedinog odjevnog predmeta.

##### Ženski triko K1

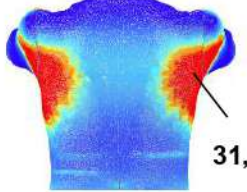
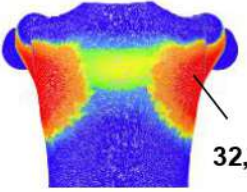
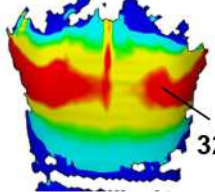
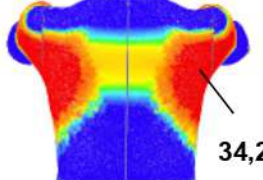
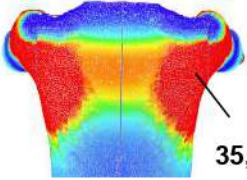
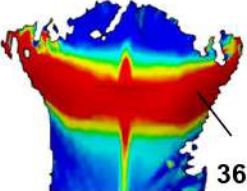
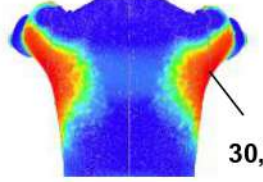
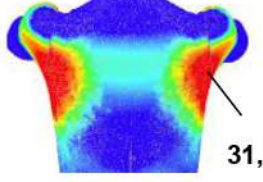
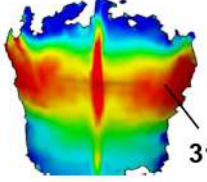
Kod analize istezanja prototipova modela ženskog trikoa K1 korištena je skala s istim referentnim vrijednostima za promatranje zona deformacije kao i kod analize deformacija na tijelu u pokretu ( $20\% < \text{crvena zona}$ ), prikazane u toč. 4.2. S obzirom da model potpuno prijanja na tijelo te je utvrđeno istezanje od 5 do 9 % u početnom položaju, tab. 61, najniža referentna vrijednost na skali prilagođena je početnom istezanju ( $9\% > \text{plava zona}$ ), kako bi se omogućila analiza u odnosu na ispitivanje realnih prototipova kod kojih se deformacije u pojedinom pokretu analiziraju prema početnom položaju kao referentnom.

Analizom istezanja u smjeru osnove i potke, ovisno o promatranom položaju, na računalnim 3D prototipovima simuliranim na temelju mehaničkih parametara definiranih prema dvije različite metode, utvrđene su vrlo slične vrijednosti najveće deformacije u odnosu na rezultate ispitivanja realnih prototipova ( $\Delta\epsilon < 3\%$ ). No, ako promatramo segmente površine na kojima dolazi do najvećih deformacija, na prototipovima simuliranim na temelju digitalizacije materijala SEDDI tekstura aplikacijom, zone deformacija obuhvaćaju veću površinu modela i pokazuju bolje rezultate u usporedbi s realnim prototipom, tab. 64 do 71.

**Tablica 64** Rezultati analize istezanja u smjeru potke (x) na realnim i računalnim 3D prototipovima ženskog trikoa K1 – položaj P1

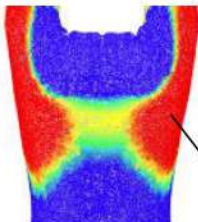
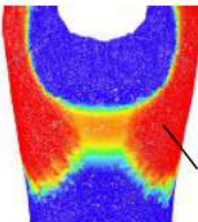
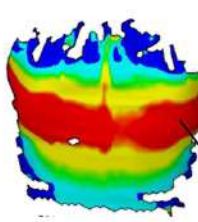
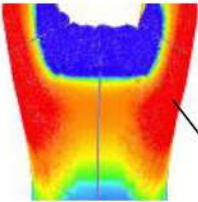
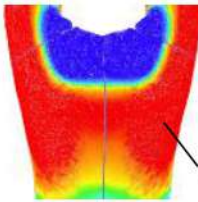
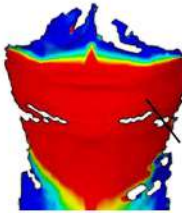
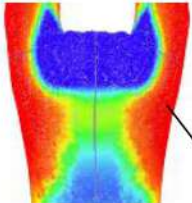
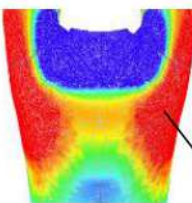
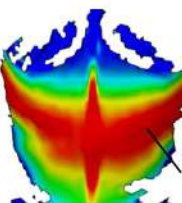
| P1 | Istezanje (x) - potka [%]                                                              |                                                                                         |                                                                                          |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | Fabric Kit                                                                             | SEDDI                                                                                   | Realni prototip                                                                          |
| I1 |  15,3 |  17,1 |  15,9 |
| I2 |  19,7 |  19,5 |  21,2 |
| I3 |  19,6 |  19,1 |  20,4 |

**Tablica 65** Rezultati analize istezanja u smjeru potke (x) na realnim i računalnim 3D prototipovima ženskog trikoa K1 – položaj P2

| P2 | Istezanje (x) - potka [%]                                                                |                                                                                          |                                                                                            |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | Fabric Kit                                                                               | SEDDI                                                                                    | Realni prototip                                                                            |
| I1 |  31,6 |  32,4 |  32,1 |
| I2 |  34,2 |  35,4 |  36,9 |
| I3 |  30,7 |  31,5 |  31,8 |

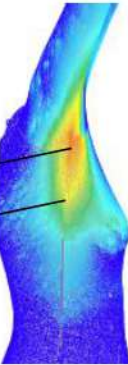
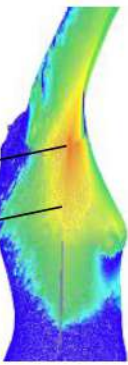
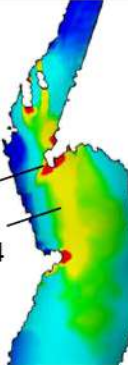
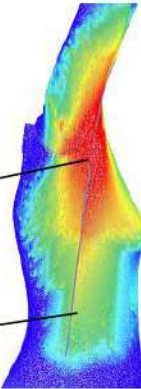
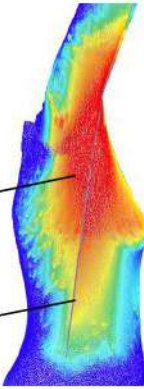
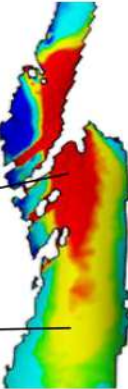
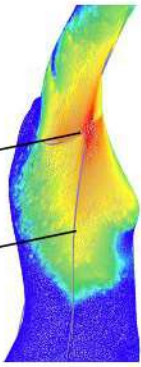
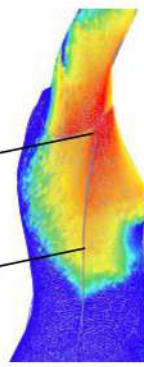
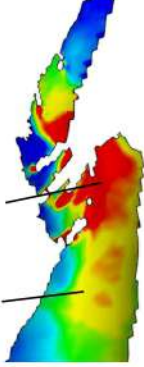


**Tablica 66** Rezultati analize istezanja u smjeru potke (x) na realnim i računalnim 3D prototipovima ženskog trikoa K1 – položaj P3

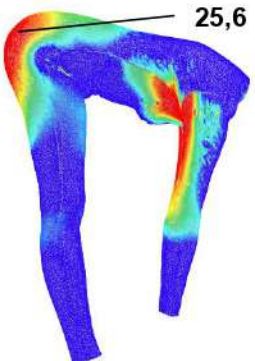
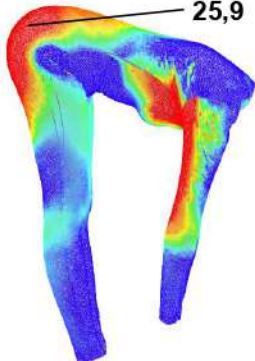
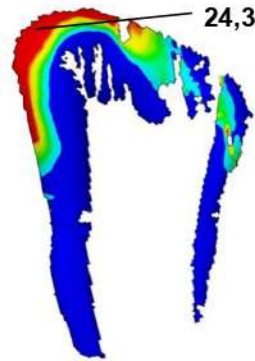
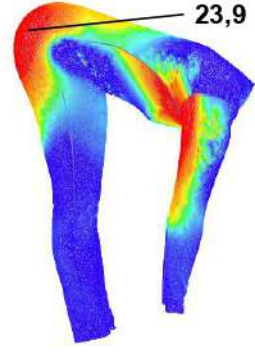
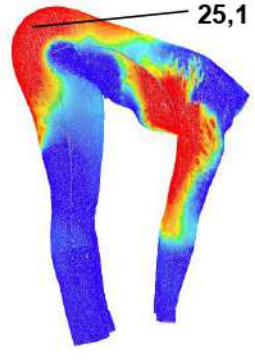
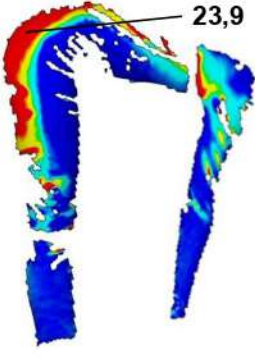
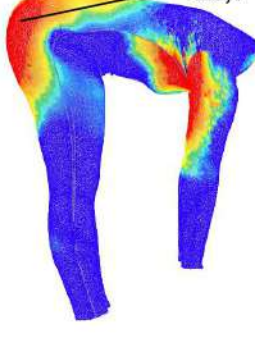
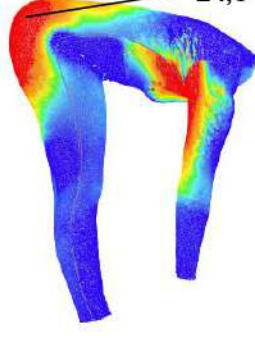
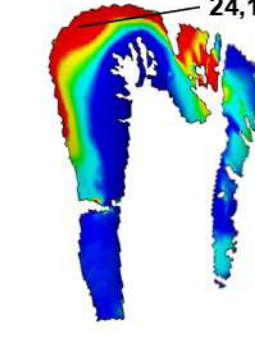
| P3 | Istezanje (x) - potka [%]                                                               |                                                                                         |                                                                                           |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | Fabric Kit                                                                              | SEDDI                                                                                   | Realni prototip                                                                           |
| I1 |  32,8  |  33,1  |  31,4  |
| I2 |  37,7  |  39,2  |  38,5  |
| I3 |  30,5 |  31,1 |  30,7 |



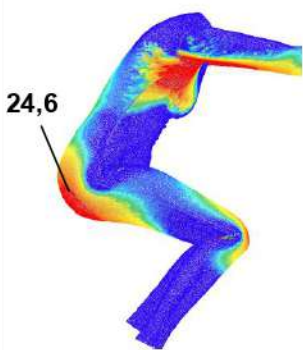
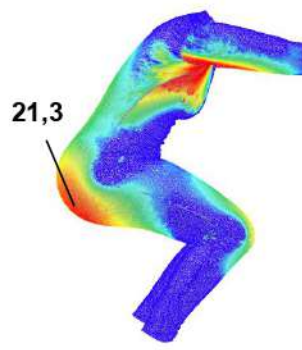
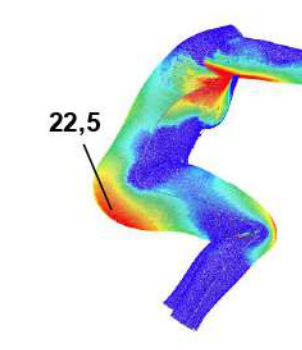
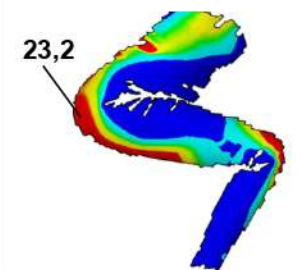
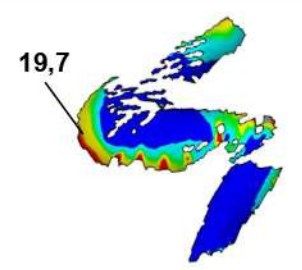
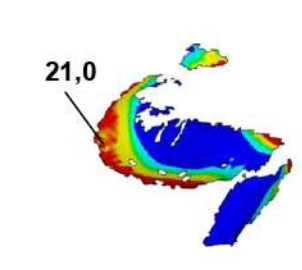
**Tablica 67** Rezultati analize istezanja u smjeru osnove (y) na realnim i računalnim 3D prototipovima ženskog trikoa K1 – položaj P3

| P3 | Istezanje (y) - osnova [%]                                                                               |                                                                                                          |                                                                                                            |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | Fabric Kit                                                                                               | SEDDI                                                                                                    | Realni prototip                                                                                            |
| I1 |  <p>32,7<br/>10,9</p>   |  <p>32,1<br/>11,5</p>   |  <p>34,7<br/>12,4</p>   |
| I2 |  <p>35,3<br/>17,6</p>  |  <p>35,9<br/>19,2</p>  |  <p>36,3<br/>19,8</p>  |
| I3 |  <p>29,3<br/>13,7</p> |  <p>28,7<br/>15,8</p> |  <p>32,1<br/>14,5</p> |

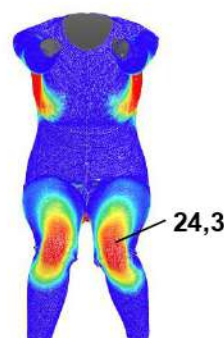
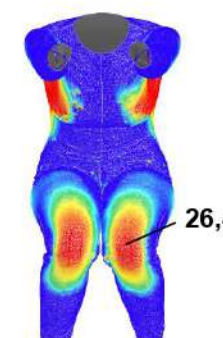
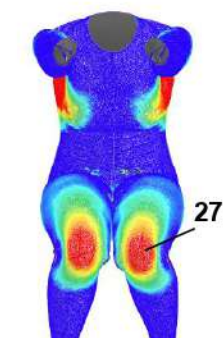
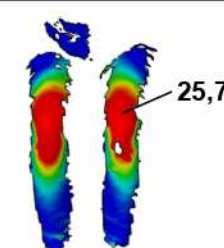
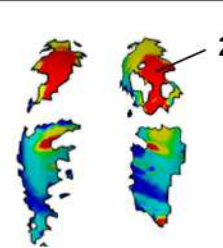
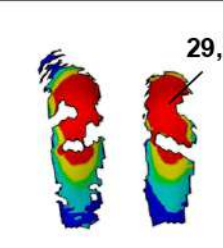
**Tablica 68** Rezultati analize istezanja u smjeru osnove (y) na realnim i računalnim 3D prototipovima ženskog trikoa K1 – položaj P4

| P4 | Istezanje (y) - osnova [%]                                                               |                                                                                          |                                                                                            |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | Fabric Kit                                                                               | SEDDI                                                                                    | Realni prototip                                                                            |
| I1 |  25,6   |  25,9   |  24,3   |
| I2 |  23,9  |  25,1  |  23,9  |
| I3 |  22,7 |  24,8 |  24,1 |

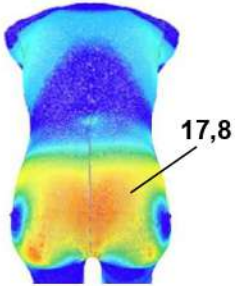
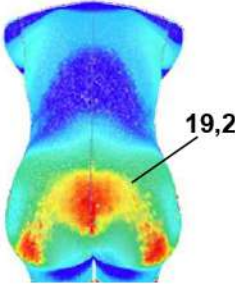
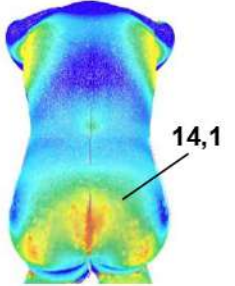
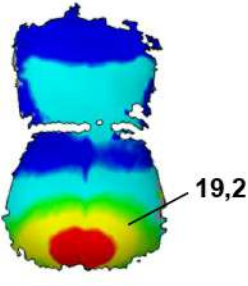
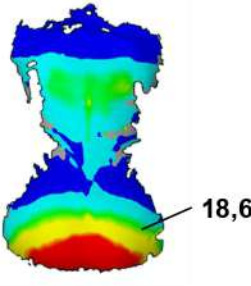
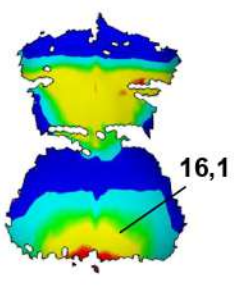
**Tablica 69** Rezultati analize istezanja realnim i računalnih 3D prototipova ženskog trikoa K1 u smjeru osnove (y) – položaj P5 sagitalno

| P1              | Istezanje (y) – osnova [%]                                                              |                                                                                          |                                                                                           |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
|                 | I1                                                                                      | I2                                                                                       | I3                                                                                        |
| 3D prototip     |  24,6  |  21,3  |  22,5  |
| Realni prototip |  23,2 |  19,7 |  21,0 |

**Tablica 70** Rezultati analize istezanja realnim i računalnih 3D prototipova ženskog trikoa K1 u smjeru osnove (y) – položaj P5 frontalno

| P1              | Istezanje (y) – osnova [%]                                                               |                                                                                           |                                                                                            |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
|                 | I1                                                                                       | I2                                                                                        | I3                                                                                         |
| 3D prototip     |  24,3 |  26,4 |  27,3 |
| Realni prototip |  25,7 |  27,9 |  29,8 |

**Tablica 71** Rezultati analize istezanja realnih i računalnih 3D prototipova ženskog trikoa K1 u smjeru potke (x) – položaj P5 posteriorno

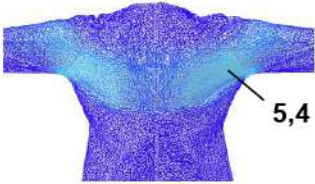
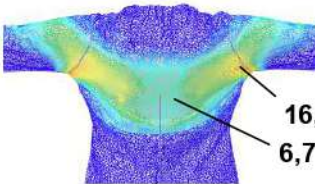
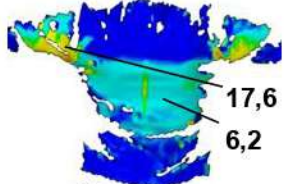
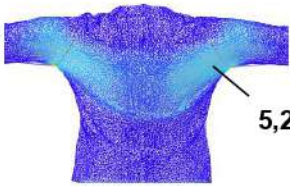
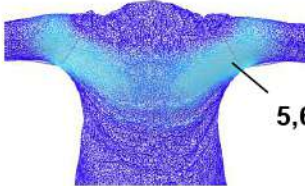
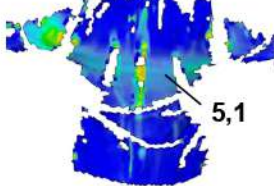
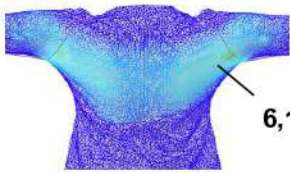
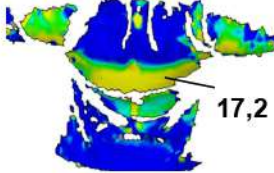
| P1              | Istezanje (x) – potka [%]                                                               |                                                                                          |                                                                                           |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
|                 | I1                                                                                      | I2                                                                                       | I3                                                                                        |
| 3D prototip     |  17,8  |  19,2  |  14,1  |
| Realni prototip |  19,2 |  18,6 |  16,1 |

### Ženska bluza i hlače

Kod analize istezanja prototipova modela ženske bluze i hlača korištena je skala s referentnim vrijednostima za analizu zona deformacija i vrednovanje pristalosti koja je definirana na temelju rezultata ispitivanja vlačnih svojstava materijala M2 i objašnjena u toč. 3.6.3.

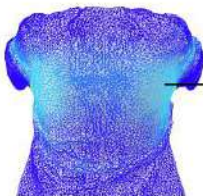
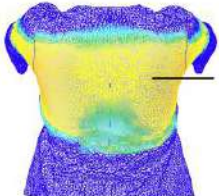
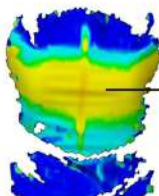
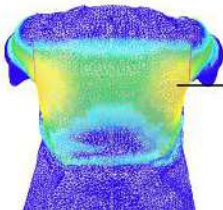
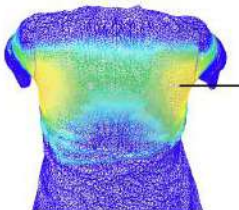
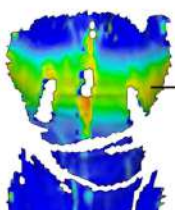
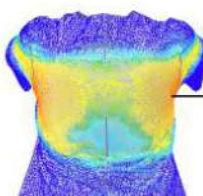
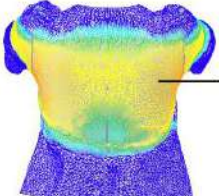
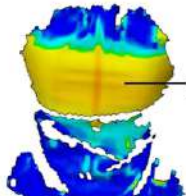


**Tablica 72** Rezultati analize istezanja realnih i računalnih 3D prototipova modela ženske bluze i hlača u smjeru potke (x), s aspekta primjene fizikalnih i mehaničkih parametara materijala utvrđenih različitim metodama vrednovanja – položaj P1

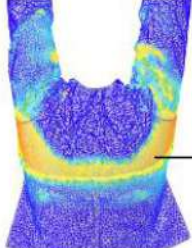
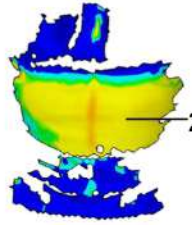
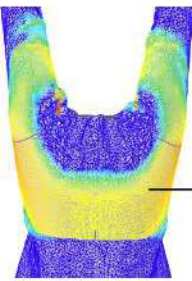
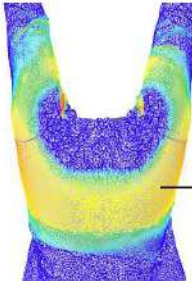
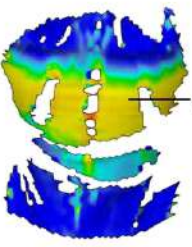
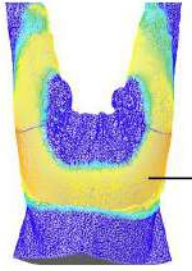
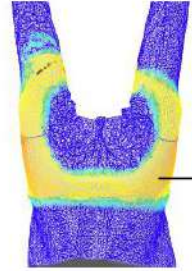
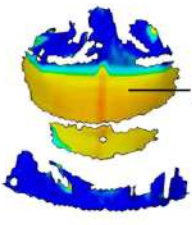
| P1 | Istezanje (x) - potka [%]                                                              |                                                                                                |                                                                                                 |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | Fabric Kit                                                                             | SEDDI                                                                                          | Realni prototip                                                                                 |
| I1 |  5,4  |  16,8<br>6,7 |  17,6<br>6,2 |
| I2 |  5,2  |  5,6         |  5,1         |
| I3 |  6,1 |  8,6         |  17,2       |

Analizom istezanja u smjeru osnove i potke, ovisno o promatranom položaju, na računalnim 3D prototipovima simuliranim na temelju mehaničkih parametara definiranih prema dvije različite metode, utvrđene su vrlo slične vrijednosti najveće deformacije u odnosu na rezultate ispitivanja realnih prototipova ( $\Delta\epsilon < 1\%$ ), osim u položaju P1 gdje je na računalnim prototipovima utvrđeno do 8% manje istezanje u odnosu na realni prototip. Prototipovi simulirani na temelju digitalizacije materijala SEDDI tekstura aplikacijom, pokazuju bolje rezultate vrijednosti deformacija i sličniju raspodjelu zona deformacija na površini u usporedbi s realnim prototipom, tab. 72 do 79.

**Tablica 73** Rezultati analize istezanja realnih i računalnih 3D prototipova modela ženske bluže i hlača u smjeru potke (x), s aspekta primjene fizikalnih i mehaničkih parametara materijala utvrđenih različitim metodama vrednovanja – položaj P2

| P2 | Istezanje (x) - potka [%]                                                               |                                                                                         |                                                                                           |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | Fabric Kit                                                                              | SEDDI                                                                                   | Realni prototip                                                                           |
| I1 |  5,8   |  22,1  |  21,7  |
| I2 |  19,5  |  19,2  |  18,3  |
| I3 |  25,1 |  26,1 |  25,3 |

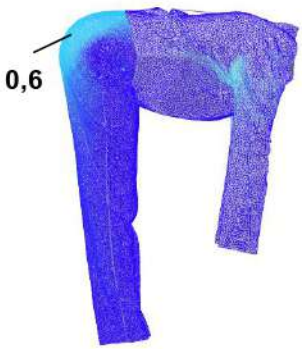
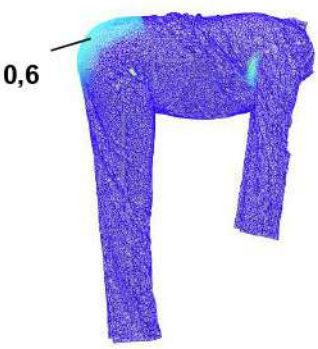
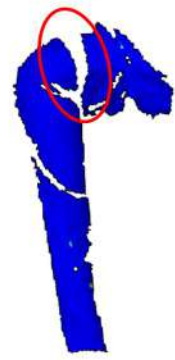
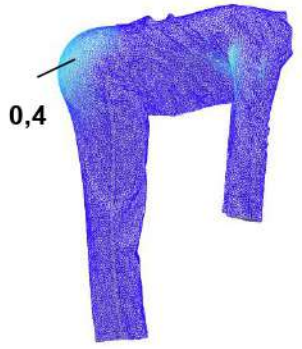
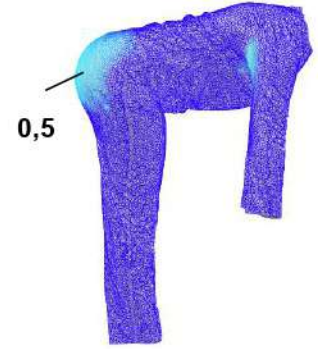
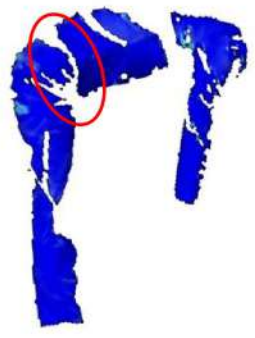
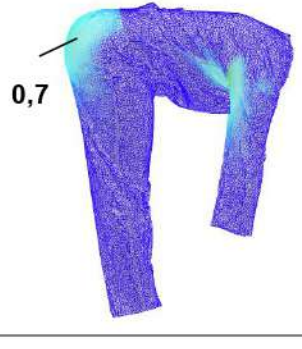
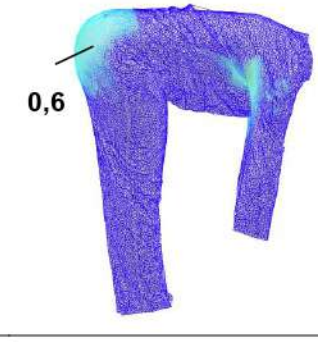
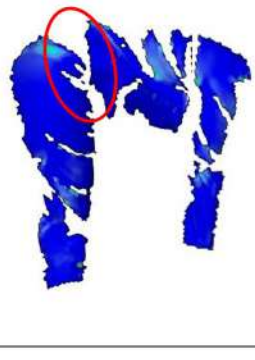
**Tablica 74** Rezultati analize istezanja realnih i računalnih 3D prototipova modela ženske bluze i hlača u smjeru potke (x), s aspekta primjene fizikalnih i mehaničkih parametara materijala utvrđenih različitim metodama vrednovanja – položaj P3

| P3 | Istezanje (x) - potka [%]                                                                |                                                                                          |                                                                                            |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | Fabric Kit                                                                               | SEDDI                                                                                    | Realni prototip                                                                            |
| I1 |  7,6    |  23,5   |  22,9   |
| I2 |  22,3  |  22,4  |  21,7  |
| I3 |  29,7 |  29,6 |  30,2 |

Na rezultatima analize deformacija u uzdužnom (y) smjeru, u položaju pretklona i čučnja (P4 i P5), vidljive su razlike u utvrđenom istezanju na području bokova, između računalnih i realnih prototipova. Na simuliranim računalnim prototipovima utvrđena je deformacija od 0,4 do 0,7 %, na području stražnjeg dijela leđa i stražnjice, od linije struka do linije sjedalnog šava, tab. 75. Ako pobliže pogledamo područje struka gdje dolazi do preklapanja modela hlača i bluze, vidljivo je kako kod realnih modela dolazi do pomaka linije duljine kroja na modelu bluze prema gore te se modeli fizički razdvajaju, što je vidljivo i na snimljenim realnim modelima gdje dolazi do prekida mjerne površine na tom području, tab. 75 do 77. Kod simuliranih 3D prototipova, nije došlo do pomaka modela bluze te je zbog neprekinutog kontakta između dvije simulirane površine došlo do pojave deformacije na modelu hlača, s obzirom da je površina hlača u kontaktu prvi sloj do tijela. Uočeni nedostatak ukazuje na problem modeliranja i programiranja kontaktne mehanike između simuliranih površina modela i slojeva materijala.

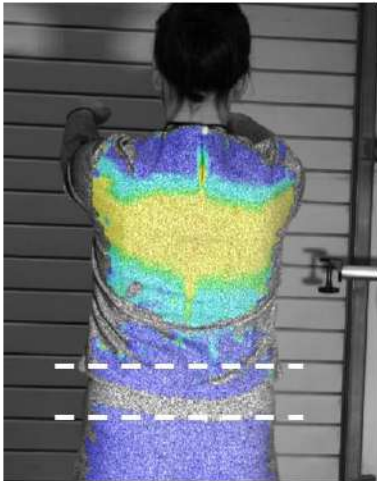


**Tablica 75** Rezultati analize istezanja realnih i računalnih 3D prototipova modela ženske bluze i hlača u smjeru osnove (y), s aspekta primjene fizikalnih i mehaničkih parametara materijala utvrđenih različitim metodama vrednovanja – položaj P4

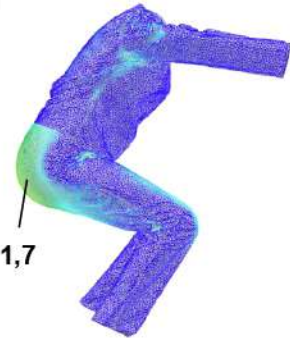
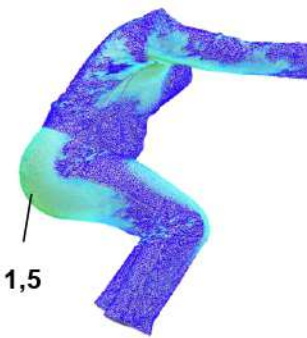
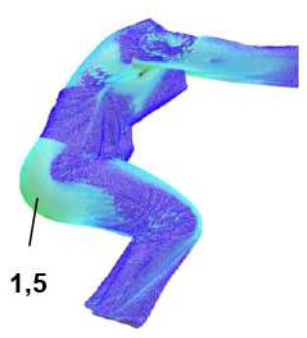
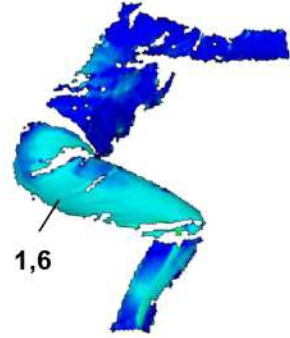
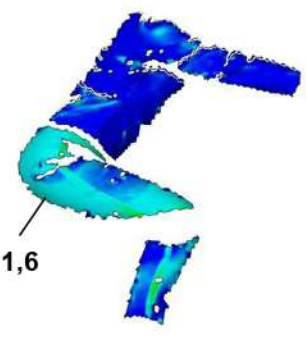
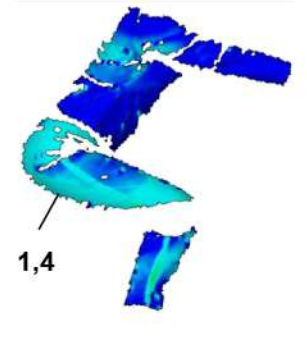
| P4 | Istezanje (y) - osnova [%]                                                              |                                                                                         |                                                                                       |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|    | Fabric Kit                                                                              | SEDDI                                                                                   | Realni prototip                                                                       |
| I1 |  0,6   |  0,6   |    |
| I2 |  0,4  |  0,5  |   |
| I3 |  0,7 |  0,6 |  |



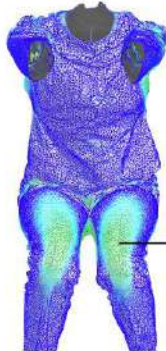
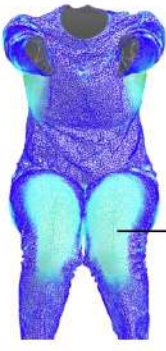
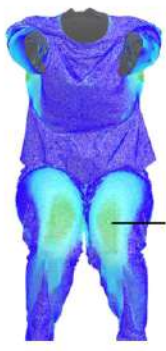
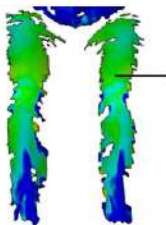
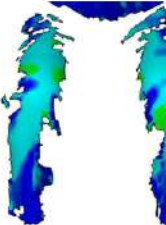
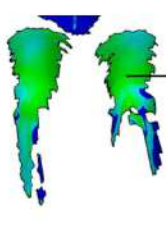
**Tablica 76** Pomak duljine kroja realnog prototipa ženske bluze u karakterističnim tjelesnim položajima P2 i P3

|    | P2                                                                                | P3                                                                                 |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| I1 |  |  |

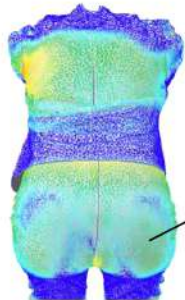
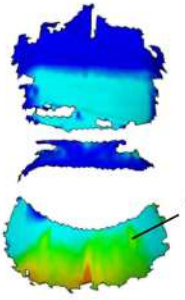
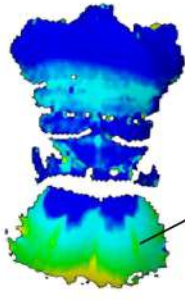
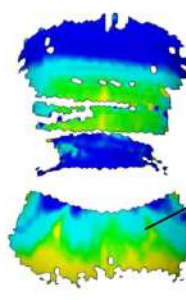
**Tablica 77** Rezultati analize istezanja realnih i računalnih 3D prototipova modela ženske bluze i hlača u smjeru osnove (y) – položaj P5 sagitalno

| P1              | Istezanje (y) – osnova [%]                                                          |                                                                                      |                                                                                       |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|                 | I1                                                                                  | I2                                                                                   | I3                                                                                    |
| 3D prototip     |  |  |  |
| Realni prototip |  |  |  |

**Tablica 78** Rezultati analize istezanja realnih i računalnih 3D prototipova modela ženske bluze i hlača u smjeru osnove (y) – položaj P5 frontalno

| P1              | Istezanje (y) – osnova [%]                                                             |                                                                                        |                                                                                          |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
|                 | I1                                                                                     | I2                                                                                     | I3                                                                                       |
| 3D prototip     |  1,6  |  1,4  |  1,6  |
| Realni prototip |  1,7 |  1,4 |  1,6 |

**Tablica 79** Rezultati analize istezanja realnih i računalnih 3D prototipova modela ženske bluze i hlača u smjeru potke (x) – položaj P5 posteriorno

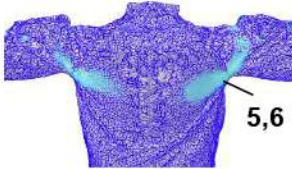
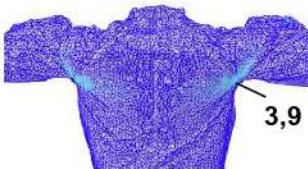
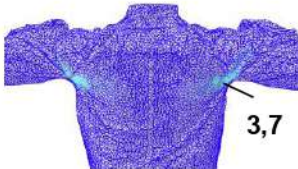
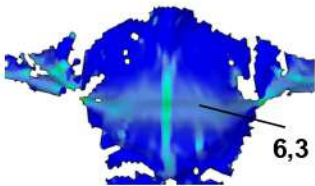
| P1              | Istezanje (x) – potka [%]                                                                |                                                                                          |                                                                                            |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
|                 | I1                                                                                       | I2                                                                                       | I3                                                                                         |
| 3D prototip     |  11,7 |  14,1 |  12,5 |
| Realni prototip |  12,3 |  13,6 |  13,3 |



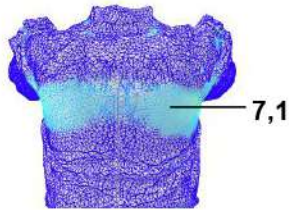
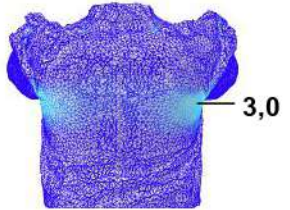
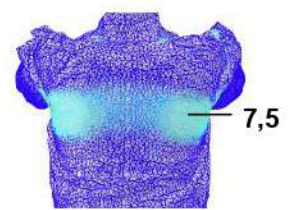
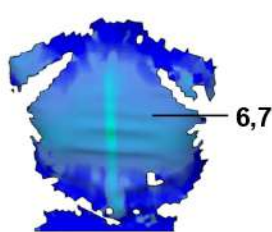
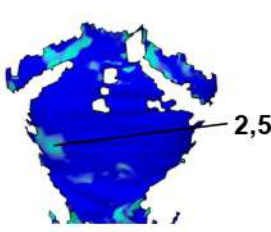
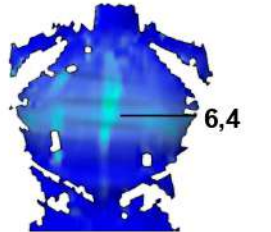
### Modeli ženskog funkcionalnog kombinezona K3

Rezultati analize pristalosti kombinezona K3 prikazani su na računalnim 3D prorotipovima simuliranim primjenom parametara utvrđenih SEDDI Textura aplikacijom, s obzirom da su kod prethodnih analiza ženskog trikoa K1 i modela bluze i hlača pokazali bolje rezultate. Za analizu istezanja prototipova modela kombinezona K3, također je korištena skala za vrednovanje pristalosti s referentnim vrijednostima definiranim na temelju rezultata ispitivanja vlačnih svojstava materijala M2, objašnjena u toč. 3.6.3. Analizom istezanja u smjeru osnove i potke, ovisno o promatranom položaju, utvrđene su niže vrijednosti deformacija, koje odgovaraju istezanjima u području linearnosti ( $\varepsilon_x < 17\%$ ,  $\varepsilon_y < 2\%$ ), odnosno dopuštenim uporabnim vrijednostima istezanja za simulirani materijal M2, utvrđenim KES sustavom ( $\varepsilon_x < 11\%$ ,  $\varepsilon_y < 1,6\%$ ), tab. 80 do 86. Rezultatima analize potvrđena je dobra prilagodba krojeva razvijenom metodom parametrizacije i definiranim matematičkim izrazima koji u obzir uzimaju funkcionalni dodatak, pomoću kojeg se na ciljanim segmentima kroja dodaje dodatni iznos komocije s aspekta prilagodbe prema dinamičkim karakteristikama tijela u pokretu, prikazanim u toč. 3.5.2.4. Na računalnim 3D prototipovima svih modela odjevnih predmeta, analizom istezanja u smjeru potke (x), uočena je izražena simetrija deformacija na lijevoj i desnoj strani tijela, dok su kod ispitivanja realnih prototipova vidljive razlike u raspodjeli deformacija po površini segmenata na lijevoj i desnoj strani. Uočeni nedostatak, odnosno razlika između računalnih i realnih prototipova posljedica je simetrije računalnih 3D modela tijela, kao i simetrije kinematičkih pomaka kod animacije pojedinog pokreta.

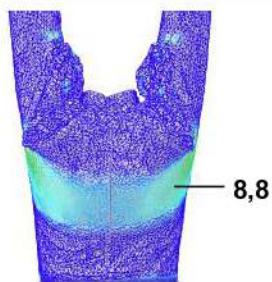
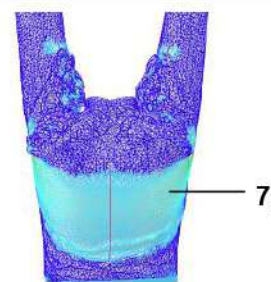
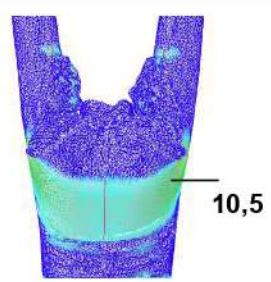
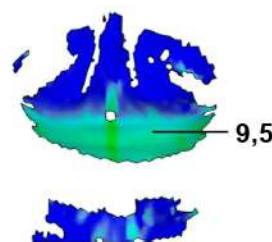
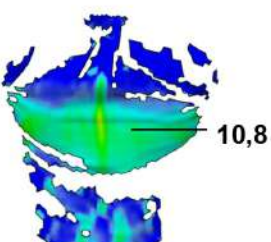
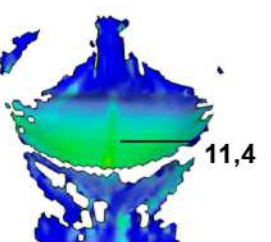
**Tablica 80** Rezultati analize istezanja realnih i računalnih 3D prototipova modela ženskog kombinezona K3 u smjeru potke (x) – položaj P1

| P1              | Istezanje (x) - potka [%]                                                           |                                                                                      |                                                                                       |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|                 | I1                                                                                  | I2                                                                                   | I3                                                                                    |
| 3D prototip     |  |  |  |
| Realni prototip |  |  |  |

**Tablica 81** Rezultati analize istezanja realnih i računalnih 3D prototipova modela ženskog kombinezona K3 u smjeru potke (x) – položaj P2

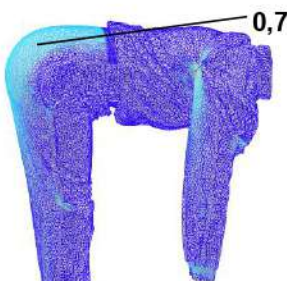
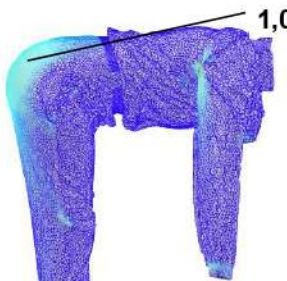
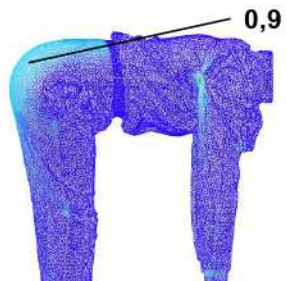
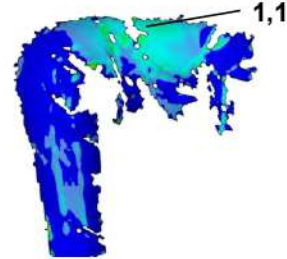
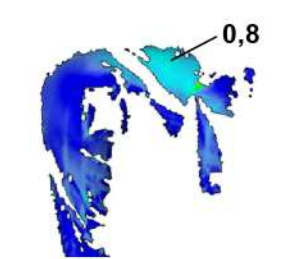
| P2              | Istezanje (x) - potka [%]                                                             |                                                                                        |                                                                                         |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
|                 | I1                                                                                    | I2                                                                                     | I3                                                                                      |
| 3D prototip     |  7,1 |  3,0 |  7,5 |
| Realni prototip |  6,7 |  2,5 |  6,4 |

**Tablica 82** Rezultati analize istezanja realnih i računalnih 3D prototipova modela ženskog kombinezona K3 u smjeru potke (x) – položaj P3

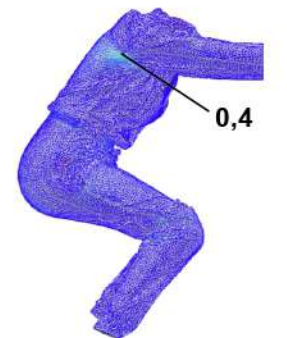
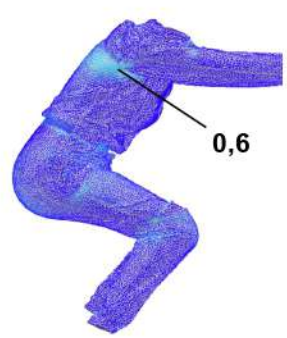
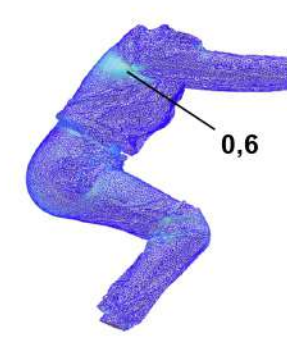
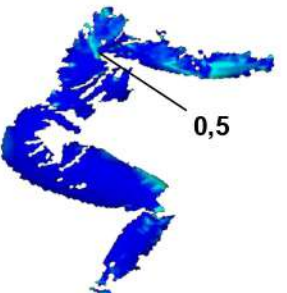
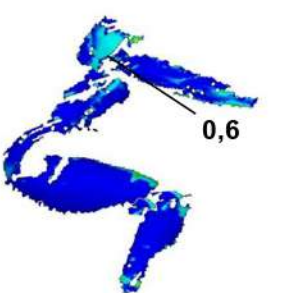
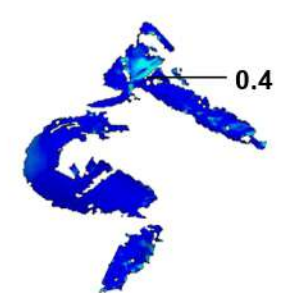
| P3              | Istezanje (x) - potka [%]                                                               |                                                                                           |                                                                                            |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
|                 | I1                                                                                      | I2                                                                                        | I3                                                                                         |
| 3D prototip     |  8,8 |  7,9  |  10,5 |
| Realni prototip |  9,5 |  10,8 |  11,4 |



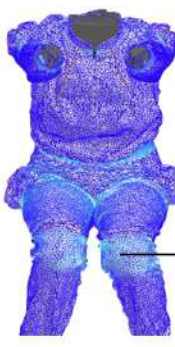
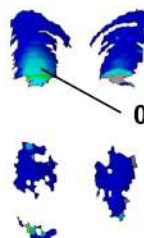
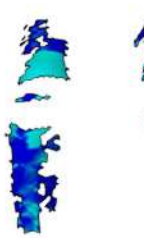
**Tablica 83** Rezultati analize istezanja realnih i računalnih 3D prototipova modela ženskog kombinezona K3 u smjeru osnove (y) – položaj P4

| P4              | Istezanje (y) - osnova [%]                                                         |                                                                                     |                                                                                      |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|                 | I1                                                                                 | I2                                                                                  | I3                                                                                   |
| 3D prototip     |   |   |   |
| Realni prototip |  |  |  |

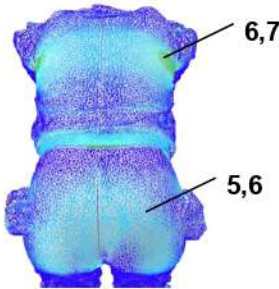
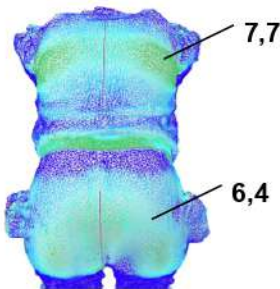
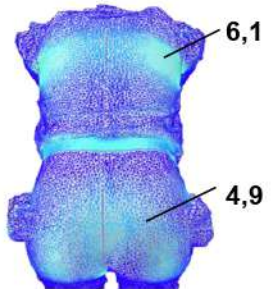
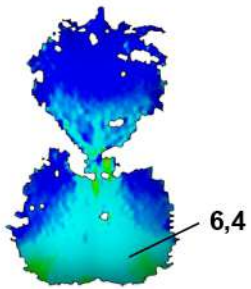
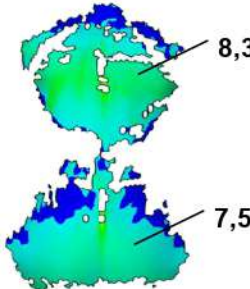
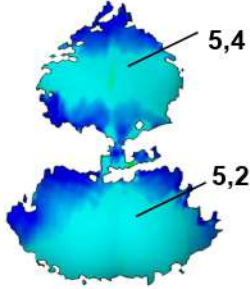
**Tablica 84** Rezultati analize istezanja realnih i računalnih 3D prototipova modela ženskog kombinezona K3 u smjeru osnove (y) – položaj P5 sagitalno

| P1              | Istezanje (y) – osnova [%]                                                          |                                                                                      |                                                                                       |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|                 | I1                                                                                  | I2                                                                                   | I3                                                                                    |
| 3D prototip     |  |  |  |
| Realni prototip |  |  |  |

**Tablica 85** Rezultati analize istezanja realnih i računalnih 3D prototipova modela ženskog kombinezona K3 u smjeru osnove (y) – položaj P5 frontalno

| P1              | Istezanje (y) – osnova [%]                                                             |                                                                                        |                                                                                          |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
|                 | I1                                                                                     | I2                                                                                     | I3                                                                                       |
| 3D prototip     |  0,2  |  0,3  |  0,3  |
| Realni prototip |  0,6 |  0,4 |  0,3 |

**Tablica 86** Rezultati analize istezanja realnih i računalnih 3D prototipova modela ženskog kombinezona K3 u smjeru potke (x) – položaj P5 posteriorno

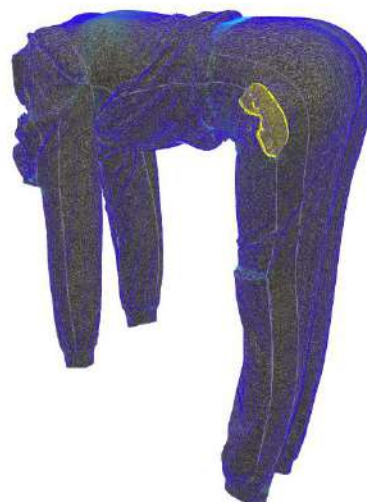
| P1              | Istezanje (x) – potka [%]                                                                      |                                                                                                 |                                                                                                  |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                 | I1                                                                                             | I2                                                                                              | I3                                                                                               |
| 3D prototip     |  6,7<br>5,6 |  7,7<br>6,4 |  6,1<br>4,9 |
| Realni prototip |  6,4<br>6,4 |  8,3<br>7,5 |  5,4<br>5,2 |



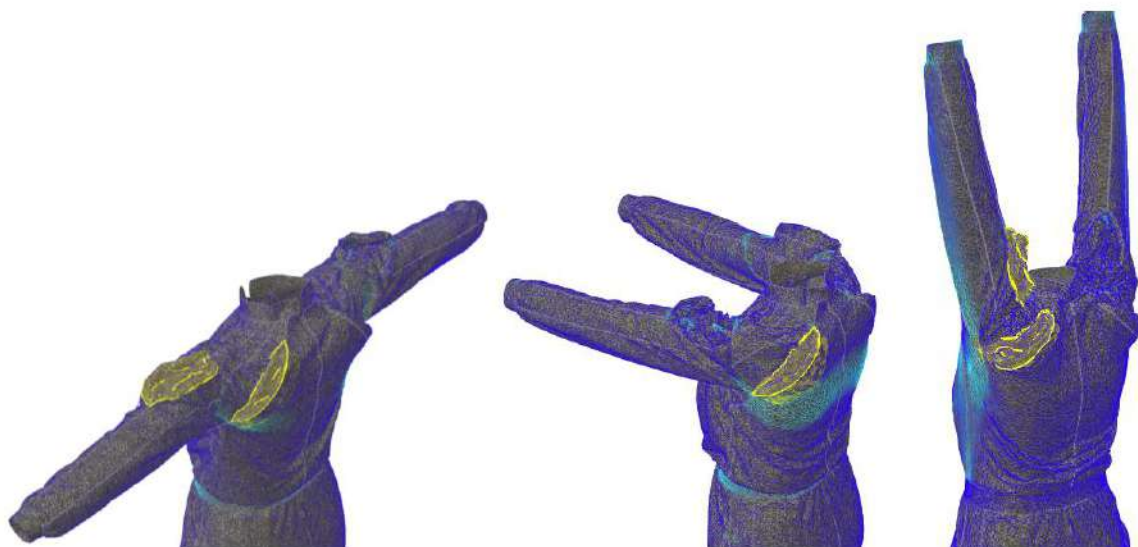
S aspekta analize dizajna funkcionalnog modela kombinezona K3, koji je u okviru ovog istraživanja kreiran na temelju rezultata istraživanja deformacija tijela u pokretu, prikazanih u toč. 4.2.2., na ciljane segmente leđa, bokova, rukava i koljena dodani su elementi u obliku ušivenih duplih slaganih nabora koji se kod deformacije tijela u pokretu otvaraju i osiguravaju dodatnu komociju za neometano izvođenje pokreta. Na razvijenim računalnim 3D prototipovima potvrđeno je očekivano ponašanje i otvaranje simuliranih elemenata nabora prilikom kretanja, kao i kod realnih prototipova, što je na dodatno doprinjelo dobroj pristalosti modela kombinezona K3 u dinamičkim uvjetima, sl. 165 do 168.



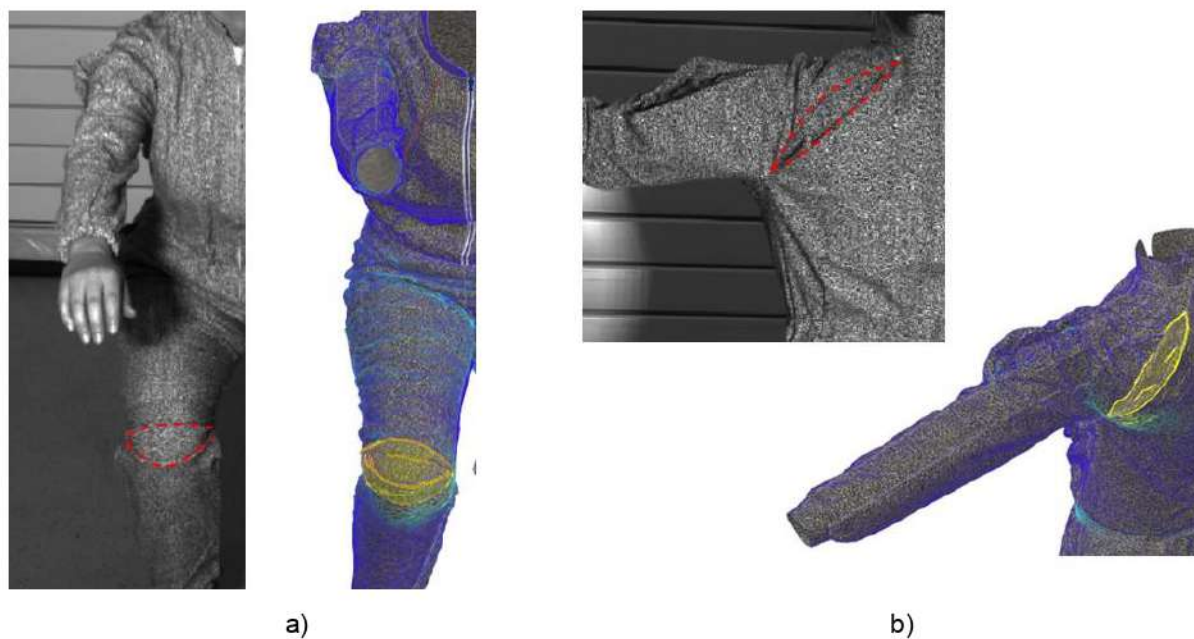
**Slika 165** Nabori na kombinezonu K3 u položaju P0



**Slika 166** Otvaranje nabora na nogavici kombinezona K3 u položaju P4

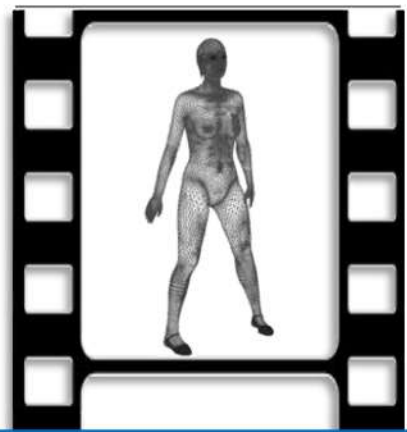


**Slika 167** Otvaranje nabora na gornjem dijelu kroja kombinezona K3 kod pokreta ruku - položaji P1, P2 i P3

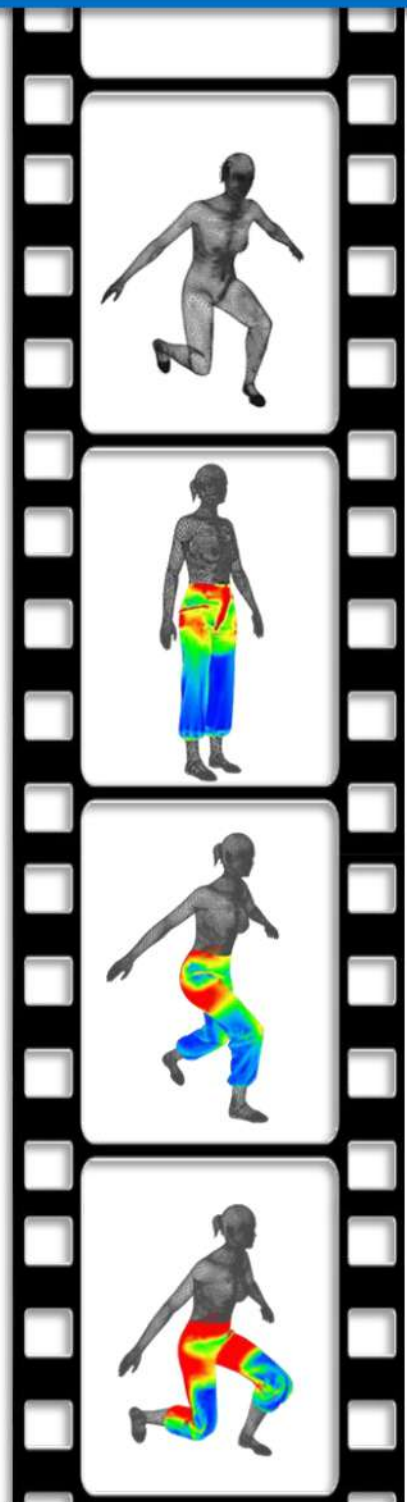


**Slika 168** Otvaranje nabora na realnom i računalnom 3D prototipu kombinezona K3: a) nabor na koljenu u položaju čučnja P5, b) nabor na leđima u položaju razručenja P1





## 5. ZAKLJUČCI



## 5. ZAKLJUČCI

Na temelju provedenog istraživanja i analize utvrđenih rezultata doneseni su sljedeći zaključci:

- Na temelju podataka utvrđenih 3D skeniranjem definirani su indikatori tipova oblika i držanja tijela, na temelju kojih je postavljena metoda klasifikacije različitih tipova te je razvijen algoritam za automatsku identifikaciju tipova oblika i držanja tijela, primjenjiv u procesu projektiranja i razvoja modela odjevnih predmeta. Utvrđeni numerički podaci o antropometrijskim karakteristikama pojedinog tipa tijela korišteni su u procesu razvoja parametarskih krojeva modela odjevnih predmeta i definiranja matematičkih izraza za prilagodbu dimenzija segmenata krojeva prema pojedinom tipu.
- Primjenom optičkog 3D mjernog sustava Aramis za dinamičku analizu deformacija omogućeno je snimanje i analiza deformacija tijela u pokretu, pri čemu se deformacije površinske geometrije analiziraju u određenom smjeru ( $x/y$ ), ovisno o segmentu tijela koji se promatra. Praćenje deformacija tijekom cijelog izvođenja pokreta i mogućnost vizualizacije i analize deformiranih segmenata površine tijela, kao mjerna metoda predstavljaju veliku prednost u odnosu na 3D skeniranje tijela u karakterističnim položajima i utvrđivanje linearnih promjena na tjelesnim mjerama. Analizom deformacija površinske geometrije tijela primjenom 3D mjernog sustava Aramis, na tri ispitanice različitih tipova tijela utvrđene su različite vrijednosti i zone deformacija tijela u pojedinom pokretu. S obzirom da su sve tri ispitanice sličnih dimenzija, odnosno osnovne tjelesne mjere odgovaraju istoj odjevnoj veličini (vel. 38), izražene razlike u deformacijama mogu se povezati s pripadnosti različitim tipovima oblika tijela, što potvrđuje postavljenu hipotezu **H1** da deformacije na tijelu u pokretu ovise o razvijenosti i obliku tijela.
- Proces 3D animacije i razvoja animiranih modela tijela prema ciljanoj osobi izuzetno je kompleksan, dugotrajan i kao takav teško primjenjiv u području računalnog 3D projektiranja odjeće, s obzirom da bi se za svakog ispitanika, odnosno korisnika za kojeg se razvija odjeća po mjeri, trebalo razviti novog individualiziranog avatara. U tom smislu, primjena univerzalne mreže tijela, poput SMPL modela, koja omogućava prilagodbu preklapanjem s ciljanim 3D modelom kao predloškom, značajno ubrzava cjelokupan proces. Prilagodba SMPL modela prema skeniranom 3D modelu tijela kao predlošku, omogućava dovoljno dobru prilagodbu dimenzija i oblika površine za primjenu u razvoju i analizi 3D prototipova odjeće.

- Analizom kinematičkih parametara skeniranih 3D modela tijela u program Anthroscan utvrđeni su podaci o hijerarhijskoj strukturi i koordinatama točaka zglobova, koji se mogu primjeniti u procesu prilagodbe unutarnjeg kinematičkog modela kostura prema obliku i dimenzijama površinskog modela. Na temelju utvrđenih podataka kreirane su skript datoteke za automatsku prilagodbu pozicija zglobova unutarnjeg kinematičkog kostura, prema skeniranom 3D modelu tijela. Razvijenom metodom prilagodbe u okviru doktorskog rada, potvrđena je postavljena hipoteza **H1** da se prilagodbom antropometrijskih i kinematičkih parametara prema prema pojedinom tipu tijela, odnosno podacima utvrđenim 3D skeniranjem, može ostvariti realistična animacija i deformacija površine modela tijela primjenjiva za 3D simulaciju u dinamičkim uvjetima. Primjenom podataka 3D skeniranja i razvijenih skript datoteka izbjegnute su neželjene, neprirodne deformacije površine do kojih dolazi kod interaktivnog namještanja pozicija zglobova.
- Na računalnim 3D prototipovima odjevnih predmeta, razvijenim prema metodi koja je postavljena i prikazana u ovom doktorskog radu, prilikom simulacije na 3D modelima tijela prilagođenim antropometrijskim i kinematičkim karakteristikama ispitnica različitih tipova, utvrđene su razlike u vrijednostima zona najvećih deformacija, kao i obliku segmenata površine odjevnog predmeta koji su zahvaćeni deformacijom, između prilagođenih prototipova, odnosno ispitnica različitih tipova tijela. Time je dodatno potvrđena postavljena hipoteza **H1**.
- 3D simulacijama modela odjevnih predmeta, na temelju definiranih parametara fizikalnih i mehaničkih svojstava, utvrđenih ispitivanjem na realnim uzorcima ciljanih tekstilnih materijala, ostvarene su realistične deformacije površina računalnih 3D prototipova, u odnosu na dimenzije i deformacije 3D modela tijela različitih tipova u statičkim i dinamičkim uvjetima, čime je potvrđena postavljena hipoteza **H2** da se modeliranjem mehaničkog ponašanja tekstilnog materijala pri simulaciji odjeće, temeljem vrijednosti određenih mehaničkih svojstava, može ostvariti deformacija površine odjevnog predmeta u korelaciji s deformacijama tijela u zadanom pokretu.
- Analizom računalnih 3D prototipova utvrđeni su vrlo dobri rezultati i zadovoljavajuća razina realističnosti ostvarenih deformacija površina 3D prototipova, u odnosu na rezultate ispitivanja na izrađenim realnim prototipovima modela. Time je potvrđena postavljena hipoteza **H3**, da se na temelju analize deformacija geometrije računalnih 3D prototipova modela odjevnih predmeta, u interakciji s modelom tijela u pokretu, može vjerodostojno vrednovati naprezanje odjevnog predmeta u dinamičkim uvjetima

te je potvrđena primjenjivost postavljene metodologije za razvoj i analizu računalnih 3D prototipova u dinamičkim uvjetima, razvijena u okviru doktorskog istraživanja.

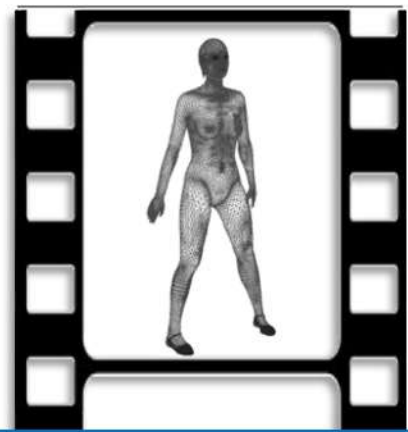
U okviru cjeline istraživanja koja se odnosi na antropometrijsku analizu različitih tipova tijela, postavljena je metoda i razvijen algoritam za automatsku klasifikaciju tipova oblika i držanja skeniranih 3D modela ženskog tijela. Metoda se temelji na analizi tjelesnih krivulja, koje opisuju figuru i zakrivljenost kralježnice preko numeričkih indikatora utvrđenih 3D skeniranjem, što predstavlja iskorak u odnosu na prethodna istraživanja i doprinos u području antropometrijskih mjerenja i klasifikacije tipova tijela. U okviru istraživanja antropometrijskih karakteristika na tijelu u dinamičkim uvjetima, osim analize promjena tjelesnih mjera na skeniranom uzorku ispitanica u karakterističnim tjelesnim položajima, istražene su mogućnosti primjene optičkog 3D mjernog sustava za dinamičku analizu deformacija, čija je primarna namjena snimanje i mjerenje deformacija elemenata i sklopova u području strojarstva i građevine te koji do sada nije primjenjivan u istraživanjima antropometrije ljudskog tijela. Postavljena metodologija snimanja i analize deformacija geometrije površine tijela u pokretu, omogućava praćenje deformacija površine tijela tijekom cijelog izvođenja pokreta i analizu promjena dimenzija po zonama i segmentima površine. To predstavlja puno cjelovitiji pristup istraživanju u odnosu na analizu promjena linearnih segmenata tjelesnih mjera na skeniranim modelima tijela u karakterističnim položajima, te je time ostvaren doprinos području dinamičke antropometrije. Analizom deformacija segmenata površine tijela u pokretu, utvrđuju se podaci značajni za konstrukciju i projektiranje odjeće, na temelju kojih je u okviru doktorskog rada razvijena metoda parametrizacije krojeva modela odjevnih predmeta. Postavljeni matematički izrazi za prilagodbu dimenzija segmenata kroja prema antropometrijskim karakteristikama tri različita tipa tijela u statičkim i dinamičkim uvjetima, u odnosu na dosadašnje metode prilagodbe odjeće po mjeri, omogućuju potpuno cjelovitu prilagodbu s aspekta pristalosti i funkcionalnosti odjevnog predmeta u statičkim i dinamičkim uvjetima.

U okviru istraživanja mogućnosti prilagodbe i animacije parametarskog 3D modela tijela i razvoja animiranih modela prilagođenih ciljanim antropometrijskim karakteristikama, prikladnih za 3D simulacije odjeće i analizu računalnih prototipova, razvijena je metoda za točnu prilagodbu kinematičkog kostura, prema podacima utvrđenim 3D skeniranjem. Time je omogućeno direktno povezivanje sustava za 3D skeniranje i procesa animacije, što značajno ubrzava dugotrajan i kompleksan proces razvoja animiranih modela prema ciljanim antropometrijskim karakteristikama i predstavlja značajan iskorak u području 3D animacije i analize dinamičkog ponašanja odjeće pod utjecajem biomehanike tijela.

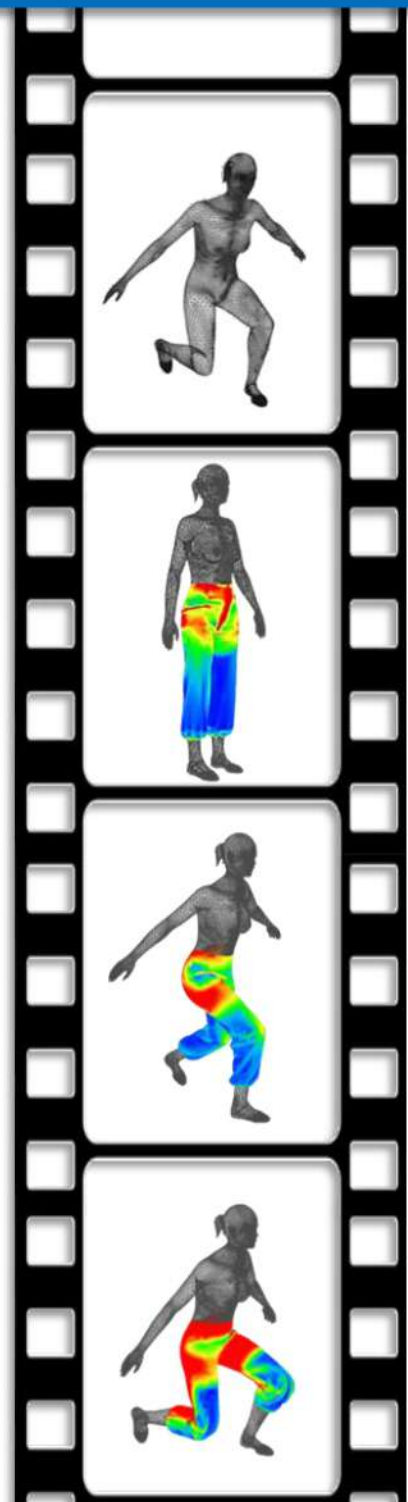


Izvođenjem 3D simulacija na razvijenim animiranim modelima tijela, omogućena je analiza deformacija računalnih 3D prototipova u dinamičkim uvjetima, pri čemu su za vrednovanje dinamičke pristalosti, kao kriterij postavljene referentne vrijednosti istezanja odabranog tekstilnog materijala, definirane na temelju ispitivanja vlačnih svojstava različitim objektivnim metodama vrednovanja. Predloženi pristup vrednovanju računalnih 3D prototipova preko definiranih parametara mehaničkih svojstava simuliranog materijala, predstavlja iskorak u području računalnog 3D projektiranja odjeće, s obzirom da u dosadašnjim istraživanjima nije zabilježena egzaktno definirana metodologija vrednovanja računalnih 3D prototipova, nego se vrednovanje uglavnom svodi na analizu u odnosu na realno izrađene prototipove i subjektivnu procjenu od strane stručnjaka. U tom smislu, dodatno su istražene mogućnosti primjene optičkog 3D mjernog sustava za dinamičku analizu deformacija realno izrađenih prototipova modela odjevnih predmeta, s ciljem verifikacije rezultata razvoja i analize računalnih 3D prototipova preko objektivno mjerljivih pokazatelja, što predstavlja značajan doprinos u području odjevne tehnologije i računalnog razvoja novih modela odjevnih predmeta.





## 6. LITERATURA



## 6. LITERATURA

- [1] Zakaria, N.; Gupta, D.: *Anthropometry, Apparel Sizing and Design*, 2019., Elsevier
- [2] Dabolina, I. et al.: Dynamic anthropometry for investigation of body movement comfort in protective jacket, U: *Functional textiles and clothing*, 2019., Singapore: Springer, pp. 241-259.
- [3] Petrak, S.; Mahnic Naglic, M. and Rastovac, I.: Dynamic Anthropometry – Research on Body Dimensional Changes, *Tekstlec*, 66 (2023) 3, ISSN 0351-3386, doi: <https://doi.org/10.14502/tekstlec.66.2023031>
- [4] Morlock, S. et al.: Functional body measurements - Motion-oriented 3D analysis of body measurements. *Proc. Of 3DBODY.TECH 2019 10th international conference and exhibition on 3D body scanning and processing technologies*, Ascona: Hometrica Consulting, 2019., pp. 244-253, doi: 10.15221/19.244
- [5] Avadanei, M. et al.: A new approach to dynamic anthropometry for the ergonomic design of a fashionable personalised garment, *Sustainability*, 14 (2022) 13, 7602, doi: 10.3390/su14137602.
- [6] Pandžić, I.S. i sur: Virtualna okruženja: Interaktivna 3D grafika i njene primjene, 2011., Zagreb: Element, ISBN: 978-953-197-606-0
- [7] Wu, X. and Kuzmichev, V.: A design of wetsuit based on 3D body scanning and virtual technologies, *International Journal of Clothing Science and Technology*, 33 (2021) 4, 477-494, doi: 10.1108/IJCST-02-2020-0021
- [8] Petrak, S.; Mahnic Naglic, M. and Gersak, J.: Sizing and fit for swimsuits and diving suits, U: *Anthropometry, apparel sizing and design (2nd edition)*. Gupta, D. Gupta i Zakaria, N. Zakaria (ur.), Cambridge: Woodhead publishing, 2020., p.p. 255-287, doi: 10.1016/B978-0-08-102604-5.00010-X
- [9] Klepster, A. et al.: Is this real? Avatar generation for 3D garment simulation, *Journal of textile and apparel, Technology and management*, (2021)
- [10] Zhang, D. and Krzywinski, S.: Development of a kinematic human model for clothing and high performance garments, *Proceedings of 3DBODY.TECH 2019 10th Conference and exhibition on 3D body scanning and processing technologies*, Ascona: Hometrica Consulting, pp. 68-73



- [11] Nikolić, V.; Hudec, M. i sur.: Principi biomehanike, 2011., Sveučilište u Zagrebu, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Zagreb: Ljevak, ISBN: 978-953-303-435-5
- [12] Medved, V.: Kinematika i kineziologija lokomocije. U: *Principi biomehanike*, 2011., Sveučilište u Zagrebu, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Zagreb: Ljevak, pp. 481-496
- [13] Heimer, Ž.: *Automatizirano kliničko mjerenje biomehanike i kineziologije hoda*, 2005., magistarski rad, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva
- [14] Nikolić, V.: Biomehanika zglobova i spojevi skeleta, U: *Principi biomehanike*, 2011., Sveučilište u Zagrebu, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Zagreb: Ljevak
- [15] Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2020. <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=7782> (Pristupljeno 11.11.2020.)
- [16] Hrvatska tehnička enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2020. <https://tehnika.lzmk.hr/biomehanika/> (Pristupljeno 11.11.2020.)
- [17] Marieb, E.: *Anatomy of human physiology and anatomy*, 8th ed., 2006., San Fransisco: Pearson Education Inc.
- [18] Thomson, C. and Floyd, R: *Manual of structural kinesiology*, 15th ed., 2004., New York: McGraw Hill
- [19] Hatze, H.: A Mathematical Model for the Computational Determination of Parameter Values of Anthropometric Segments, *Journal of Biomechanics*, 13 (1980), 833-843, ISSN 0021-9290
- [20] Kim, T.H. et al.: Development of a biomechanical model of human body in a sitting posture with vibration transmissibility in the vertical direction, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 23 (2009) 9, 817-829, ISSN 0169-8141
- [21] Medved, V.: *Measurement of human locomotion*, 2001., Boca Raton: CRC Press, ISBN 978-0-36-739777-7
- [22] Badler, N. et al.: *Simulating humans, computer graphics, animation and control*, 1993., Oxford University Press, URL: <https://www.cis.upenn.edu/~badler/book/SimulatingHumans.pdf> (Pristupljeno 18.6.2019.)
- [23] Parent, R.: *Computer Animation Algorithms and Techniques*, 2012., SAD: Morgan Kaufmann, Elsevier, ISBN: 978-0-12-415842-9

- [24] Welman, C.: *Inverse kinematics and geometric constraints for articulated figure manipulation*, 1993., magistarski rad, Kanada: Simon Fraser University, <https://core.ac.uk/download/pdf/56369926.pdf> (Pristupljeno 20.3.2020.)
- [25] Clayton, M. and Philo, R.: *Leonardo da Vinci The Mechanics of Man*, 2013., London: Royal Collection Trust, ISBN: 978-1-905686834
- [26] Wu, G. and Cavanaugh, P.R.: ISB recommendations for standardization in the reporting of kinematic data, *Journal of Biomechanics*, 28 (1995) 10, 1257-1261, ISSN 0021-9290
- [27] Wu, G.: ISB recommendation on definitions of joint coordinate system of various joints for the reporting of human joint motion – part I: ankle, hip and spine, *Journal of Biomechanics*, 35 (2002) 4, 543-548, ISSN 0021-9290
- [28] Wu, G. et al.: ISB recommendation on definitions of joint coordinate system of various joints for the reporting of human joint motion – part II: shoulder, elbow, wrist and hand, *Journal of Biomechanics*, 38 (2005) 5, 981-992, ISSN 0021-9290
- [29] Kadaba, M.P. et al.: Measurement of lower extremity kinematics during walking, *Journal of Orthopaedic Research*, 8 (1990), 383-392, ISSN 1554-527X
- [30] Challis, J.H.: A procedure for determining rigid body transformation parameters, *Journal of Biomechanics*, 28 (1995), 733-737, ISSN 0021-9290
- [31] Antropometrija. *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. (2021.) Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, <https://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=3195> (Pristupljeno 12.12.2023.)
- [32] ISO 8559:1989 - Konstrukcija odjeće i antropometrijska istraživanja - tjelesne dimenzije (Garment construction and anthropometric surveys - Body dimensions)
- [33] ISO 7250:1996 - Osnovne mjere ljudskog tijela za tehnološki dizajn (Basic body measurements for technological design)
- [34] Petrova, A. and Ashdown, S.P.: Comparison of garment sizing systems, *Clothing and Textiles Research Journal*, 30 (2012) 4, 267-284, ISSN 0887-302X
- [35] Bellemare, J.: Males: understanding sizing requirements for male apparel, U: *Designing apparel for consumers*, 2014., Philadelphia: Woodhead Publishing Limited, ISBN 9781782422105, pp. 189-220
- [36] Petrak, S.; Mahnić, M. and Rogale, D.: Impact of Male Body Posture and Shape on Design and Garment Fit, *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 23 (2015) 6, 150-158, ISSN 1230-3666

- [37] Tama, D. and Ondogan, Z.: Fitting Evaluation of Pattern Making Systems According to Female Body Shapes, *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 23 (2014) 4, 107-111, ISSN 1230-3666
- [38] D'apuzzo, N.: Overview of 3D surface digitization technologies in Europe, U: *Three-Dimensional Image Capture and Applications VI (6056 vol.)*, 2006., Corner, B.D. (ur.) San Jose: SPIE – The International Society for Optical Engineering, doi: 10.1117/12.650123.
- [39] Daanen, H. and Psikuta, A.: 3D body scanning, U: *Automation in Garment Manufacturing*, 2018., Woodhead Publishing, p.p. 237-252, ISBN: 978-0-08-101211-6, doi: 10.1016/B978-0-08-101211-6.00010-0.
- [40] Fisher, T. et al.: Automatic morphological classification with Case-Based Reasoning, *Proceedings of 6th International Conference on 3D Body Scanning Technologies*, 2016., D'Apuzzo, N. (ur.), Ascona: Hometrica Consulting, ISBN 978-303-303-6512, pp. 148-158
- [41] Mahnić Naglic, M. and Petrak, S.: A method for body posture classification of three dimensional body models in the sagittal plane, *Textile Research Journal*, 89 (2019) 2, 133-149, ISSN 0040-5175
- [42] Gupta, D.: New directions in the field of anthropometry, sizing and apparel, U: *Anthropometry, Apparel Sizing and Design*, 2020., ISBN: 978-0-08-102605-2, pp. 3-27
- [43] Muftić, O., Jurčević Lulić, T. i Godan, B.: Harmonijska raspodijela mase dijelova ljudskog tijela, *Sigurnost*, 53 (2011) 1, 1-10, ISSN 0350-6886
- [44] Geršak, J. and Marčić, M.: The complex design concept for functional protective clothing, *Tekstil*, 62 (2013) 1/2, 38-44, ISSN 0492-5882
- [45] Klepster, A. et al.: Functional measurements and mobility restriction (from 3D to 4D scanning). U: *Anthropometry, Apparel Sizing and Design*, 2020., pp. 169-199, ISBN: 978-0-08-102605-2
- [46] HRN EN ISO 20685-2:2017 Ergonomija -- 3-D metodologije skeniranja za međunarodno kompatibilne antropometrijske baze podataka – 2 dio: Evaluacijski protokol oblika površine i ponovljivosti relativnih referentnih pozicija (ISO 20685-2:2015; EN ISO 20685-2:2017)
- [47] HRN ISO 15534-3:2003 Ergonomsko oblikovanje za sigurnost strojeva – 3. dio: Antropometrijski podaci (ISO 15534-3:2000)

- [48] HRN EN 547-3:2010 Sigurnost strojeva -- Mjerenja ljudskog tijela -- 3. dio: Antropometrijski podaci (EN 547-3:1996+A1:2008)
- [49] HRN EN 4730:2019 Zrakoplovstvo -- Antropometrijske mjere sjedala u zrakoplovu (EN 4730:2018)
- [50] Bogović, S. et al.: The use of new technologies for the development of protective clothing: comparative analysis of body dimensions of static and dynamic postures and its application, *AUTEX Research Journal*, 19 (2018) 4, 301-311, ISSN 2300-0929, doi: 10.1515/aut-2018-0059
- [51] Dabolina, I. and Lapovska, E.: Sizing and fit for protective clothing, U: *Anthropometry, apparel sizing and design (2nd edition)*. Gupta, D. Gupta i Zakaria, N. Zakaria (ur.), Cambridge: Woodhead publishing, 2020., p.p. 289-316, doi: 10.1016/B978-0-08-102604-5.00011-1.
- [52] Rogale, D. i Firšt Rogale, S.: Tjelesna konstitucija čovjeka, U: *Hrvatski antropometrijski sustav – podloga za hrvatske norme za veličinu odjeće i obuće*, 2006., Zagreb: Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, ISBN 9537105091, pp. 138-149
- [53] Hadžiselimović, R.: Konstitucijska biotipologija, U: *Bioantropologija – Biodiverzitet recentnog čovjeka*, 2005., Sarajevo: Institut za genetičko inženjerstvo i biotehnologiju, ISBN 9789958934421
- [54] Simmons, K., Istook, C.L. and Devarajan, P.: Female figure identification technique (FFIT) for apparel Part I: Describing female shapes, *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, 4 (2004) 1, 1-16, ISSN 1533-0915
- [55] Shin, S.H. et al.: Various Men's Body shapes and drops for developing menswear sizing system in the united states, *Journal of corean society of clothing and textiles*, 35 (2011) 12, 1454-1465, ISSN 1225-1151
- [56] Sheldon, W.H., Stevens, S.S. and Tucker, W.B.: The Varieties of Human Physique: An Introduction to Constitutional Psychology, 1940., New York: Harper & Brothers
- [57] Douty, H.I.: Visual somatometry in health related research, *Journal of the Alabama Academy of Science*, 1968., 21-34
- [58] Connell, L.J. et al.: Body shape assessment scale: Instrument development for analyzing female figures, *Clothing and Textiles Research Journal*, 24 (2006) 2, 80-95, ISSN 0887-302X



- [59] Vuruskan, A. and Bulgun, E.: Identification of female body shapes based on numerical evaluations, *International Journal of Clothing Science and Technology*, 23 (2011) 1, 46-60, ISSN 0955-6222
- [60] Petrova, A. and Ashdown, S.P.: Three-dimensional body scan data analysis: Body shape and size dependence of ease values for pants fit, *Clothing and Textiles Research Journal*, 26 (2008) 3, 227-252, ISSN 0887-302X
- [61] Salusso-Deonier, C.J. et al.: An alternative approach to sizing apparel for women 55 and older, *Clothing and Textiles Research Journal*, 24 (2006) 2, 96-111, ISSN 0887-302X
- [62] Simmons, K., Istook, C.L. and Devarajan, P.: Female figure identification technique (FFIT) for apparel, Part II: Development of shape sorting software, *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, 4 (2004) 1, 1-15, ISSN 1533-0915
- [63] Mahnić Naglic, M. and Petrak, S.: Development of a female body types classification method, *Proceedings of 13th international scientific-professional symposium Textile Science and Economy*, 2020., Zagreb: Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet
- [64] Masuda, T.: Classification Features of 3D-body curved surface shapes of adult males in the extensive age group using angle curvature, *Journal of Textile Engineering*, 66 (2020) 6, 93-107, doi: 10.4188/jte.66.93
- [65] Ashdown, S. et al.: Use of body scan data to design sizing systems based on targeted markets, *National Textile Center Annual Report*, 11 (2001) 4, 1-5
- [66] Robinette, K.M. and Daanen, H.A.M.: Precision of CAESAR scan-extracted measurements, *Applied ergonomics*, 37 (2006) 3, 259-265, doi: 10.1016/j.apergo.2005.07.009
- [67] Ballaster, A. et al.: „KIDSIZE: Always get the right size, *Proceedings of 7th International conference on 3D body scanning technologies*, 2016., Ascona: Hometrica Consulting, p.p. 139-147, doi: <https://doi.org/10.15221/16.139>
- [68] Kidsize solutions Instituto de Biomechanica de Valencia, (IBV), url:<https://www.ibv.org/proyecto/development-of-new-extended-productservice-concepts-for-children-fashion-online/> (Pristupljeno 13.4.2023.)
- [69] Petrak, S. and Rogale, D.: Systematic Representation and Application of a 3D Computer-Aided Garment Construction Method, Part I: 3D garment basic cut construction on a virtual body model, *International Journal of Clothing Science and Technology*, 18 (2006) 3, 179-187, ISSN 0955-6222

- [70] Lu, J.M. et al.: The development of an intelligent system for customized clothing making, *Expert system with application*, 37 (2010) 1, 799-803
- [71] Song, H.K. and Ashdown, S.P.: Development of Automated Custom-Made Pants Driven by Body Shape, *Clothing and Textiles Research Journal*, 30 (2012) 4, 315-329, ISSN 0887-302X
- [72] Su, J., Liu, G. and Xu, B.: Development of individualized pattern prototype based on classification of body features, *International Journal of Clothing Science and Technology*, 27 (2015) 6, 895-907, ISSN 0955-6222
- [73] Hong, Y. et al.: Design and evaluation of personalized garment block design method for atypical morphology using the knowledge-supported virtual simulation method, *Textile Research Journal*, 88 (2018) 15, 1721–1734, ISSN 0040-5175
- [74] Petrak, S.; Mahnic, M. and Ujevic, D.: Research of 3D Body Models Computer Adjustment Based on Anthropometric Data Determined by Laser 3D Scanner, *Proceedings of 3rd International Conference on 3D Body Scanning Technologies*, 2012., D'Apuzzo, N. (ur.), pp. 115-126, Ascona: Hometrica Consulting, ISBN 9783033036512
- [75] Jones, P.R.M. et al.: The longhborough anthropometric shadow scanner (LASS), *Endeavor*, 13 (1989) 4, 162-168
- [76] Daanen, H.A.M. and Ter Haar, F.B.: 3D whole body scanners revisited, *Display*, 34 (2013) 4, 270-275
- [77] Bodymapp Ltd, url: <https://bodymapp.co/> (Pristupljeno 30.2.2024.)
- [78] Botspot 3D Scan GmbH, url:<https://botspot.de/3d-scanners/> (Pristupljeno 13.1.2024.)
- [79] ISO 20685:2010 - 3D scanning methodologies for internationally compatible anthropometric databases
- [80] Petrak, S.: Metoda 3D konstrukcije odjeće i modeli transformacija krojnih dijelova, 2007. doktorska disertacija, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet
- [81] Humanetics Digital Europe GmbH, url:<https://www.avalution.net/en/index.html> (Pristupljeno 13.1.2024.)
- [82] Mahnic Naglic, M. and Petrak, S.: Analysis of Surface Segments Deviations Between Different Female Body Types Based on 3D Flattening Method, U: *Advances in Simulation and Digital Human Modeling*, Scatallini, S.. (ur.), Cham: Springer, 2020. p.p. 241-247

- [83] Avandanei, M.: Dynamic Anthropometry – A solution for improving the shape of individual protective garments, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 9 (2020) 7, 162-165, ISSN: 2278-0181
- [84] Chi, L. and Kennon, W.R.: Body scanning of dynamic posture, *International Journal of Clothing Science and Technology*, 18 (2006) 3, 166-178, doi: 10.1108/09556220610657934.
- [85] Petrak, S. and Mahnić Naglic, M.: Dynamic Anthropolmetry – Defining Protocols for Automatic Body Measurement, *Tekstilec*, 60 (2017) 4, 254-262, doi: 10.14502/Tekstilec2017.60.254-262
- [86] Gill, S. and Heyes, S.: Lower body functional ease requirements in the garment pattern, *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*, 5 (2012) 1, 13-23, ISSN: 1754-3266
- [87] Lee, H., Hong, K. and Lee, Y.: Ergonomic Mapping of Skin Deformation in Dynamic Postures to Provide Fundamental Data for Functional Design Lines of Outdoor Pants, *Fibres and Polymers*, 14 (2013) 12, 2197-2201.
- [88] Choi, J. and Hong, K.: 3D skin length deformation of lower body during knee joint flexion for the practical application of functional sportswear, *Applied ergonomics*, 48 (2015), 186-201
- [89] Choi, S. and Ashdown, S.P.: 3D body scan analysis of dimensional change in lower body measurements for active body positions, *Textile Research Journal*, 81 (2011) 1, 81-93
- [90] Choi, S.Y. and Ashdown, S.P.: Application of lower Body girth change analysis using 3D body scanning to pants patterns, *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 34 (2010) 6, 955-968
- [91] Xiao, P. and Ashdown, S.P.: Analysis of Lower Body Change in Active Body Positions of Varying Degrees, *Proc. of the 4th International Conference on 3D Body Scanning Technologies*, 2013., Long Beach USA, p.p. 19-20 doi: <http://dx.doi.org/10.15221/13.301>
- [92] Loercher, C., Morlock, S. and Schenk, A.: Design of a Motion-Oriented Size System for optimizing professional clothing and personal protective equipment, *Journal of fashion technology & textile engineering*, S4 (2018), doi: 10.4172/2329-9568.S4-014
- [93] Klepster, A. and Morlock, S.: 4D scanning – The dynamic view on body measurements, *Communication in development and assembling of textile products*, 1 (2020) 1, 30-38, ISSN: 2701-939X

- [94] 3dMD, [url:https://3dmd.com/products/#https://3dmd.com/products/#!/body](https://3dmd.com/products/#https://3dmd.com/products/#!/body) (Pristupljeno 30.2.2024.)
- [95] Parilla, E. et al.: MOVE 4D: Accurate high-speed 3D body models in motion, *Proceedings of 3DBODY.TECH 2019 – 10th International conference and exhibition on 3D body scanning and processing technologies*, 2019., Ascona: Hometrica Consulting, pp. 30-32, doi: 10.15221/19.030
- [96] Ballaster, A. et al.: To MOVE4D or not to move, that is the question, *Proceedings of 3DBODY.TECH 2019 – 12th International conference and exhibition on 3D body scanning and processing technologies*, 2021., Ascona: Hometrica Consulting, #48
- [97] Instituto de Biomechanica de Valencia (IBV), MOVE 4D, [url:https://www.ibv.org/tecnologias/analisis-de-movimientos-4d/move-4d-3/](https://www.ibv.org/tecnologias/analisis-de-movimientos-4d/move-4d-3/) (Pristupljeno 30.2.2024.)
- [98] Uriel, J. et al.: A methodology to obtain anthropometric measurements from 4D scans, *Proceedings of the 7th International Digital Human Modeling Symposium*, 7(2022) 1,12, 2022., doi: 10.17077/dhm.31758.
- [99] Petrak, S. et al.: Computer Design of Textile and Clothing Collection - Assumption of Contemporary Remote Business, *Proceedings of 11th World Textile Conference AUTEX 2011*, 2011., Adolphe, D. (ur.). Mulhouse: Ecole Nationale Supérieure d'Ingenieurs Sud-Alace, p.p. 1162-1168
- [100] Optitex, Fashion Design Software, [url: https://optitex.com/](https://optitex.com/) (Pristupljeno 3.9.2023.)
- [101] Clo3D, Fashion Design Software, [url:https://www.clo3d.com/en/](https://www.clo3d.com/en/) (Pristupljeno 3.9.2023.)
- [102] Zvereva, I.S. et al.: Identification of Textile Materials Properties in "Body-Clothes" Scanned Systems, *Proceedings of 3rd International Conference on 3D Body Scanning Technologies 3DBST 2012*, 2012., Ascona: Hometrica Consulting
- [103] Mahnic, M. and Petrak, S.: Investigation of the Fit of Computer-based Parametric Garment Prototypes, *Journal of Fiber Bioengineering and Informatics*, 6 (2013) 1, 51-61
- [104] Stjepanović, Z. et al.: 3D virtual prototyping of a ski jumpsuit based on a reconstructed body scan model, *Buletinul Institutului Politehnic din Iasi Sectia Textile*, 61 (2010), 17-30
- [105] Mahnic Naglic, M., Petrak, S. and Stjepanović, Z.: Analysis of 3D construction of tight fit clothing based on parametric and scanned body models, *Proceedings of 7th*



- International Conference on 3D Body Scanning Technologies*, 2016., D'Apuzzo, N. (ur.), Ascona: Hometrica Consulting, p.p. 302-313
- [106] Badler, N. and Smoliar, S.: Digital representations of human movement, *ACM Computing Surveys*, 11 (1979) 1, 19-38, ISSN 0360-0300
- [107] Magnenat-Thalmann, N. and Thalmann, D.: *Computer Animations: Theory and Practice*, 1985., Berlin: Springer-Verlag, ISBN 978-0-3877-0005-2
- [108] Pandžić, I.S. and Forchheimer, R.: *MPEG -4 Facial animation The standard, Implementation and Applications*, 2002., John Wiley and Sons, ISBN: 0-470-84465-5
- [109] Autodesk Maya, url:<https://www.autodesk.com/products/maya/features> (Pristupljeno 2.9.2023.)
- [110] Blender, <https://www.blender.org/> (Pristupljeno 2.9.2023.)
- [111] Autodesk 3Ds Max, url:<https://www.autodesk.com/products/3ds-max/overview?term=1-YEAR&tab=subscription> (Pristupljeno 2.9.2023.)
- [112] Arnold, E.M. et al.: A model of lower limb for analysis of human movement, *Annals Biomechanical Engineering*, 38 (2010) 2, 269-279
- [113] Sun, W. Et al.: Layered animation of captured data, *The visual vcomputer*, 17 (2001) 8, 457-474, ISSN 0178-2789
- [114] Zhou, X.J. and Zhao, Z.X.: The skin deformation of a 3D virtual human, *International journal of automation and computing*, 6 (2009) 4, 344-350, ISSN 1476-8186
- [115] Menache, A.: *Understanding Motion Capture for Computer animation*, 2011., Elsevier, ISBN: 978-0-12-381496-8
- [116] O'Hailey, T.: *Rig it Right! Maya Animation Rigging Concepts*, 2018., New York: CRC Press Taylor & Francis Group
- [117] Herbez, A.: *Maya Programming with Python*, 2016., Packt Publishing
- [118] Ma, Y.Y.; Zhang, H.; Jiang, SW.: Realistic modeling and animation of human body based on scanned data, *Journal of Computer Science and Technology*, 19 (2004) 4, 529-537.
- [119] Oliveira, J.F. et al.: Animating scanned human models, *Jornal of WSCG*, 11 (2003), 362-369
- [120] Mixamo, url:<https://www.mixamo.com/#/>, (Pristupljeno 2.9.2023.)

- [121] Allen, B., Curless, B. and Popovic, Z.: The space of human body shapes: reconstruction and parameterization from range scans, *Proceedings of ACM SIGGRAPH*, 2003., SAD: San Diego, pp. 27-31
- [122] Kasap, M. and Magnenat-Thalmann, N.: Skeleton-aware size variations in digital mannequins, *Visual Computer*, 27 (2011), 263-274
- [123] Sumner, R.W. and Popovic, J.: Deformation transfer for triangle meshes, *Proceedings of ACM SIGGRAPH*, 2004., 23 (2004) 3, 399-405
- [124] Klepster et al.: Is this real? Avatar generation for 3D garment simulation, *Journal of textile and apparel, Technology and management*, (2021)
- [125] Anguelov, D. et al.: SCAPE: Shape completion and animation of people, *ACM transactions and graphics (Proc. SIGGRAPH)*, 24 (2005) 3, 408-416, ISSN 0730-0301
- [126] Loper, M. et al.: SMPL: A skinned multiperson linear model, *ACT Transactions on Graphics – Proceedings of ACM SIGGRAPH Asia*, 34 (2015) 6, pp. 248:1-248:16
- [127] SMPL, Max Planck Institute for Intelligent Systems, url:<http://smpl.is.tue.mpg.de/> (Pristupljeno 15.2.2024.)
- [128] DYNA, Max Planck Institute for Intelligent Systems, <http://dyna.is.tue.mpg.de/> (Pristupljeno 15.2.2024.)
- [129] Zhang, D. and Krzywinski, S.: Development of a kinematic human model for clothing and high performance garments, *Proceedings of 3DBODY.TECH 2019 10th Conference and exhibition on 3D body scanning and processing technologies*, Ascona: Hometrica Consulting, pp. 68-73
- [130] Radovanović, M.: Afine transformacije, 2007., url: [http://www.matf.bg.ac.yu/~matic/competitions/dodatne/afine\\_mr.pdf](http://www.matf.bg.ac.yu/~matic/competitions/dodatne/afine_mr.pdf) (Pristupljeno 18.1.2024)
- [131] Šiljak, H.: Afine transformacije ravnine, url: <https://hrcak.srce.hr/file/27490> (Pristupljeno 18.1.2024)
- [132] Fan, J. et al.: Clothing appearance and fit: Science and Technology, 2004., Cambridge: Woodhead Pub.
- [133] Geršak, J.: Complex fabric deformations and clothing modelling in 3D, 2013., Staarbrucken: LAP Lambert Academic Publishing, ISBN 978-3-659-32809-1
- [134] Volino, P. and Magnenat-Thalmann, N.: Virtual clothing: Theory and practice, 2000., Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p.p. 35-60.

- [135] Luible, C.: Study of mechanical properties in the simulation of 3D garments, 2008., doktorska disertacija, Ženeva: Université de Genève
- [136] Sayem, A.S.M., Kennon, R. and Clarke, N.: 3D CAD systems for the clothing industry. *International Journal of Fashion Design Technology and Education*, 3 (2010), 45-53
- [137] Jevšnik, S. et al.: Review of computer models for fabric simulation, *Tekstilec*, 57 (2014) 4, 300-314, doi: 10.14502/Tekstilec2014.57.300-314
- [138] House, H.D. and Breen, E.D. : Cloth modeling and animation, 2000., Massachusetts: A.K. Peters Natick, Ltd.
- [139] Hu, J.: Computer technology for textiles and apparel, 2011., Cambridge: Woodhead publishing series in textiles
- [140] Magnenat-Thalmann, N.: Modeling and simulating bodies and garments, 2010., London: Springer-Verlag, ISBN 978-1-84996-262-9
- [141] Volino, P.: From early virtual garment simulation to interactive fashion design, *Computer Aided Design*, 37 (2005) 593-608, doi: 10.1016/j.cad.2004.09.003
- [142] Collier, J.R. and Collier, B.J.: Drape prediction by means of finite element analysis, *Journal of Textile Institute*, 82 (1991) 1, 96-107, doi: 10.1080/00405009108658741
- [143] Jevšnik, S.: Predicting mechanical properties of fused panel, *Fibres & Textiles in Easter Europe*, 8 (2000) 4, 54-56
- [144] Hu, J. et al.: Numerical drape behaviour of circular fabric sheets over circular pedestal, *Textile Research Journal*, 70 (2000) 7, 593-603
- [145] Li, Y. and Dai, XQ: Biomechanical engineering of textiles and clothing, 2006., Cambridge: Woodhead Publishing with The Textile Institute
- [146] Behera, B.K.: Comfort and Handle Behaviour of Linnen-blended Fabrics, *AUTEX Research Journal*, 7 (2007) 1, 33-47
- [147] Chu, C.C. et al.: Mechanics of Elastic Performance of Textile Materials: Part V: A Study of the Factors Affecting the Drape of Fabrics - The Development of a Drape Meter, *Textile Research Journal*, 20 (1950) 8, 539-548, doi: 10.1177/004051755002000802
- [148] Niwa, M. and Seto, F.: Relationship Between Drapeability and Mechanical Properties of Fabrics, *Journal of Textile Machinery Society of Japan*, 39 (1986), 161-168
- [149] Pierce, F.T.: The Handle of Cloth as a Measurable Quantity, *The Journal of The Textile Institute Transactions*, (1930), 377-416

- [150] Lim, H. S.: Three dimensional virtual try-on technologies in the achievement and testing of fit for mass customization, 2009., doktorska disertacija, SAD: North Carolina State University, 2009, url:<https://repository.lib.ncsu.edu/handle/1840.16/3322> (Pristupljeno 18.7.2021).
- [151] Wu, Y.Y. et al.: An investigation on the validity of 3D clothing simulation for garment fit evaluation, *Proceedings of the IMProVe 2011 International conference on Innovative Methods in Product Design*, 2011., Italija: Libreria Internazionale Cortina Padova, pp. 463-468.
- [152] Power, J.: Fabric objective measurements for commercial 3D virtual garment simulation, *International Journal of Clothing Science and Technology*, 25 (2013), 423-439
- [153] Strazdiene, E: Textiles Objective and Sensory Evaluation in Rapid Prototyping, *Materials Science (MEDŽIAGOTYRA)*, 17 (2011) 4, 407-412
- [154] Kujipers, S. et al.: The measurement of fabric properties for virtual simulation – a critical review, 2020., U: *IEEE SA Industry Connections*, IEEE Standards Association (IEEE SA), pp. 8-26
- [155] Petrak, S.: Digital fashion innovation and sustainability, *Electronic proceedings of 14th International Scientific Conference on Manufacturing Engineering, Development and Modernization of Manufacturing, RIM 2023*, 2023., Bihać: University of Bihać, Faculty of Technical Engineering, pp. 251-266
- [156] SEDDI Textura, url: <https://textura.ai/> (Pristupljeno 5.3.2021)
- [157] Kawabata, S.: The standardization and analysis of hand evaluation, 1980., Osaka: Textile machinery society of Japan
- [158] Luible, C. and Magnenat-Thalmann, N.: Suitability of standard fabric characterisation experiments for the use in virtual simulations, url: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.524.2550&rep=rep1&type=pdf>, (Pristupljeno 21.7.2021).
- [159] Cusick, G.E.: 21 - The Measurement of Fabric Drape, *Journal of The Textile Institute* 59 (1968), 253-260
- [160] Cusick, G.E.: 46 - The Dependence of Fabric Drape on Bending and Shear Stiffness, *Journal of the Textile Institute Transactions*, 56 (1965) 11, 596-606, doi: 10.1080/19447026508662319



- [161] Abbott, N.J.: The Measurement of Stiffness in Textile Fabrics, *Textile Research Journal*, 21 (1951), 435-444
- [162] Jevšnik, S., Geršak, J. and Gubenšek, I.: The advance engineering methods to plan the behavior of fused panel, *International Journal of Clothing Science and Technology*, 17 (2005), 161-170
- [163] Robson, D. and Long, C.C.: Drape Analysis using Imaging Techniques, *Clothing and Textile Research Journal*, 18 (2000), 1-8
- [164] Kenkare, N. and Plumlee, T.M.: Fabric drape measurement: A modified method using digital image processing, *Journal of Textile, Apparel, Technology and Management*, 4 (2005), 1-8
- [165] Collier, B.J.: Measurement of Fabric Drape and Its Relation to Fabric Mechanical Properties and Subjective Evaluation, *Clothing and Textile Research Journal*, 10 (1991), 46-52
- [166] Jedda, H., Ghith, A. and Sakli, F.: Prediction of fabric drape using the FAST system, *Journal of Textile Institut*, 93 (2007), 219-225
- [167] Chu, C.C.: Determination of Factors Which Influence the Draping Properties of Cotton Fabrics, 2017., London: Forgotten Books, pp. 15-37.
- [168] Lo, W.M. et al.: Modeling a Fabric Profile, *Textile Research Journal*, 72 (2002), 454-463
- [169] Jeong, Y.J.: A Study of Fabric-Drape Behavior with Image Analysis Part I: Measurement, Characterization, and Instability, *Journal of Textile Institut*, 89 (1998), 59-69
- [170] Jeong, Y.J. and Philips, D.G.: A study of Fabric Drape Behavior with Image Analysis, Part II: The Effect of Fabric Structure and Mechanical Properties on Fabric Drape, *Journal of Textile Institute*, 89 (1998), 70-79
- [171] Kenkare, N. et al.: Enhancing accuracy of drape simulation, Part I: Investigation of drape variability via 3D scanning, *Journal of Textile Institute*, 99 (2008) 3, 211-218
- [172] Thi, N. et al.: Investigating on Fabric and Skirt Drape, *Screen*, (2010), 2-9
- [173] Buyukaslan, E. et al.: Comparative analysis of drape characteristics of actually and virtually draped fabrics, *International Journal of Clothing Science and Technology*, 30 (2018) 3, 286-301, ISSN: 0955-6222, DOI:10.1108/IJCST-06-2017-0085

- [174] Rudolf, A. et al.: Investigations Regarding the Effects of Simulating Parameters During 3D Garments' Drape Simulations, *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 24 (2016) 6, 143-150, doi: 10.5604/12303666.1221749
- [175] Petrak, S. et al.: Analysis of Polygonal Computer Model Parameters and Influence on Fabric Drape Simulation, *Materials*, 14 (2021) 6259, doi: 10.3390/ma14216259
- [176] Pavlinić, D. and Geršak, J.: Design of the system for prediction of fabric behaviour in garment manufacturing processes, *International Journal of Clothing Science and Technology*, 16 (2004), 252-261, doi: 10.1108/09556220410520522
- [177] Gill, S.: A review of research and innovation in garment sizing, prototyping and fitting, *Text Prog*, 47 (2015) 1, 1-85, doi: <https://doi.org/10.1080/00405167.2015.1023512>
- [178] Lectra, <https://www.lectra.com/en> (Pristupljeno 3.9.2023.)
- [179] Sayem, A.S.M.: Virtual fashion ID: a reality check, *Proceedings of IFFTI Conference*, 2019., Manchester: Manchester Fashion Institute
- [180] Meng Y, Mok PY, Jin X.: Computer aided clothing pattern design with 3D editing and pattern alteration, *Computer Aided Design*, 44 (2012), 721-734
- [181] Liu, Y.J. et al: A survey on CAD methods in 3D garment design, *Computers in Industry*, 61 (2010) 6, 576–593, ISSN: 0166-3615
- [182] Mihajlović, Ž.: Računalna grafika, url:<http://www.zemris.fer.hr/predmeti/rg/>, (Pristupljeno 11.12.2016.)
- [183] Petrak, S., Mahnic, M. and Rogale, D.: Computer Parametrization of Men's Trousers Pattern, *Book of Proceedings of the 7th International Textile, Clothing & Design Conference 2014 - Magic World of Textiles*, 2014., Dragčević, Z. i sur. (ur.), Zagreb: Tekstilno-tehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, pp. 316-321
- [184] Zangue, F. et al.: Virtual Fit vs. Physical Fit – How well does 3D simulation represent the physical reality, *Proceedings of 3DBODY.TECH 2020 11th Int. Conference and Exhibition on 3D Body Scanning and Processing Technologies*, 2020., Ascona: Hometrica consulting
- [185] Jevšnik, S., Stjepanović, Z. and Rudolf, A.: 3D Virtual Prototyping of Garments: Approaches, Developments and Challenges, *Journal of Fiber Bioengineering & Informatics*, 10 (2017), 51-63
- [186] Kim, S.H. et al.: Development of similarity evaluation method between virtual and actual clothing, *International Journal of Clothing Science and Technology*, 29 (2017) 5, 743-750, ISSN: 0955-6222, doi: 10.1108/IJCST-01-2017-0001

- [187] Lapkovska, E. and Dabolina, I.: An investigation on the virtual prototyping validity – simulation of garment drape, *Proceedings of the International Scientific Conference Society Integration Education*, 2018., pp. 448-458
- [188] Tama, D. and Ondogan, Z.: Calculating the percentage of body measurement changes in dynamic postures in order to provide fit in skiwear, *Journal of textiles and engineer, Tekstil ve Muhendis*, 27 (2020) 120, 271-282, doi: 10.7216/1300759920202712007
- [189] Kozar, T. et al.: Designing an Adaptive 3D Body Model Suitable for People with Limited Body Abilities, *Textile Science & Engineering*, 4 (2014) 5, doi: <http://dx.doi.org/10.4172/2165-8064.1000165>
- [190] Jolly, K. et al.: Kinematic modeling of a motorcycle rider for design of functional clothing, *International Journal of Clothing Science and Technology*, (2019) ISSN 0955-6222, doi: 10.1108/IJCST-02-2019-0020.
- [191] Viziteu, D.R. et al.: Virtual kinematic human model prototype, *International conference on textiles and connected R&D domains TEX TEH X*, (2021), pp. 293-299, doi: 10.35530/TT.2021.35
- [192] Yeung, K.W. et al.: A 3D biomechanical human model for numerical simulation of garment-body dynamic mechanical interactions during wear, *The Journal of Textile Institute*, 95 (2004) 1-6, 59-79, ISSN 0040-5000
- [193] Nebel, J.C.: Soft tissue modelling from 3D scanned data, U: *Deformable Avatars IFIP - The International Federation for Information Processing vol 68*, Thalmann, D. (ur), 2001., Boston: Springer, doi: [https://doi.org/10.1007/978-0-306-47002-8\\_8](https://doi.org/10.1007/978-0-306-47002-8_8)
- [194] Rannow, R.K. et al.: Skin and soft tissue modeling and its impact on apparel modeling, *Communications in development and assembling of textile products*, 4 (2023) 2, 151-163, ISSN 2701-939X, doi: 10.25367/cdatp.2022.4.p151-163
- [195] Brake, E.A. et al.: 3D garment fit on solid and soft digital avatars – preliminary results, *Communications in development and assembling of textile products*, 3 (2022) 2, 97-103, ISSN 2701-939X, doi: 10.25367/cdatp.2022.3.p97-103
- [196] Klepster, A., Mahr-Erhardt, A. and Morlock, S.: Investigating Fit in Motion with a 4D Photogrammetry Scanner System, *Proceedings of 3DBODY.TECH 2021 12th Int. Conference and Exhibition on 3D Body Scanning and Processing Technologies*, 2021., Ascona: Hometrica Consulting, doi: <https://doi.org/10.15221/21.13>
- [197] Zhang, D. et al.: Possibilities for simulating clothing in motion on person-specific avatars, *Proceedings of 3DBODY.TECH 2021 12th Int. Conference and Exhibition on*

- 3D Body Scanning and Processing Technologies*, 2021., Ascona: Hometrica Consulting, doi: <https://doi.org/10.15221/21.13>
- [198] Terrier, J. et al.: Using Finite Element Analysis to Perform Garment Simulation of Technical Apparel, *Procedia Engineering*, 2 (2011), 3349-3354
- [199] ZEISS, GOM Metrology, url:<https://www.gom.com/en/products/3d-testing/aramis-3d-camera>
- [200] HRN EN 1049-2:2003 Određivanje broja niti na jedinici duljine (ISO 7211-2:1984, EN 1049-2:1993)
- [201] HRN ISO 3801:2003 Određivanje mase po jedinici duljine i mase po jedinici površine (ISO 3801:1977)
- [202] HRN ISO 5084:2003 Određivanje debljine tekstila i tekstilnih proizvoda (ISO 5084:1996; EN ISO 5084:1996)
- [203] HRN EN ISO 13934-1:2013 Određivanje maksimalne sile i istezanja pri maksimalnoj sili metodom trake (ISO 13934-1:2013; EN ISO 13934-1:2013)



## PRILOZI

## PRILOG A: Prilog rezultatima istraživanja

**A.1:** Tablica ukupnog seta tjelesnih mjera utvrđenih 3D skenerom za tri odabrane ispitanice, predstavnice različitih tipova ženskog tijela

| RB  | Oznaka tjelesne mjere | Naziv mjere                                                    | Opis mjere                                                                                                               | Izmjerena vrijednost [cm] |       |       |
|-----|-----------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------|-------|
|     |                       |                                                                |                                                                                                                          | I1                        | I2    | I3    |
| 1.  | 0010                  | <b>Tjelesna visina</b>                                         | Okomito izmjerena visina između vrha lubanje i podloge.                                                                  | 165,9                     | 165,6 | 160,2 |
| 2.  | 0020                  | <b>Visina glave</b>                                            | Okomito izmjerena visina između vrha lubanje i bočne točke vrata.                                                        | 23,4                      | 24,2  | 24,0  |
| 3.  | 0030                  | <b>Visina vrata</b>                                            | Okomito mjerena visina od sedmog vratnog kralješka do podloge.                                                           | 142,5                     | 141,5 | 136,2 |
| 4.  | 0040                  | <b>Duljina između sedmog vratnog kralješka i opsega bokova</b> | Okomito izmjerena visina između sedmog vratnog kralješka i stražnje točke na liniji opsega bokova.                       | 55,0                      | 59,1  | 58,8  |
| 5.  | 0050                  | <b>Duljina između sedmog vratnog kralješka i koljena</b>       | Okomito izmjerena visina između sedmog vratnog kralješka i stražnje točke na liniji opsega koljena.                      | 95,9                      | 97,6  | 94,9  |
| 6.  | 0060                  | <b>Duljina između opsega struka i koljena</b>                  | Okomito izmjerena visina između stražnje točke na liniji opsega struka i stražnje točke na liniji opsega koljena.        | 61,1                      | 61,4  | 57,9  |
| 7.  | 0065                  | <b>Duljina između opsega niskog struka i koljena</b>           | Okomito izmjerena visina između stražnje točke na liniji opsega niskog struka i stražnje točke na liniji opsega koljena. | 56,3                      | 57,2  | 51,7  |
| 8.  | 0070                  | <b>Visina opsega niskog struka</b>                             | Okomito izmjerena visina između bočne točke na liniji opsega niskog struka i podloge.                                    | 102,5                     | 100,8 | 92,7  |
| 9.  | 0080                  | <b>Visina opsega struka</b>                                    | Okomito izmjerena visina između stražnje točke na liniji opsega niskog struka i podloge.                                 | 107,7                     | 105,3 | 99,2  |
| 10. | 0085                  | <b>Visina opsega visokog struka</b>                            | Okomito izmjerena visina između stražnje točke na liniji opsega visokog struka i podloge.                                | 107,7                     | 105,3 | 99,2  |
| 11. | 0090                  | <b>Visina opsega bokova</b>                                    | Okomito izmjerena visina između stražnje točke na liniji opsega najizbočenijeg dijela stražnjice i podloge.              | 87,5                      | 82,4  | 77,4  |
| 12. | 0095                  | <b>Visina najvećeg opsega bokova</b>                           | Okomito izmjerena visina između stražnje točke na liniji najvećeg opsega bokova i podloge.                               | 82,0                      | 77,4  | 73,4  |
| 13. | 0100                  | <b>Visina sjedala</b>                                          | Okomito izmjerena visina između središnje točke sjedalnog šava i podloge.                                                | 78,8                      | 74,6  | 66,9  |
| 14. | 0110                  | <b>Visina koljena</b>                                          | Okomito izmjerena visina između stražnje točke na liniji opsega koljena i podloge.                                       | 46,6                      | 43,9  | 41,2  |
| 15. | 0120                  | <b>Visina gležnja</b>                                          | Okomito izmjerena visina između stražnje točke na liniji opsega gležnja i podloge.                                       | 7,3                       | 7,3   | 7,0   |

|     |      |                                                                               |                                                                                                                              |       |       |       |
|-----|------|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|
| 16. | 0150 | <b>Visina opsega trbuha</b>                                                   | Okomito izmjerena visina između prednje točke na liniji opsega trbuha i podloge.                                             | 102,2 | 96,9  | 91,6  |
| 17. | 0155 | <b>Visina najvećeg opsega trbuha</b>                                          | Okomito izmjerena visina između stražnje točke na liniji najvećeg opsega na području trbuha i podloge.                       | 101,2 | 95,9  | 90,6  |
| 18. | 0160 | <b>Visina lopatičnih kosti</b>                                                | Okomito izmjerena visina između stražnje točke na liniji lopatičnih kosti i podloge.                                         | 128,9 | 128,6 | 120,6 |
| 19. | 0165 | <b>Visina lopatičnih kosti 2</b>                                              | Okomito izmjerena visina između točke na vrhu lopatičnih kosti i podloge.                                                    | 127,1 | 126,8 | 122,8 |
| 20. | 0170 | <b>Visina opsega grudi</b>                                                    | Okomito izmjerena visina između prednje točke na liniji opsega vrata i podloge.                                              | 120,7 | 121,2 | 113,8 |
| 21. | 0180 | <b>Visina vrata sprijeda</b>                                                  | Okomito izmjerena visina između prednje točke na liniji opsega trbuha i podloge.                                             | 136,6 | 137,9 | 131,3 |
| 22. | 0510 | <b>Udaljenost sedmog vratnog kralješka od vertikalne ravnine</b>              | Horizontalno izmjerena udaljenost između točke sedmog vratnog kralješka i posteriorno postavljene vertikalne ravnine.        | 26,4  | 26,8  | 27,9  |
| 23. | 0515 | <b>Udaljenost prednje točke vrata od vertikalne ravnine</b>                   | Horizontalno izmjerena udaljenost između prednje točke vrata i posteriorno postavljene vertikalne ravnine.                   | 34,4  | 36,2  | 37,9  |
| 24. | 0520 | <b>Udaljenost točke na vrhu lopatične kosti od vertikalne ravnine</b>         | Horizontalno izmjerena udaljenost između točke na vrhu lopatične kosti i posteriorno postavljene vertikalne ravnine.         | 21,2  | 22,0  | 23,2  |
| 25. | 0530 | <b>Udaljenost stražnje točke na opsegu struka od vertikalne ravnine</b>       | Horizontalno izmjerena udaljenost između stražnje točke na opsegu struka i posteriorno postavljene vertikalne ravnine.       | 28,0  | 27,9  | 27,2  |
| 26. | 0540 | <b>Udaljenost stražnje točke na opsegu bokova od vertikalne ravnine</b>       | Horizontalno izmjerena udaljenost između stražnje točke na opsegu bokova i posteriorno postavljene vertikalne ravnine.       | 22,6  | 22,5  | 20,3  |
| 27. | 0550 | <b>Udaljenost prednje točke na opsegu bokova od vertikalne ravnine</b>        | Horizontalno izmjerena udaljenost između prednje točke na opsegu bokova i posteriorno postavljene vertikalne ravnine.        | 44,7  | 45,8  | 45,8  |
| 28. | 0600 | <b>Udaljenost prednje točke na opsegu grudi od vertikalne ravnine</b>         | Horizontalno izmjerena udaljenost između prednje točke na opsegu grudi i posteriorno postavljene vertikalne ravnine.         | 47,3  | 49,2  | 49,6  |
| 29. | 0610 | <b>Udaljenost stražnje točke na opsegu grudi od vertikalne ravnine</b>        | Horizontalno izmjerena udaljenost između stražnje točke na opsegu grudi i posteriorno postavljene vertikalne ravnine.        | 23,6  | 23,8  | 24,4  |
| 30. | 0620 | <b>Udaljenost prednje točke na opsegu trbuha od vertikalne ravnine</b>        | Horizontalno izmjerena udaljenost između prednje točke na opsegu trbuha i posteriorno postavljene vertikalne ravnine.        | 47,5  | 49,4  | 48,5  |
| 31. | 0630 | <b>Udaljenost stražnje točke na opsegu trbuha od vertikalne ravnine</b>       | Horizontalno izmjerena udaljenost između stražnje točke na opsegu trbuha i posteriorno postavljene vertikalne ravnine.       | 27,0  | 27,0  | 26,6  |
| 32. | 0640 | <b>Udaljenost prednje točke na opsegu niskog struka od vertikalne ravnine</b> | Horizontalno izmjerena udaljenost između prednje točke na opsegu niskog struka i posteriorno postavljene vertikalne ravnine. | 47,5  | 49,4  | 48,4  |
| 33. | 0645 | <b>Udaljenost stražnje točke na opsegu</b>                                    | Horizontalno izmjerena udaljenost između stražnje točke na opsegu                                                            | 27,5  | 28,0  | 27,1  |

|     |      |                                                                           |                                                                                                                                             |       |       |       |
|-----|------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|
|     |      | niskog struka od vertikalne ravnine                                       | niskog struka i posteriorno postavljene vertikalne ravnine.                                                                                 |       |       |       |
| 34. | 0650 | Udaljenost stražnje točke na najvećem opsegu trbuha od vertikalne ravnine | Horizontalno izmjerena udaljenost između stražnje točke na najvećem opsegu na području trbuha i posteriorno postavljene vertikalne ravnine. | 26,5  | 26,6  | 26,0  |
| 35. | 0660 | Udaljenost prednje točke na najvećem opsegu trbuha od vertikalne ravnine  | Horizontalno izmjerena udaljenost između prednje točke na najvećem opsegu na području trbuha i posteriorno postavljene vertikalne ravnine.  | 47,7  | 49,4  | 48,6  |
| 36. | 0670 | Udaljenost prednje točke na najvećem opsegu bokova od vertikalne ravnine  | Horizontalno izmjerena udaljenost između prednje točke na najvećem opsegu na području bokova i posteriorno postavljene vertikalne ravnine.  | 43,5  | 46,4  | 43,6  |
| 37. | 0680 | Udaljenost stražnje točke na najvećem opsegu bokova od vertikalne ravnine | Horizontalno izmjerena udaljenost između stražnje točke na najvećem opsegu na području bokova i posteriorno postavljene vertikalne ravnine. | 24,1  | 23,1  | 21,0  |
| 38. | 0690 | Visina opsega niskog struka sprijeda                                      | Okomito izmjerena visina između prednje točke na liniji opsega niskog struka i podloge.                                                     | 101,9 | 100,3 | 92,2  |
| 39. | 0695 | Visina opsega niskog struka straga                                        | Okomito izmjerena visina između stražnje točke na liniji opsega niskog struka i podloge.                                                    | 103,0 | 101,1 | 93,0  |
| 40. | 0997 | Visina između opsega niskog struka i dubine sjedala bočno                 | Okomito izmjerena visina između bočne točke na liniji opsega niskog struka i točke dubine sjedala.                                          | 23,8  | 26,2  | 25,7  |
| 41. | 1010 | Širina vrata                                                              | Horizontalno izmjerena duljina između bočnih točaka vrata.                                                                                  | 10,5  | 12,4  | 12,2  |
| 42. | 1510 | Središnji opseg vrata                                                     | Opseg izmjeren na sredini visine vrata, okomito na položaj.                                                                                 | 29,6  | 31,3  | 32,1  |
| 43. | 1520 | Opseg baze vrata                                                          | Mjera određena kao opseg baze vrata. Mjeri se preko sedmog vratnog kralješka, lijeve točke vrata, prednje i desne točke vrata.              | 34,3  | 36,1  | 36,9  |
| 44. | 2010 | Bočna duljina gornjeg dijela torza lijevo                                 | Duljina mjerena po tijelu bočno, od točke pazuha do bočne točke na liniji opsega struka, mjereno na lijevoj strani.                         | 20,0  | 20,5  | 20,5  |
| 45. | 2020 | Bočna duljina gornjeg dijela torza desno                                  | Duljina izmjerena po tijelu bočno, od točke pazuha do bočne točke na liniji opsega struka, mjereno na desnoj strani.                        | 18,8  | 19,9  | 21,7  |
| 46. | 2030 | Širina tijela na liniji struka                                            | Duljina izmjerena po tijelu na liniji opsega struka, između lijeve bočne točke, prednje točke i desne bočne točke.                          | 36,1  | 39,1  | 33,6  |
| 47. | 2510 | Opseg trupa                                                               | Opseg izmjeren preko točaka vrha ramena, prsne točke i točke dubine sjedala.                                                                | 146,4 | 157,9 | 159,6 |
| 48. | 3010 | Širina ramena, mjereno preko vrata                                        | Duljina izmjerena na tijelu između lijeve točke vrha ramena, preko sedmog vratnog kralješka do desne točke vrha ramena.                     | 38,7  | 36,2  | 39,7  |
| 49. | 3020 | Širina ramena                                                             | Duljina izmjerena na tijelu između lijeve i desne točke vrha ramena.                                                                        | 42,5  | 39,1  | 43,2  |
| 50. | 3030 | Širina lijevog ramena                                                     | Duljina određena kao udaljenost od lijeve točke vrata do lijeve točke vrha ramena.                                                          | 15,5  | 11,5  | 13,7  |



|     |      |                                                                   |                                                                                                                                                |      |      |      |
|-----|------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|
| 51. | 3031 | <b>Širina desnog ramena</b>                                       | Duljina određena kao udaljenost od desne točke vrata do desne točke vrha ramena.                                                               | 12,3 | 12,4 | 13,0 |
| 52. | 3910 | <b>Nagib lijevog ramena</b>                                       | Kut izmjeren između pravca definiranog točkama vrata i vrha ramena na lijevoj strani tijela i transverzalne ravnine položene kroz točku vrata. | 25,6 | 18,3 | 28,8 |
| 53. | 3911 | <b>Nagib desnog ramena</b>                                        | Kut izmjeren između pravca definiranog točkama vrata i vrha ramena na desnoj strani tijela i transverzalne ravnine položene kroz točku vrata.  | 26,8 | 22,2 | 25,6 |
| 54. | 4020 | <b>Širina prednjeg dijela na liniji visine pazuha</b>             | Duljina mjerena na tijelu između lijeve i desne točke pazuha.                                                                                  | 39,9 | 51,0 | 38,8 |
| 55. | 4030 | <b>Širina između grudnih točaka</b>                               | Duljina izmjerena između lijeve točke vrha grudi i desne točke vrha grudi.                                                                     | 17,8 | 18,5 | 17,7 |
| 56. | 4040 | <b>Duljina između vrata i linije opsega struka – desno</b>        | Duljina izmjerena na tijelu između desne točke vrata do linije opsega struka.                                                                  | 40,8 | 45,0 | 44,3 |
| 57. | 4050 | <b>Prednja visina između vrata i linije opsega struka</b>         | Visina izmjerena između prednje točke baze vrata do linije opsega struka.                                                                      | 33,4 | 37,6 | 35,8 |
| 58. | 4060 | <b>Duljina između vrata i linije opsega struka – lijevo</b>       | Duljina izmjerena na tijelu između lijeve točke vrata do linije opsega struka.                                                                 | 40,8 | 37,6 | 35,8 |
| 59. | 4070 | <b>Duljina između grudnih točaka mjerena preko vrata</b>          | Duljina izmjerena između prsnih točaka oko vrata preko sedmog vratnog kralješka.                                                               | 68,0 | 70,4 | 71,4 |
| 60. | 4080 | <b>Duljina između vrata i vrha grudi – lijevo</b>                 | Mjera određena kao udaljenost između lijeve točke vrata do lijeve točke vrha grudi.                                                            | 28,4 | 27,2 | 29,3 |
| 61. | 4081 | <b>Duljina između vrata i vrha grudi – desno</b>                  | Mjera određena kao udaljenost između desne točke vrata do desne točke vrha grudi.                                                              | 27,2 | 28,8 | 27,8 |
| 62. | 4510 | <b>Opseg grudi – mjereno horizontalno</b>                         | Opseg izmjeren horizontalno preko točaka vrha grudi, ispod pazuha, preko leđa.                                                                 | 90,3 | 95,4 | 91,6 |
| 63. | 4515 | <b>Opseg grudi</b>                                                | Opseg izmjeren okomito na liniju stražnje sredine tijela, preko točaka vrha grudi, ispod pazuha, preko leđa.                                   | 84,0 | 90,5 | 90,6 |
| 64. | 4520 | <b>Donji opseg grudi</b>                                          | Opseg izmjeren vodoravno, točno ispod grudi.                                                                                                   | 77,4 | 83,0 | 78,9 |
| 65. | 5010 | <b>Širina leđa mjerena preko lopatičnih kosti</b>                 | Duljina izmjerena po tijelu između lijeve i desne točke orukavlja u visini lopatičnih kostiju.                                                 | 36,2 | 33,2 | 36,5 |
| 66. | 5020 | <b>Širina leđa u visini pazuha</b>                                | Duljina izmjerena po tijelu između lijeve i desne točke pazuha.                                                                                | 35,7 | 31,9 | 35,4 |
| 67. | 5030 | <b>Duljina leđa od vrata do linije visine pazuha</b>              | Vertikalna duljina izmjerena po stražnjoj sredini tijela između točke sedmog vratnog kralješka i linije na visini pazuha.                      | 16,5 | 17,2 | 16,7 |
| 68. | 5040 | <b>Duljina leđa</b>                                               | Vertikalna duljina izmjerena po stražnjoj sredini tijela od točke sedmog vratnog kralješka do stražnje točke na liniji struka.                 | 36,5 | 37,8 | 38,2 |
| 69. | 5050 | <b>Duljina leđa od lijeve točke vrata do linije opsega struka</b> | Vertikalna duljina izmjerena po tijelu između bočne točke vrata i linije opsega struka, mjereno na lijevoj strani.                             | 39,6 | 39,8 | 40,4 |
| 70. | 5051 | <b>Duljina leđa od desne točke vrata</b>                          | Vertikalna duljina izmjerena po tijelu između bočne točke vrata i                                                                              | 39,2 | 40,3 | 40,2 |

|     |      | do linije opsega struka                                       | linije opsega struka, mjereno na desnoj strani.                                                                                                                 |      |      |      |
|-----|------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|
| 71. | 5060 | Duljina leđa između visine pazuha i opsega struka             | Vertikalna duljina izmjerena po stražnjoj sredini tijela između stražnje točke na liniji visine pazuha i stražnje točke na liniji opsega struka.                | 19,7 | 20,2 | 21,1 |
| 72. | 5070 | Duljina leđa između opsega struka i opsega visokih bokova     | Vertikalna duljina izmjerena po stražnjoj sredini tijela između stražnje točke na liniji opsega struka i stražnje točke na liniji opsega visokog struka.        | 7,4  | 9,7  | 8,9  |
| 73. | 5075 | Duljina između opsega niskog struka i opsega visokih bokova   | Vertikalna duljina izmjerena po stražnjoj sredini tijela između stražnje točke na liniji opsega niskog struka i stražnje točke na liniji opsega visokih bokova. | 2,6  | 5,8  | 3,0  |
| 74. | 5080 | Duljina leđa između opsega struka i opsega bokova             | Vertikalna duljina izmjerena po stražnjoj sredini tijela između stražnje točke na liniji opsega struka i stražnje točke na liniji opsega bokova.                | 20,9 | 23,3 | 22,6 |
| 75. | 5085 | Duljina leđa između opsega niskog struka i opsega bokova      | Vertikalna duljina izmjerena po stražnjoj sredini tijela između stražnje točke na liniji opsega niskog struka i stražnje točke na liniji opsega bokova.         | 15,5 | 18,7 | 15,6 |
| 76. | 6010 | Duljina sjedalnog šava                                        | Duljina izmjerena po tijelu između prednje točke na liniji opsega struka, točke dubine sjedala i stražnje točke na liniji opsega struka.                        | 71,6 | 76,5 | 79,4 |
| 77. | 6011 | Duljina sjedalnog šava sprijeda                               | Duljina izmjerena po tijelu između prednje točke na liniji opsega struka i točke dubine sjedala.                                                                | 35,0 | 36,9 | 38,5 |
| 78. | 6012 | Duljina sjedalnog šava straga                                 | Duljina izmjerena po tijelu između točke dubine sjedala i stražnje točke na liniji opsega struka.                                                               | 36,6 | 39,6 | 40,9 |
| 79. | 6015 | Duljina sjedalnog šava prema opsegu niskog struka             | Duljina izmjerena po tijelu između prednje točke na liniji opsega niskog struka, točke dubine sjedala i stražnje točke na liniji opsega niskog struka.          | 61,2 | 68,1 | 66,9 |
| 80. | 6020 | Duljina između opsega struka i opsega niskog struka, sprijeda | Vertikalna duljina izmjerena po prednjoj sredini tijela između prednje točke na liniji opsega struka i prednje točke na liniji opsega niskog struka.            | -5,7 | -4,9 | -7,0 |
| 81. | 6030 | Duljina između opsega struka i opsega niskog struka, straga   | Vertikalna duljina izmjerena po stražnjoj sredini tijela između stražnje točke na liniji opsega struka i stražnje točke na liniji opsega niskog struka.         | -5,0 | -4,1 | -6,2 |
| 82. | 6040 | Duljina između opsega struka i opsega niskog struka, bočno    | Vertikalna duljina izmjerena po tijelu između bočne točke na liniji opsega struka i bočne točke na liniji opsega niskog struka.                                 | -4,8 | -4,1 | -6,1 |
| 83. | 6510 | Opseg struka                                                  | Opseg izmjeren vodoravno na tijelu na poziciji najužeg dijela trupa.                                                                                            | 71,1 | 73,7 | 72,3 |
| 84. | 6520 | Opseg niskog struka                                           | Opseg izmjeren vodoravno na tijelu na poziciji visine trbuha.                                                                                                   | 76,8 | 79,1 | 80,0 |
| 85. | 7010 | Visina između struka i bokova, lijevo                         | Visina izmjerena po tijelu između lijeve bočne točke na liniji opsega struka i lijeve bočne točke na liniji opsega bokova.                                      | 20,6 | 23,8 | 22,5 |

|      |      |                                                                 |                                                                                                                                           |      |       |      |
|------|------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------|------|
| 86.  | 7011 | <b>Visina između struka i bokova, desno</b>                     | Visina izmjerena po tijelu između desne bočne točke na liniji opsega struka i desne bočne točke na liniji opsega bokova.                  | 20,4 | 23,5  | 22,5 |
| 87.  | 7015 | <b>Visina između niskog struka i bokova, lijevo</b>             | Visina izmjerena po tijelu između lijeve bočne točke na liniji opsega niskog struka i lijeve bočne točke na liniji opsega bokova.         | 15,2 | 18,9  | 15,7 |
| 88.  | 7016 | <b>Visina između niskog struka i bokova, desno</b>              | Visina izmjerena po tijelu između desne bočne točke na liniji opsega niskog struka i desne bočne točke na liniji opsega bokova.           | 15,3 | 19,0  | 15,7 |
| 89.  | 7020 | <b>Visina između struka i opsega natkoljenice, lijevo</b>       | Visina izmjerena po tijelu između lijeve bočne točke na liniji opsega struka i lijeve bočne točke na liniji najvećeg opsega natkoljenice. | 33,6 | 35,5  | 36,8 |
| 90.  | 7021 | <b>Visina između struka i opsega natkoljenice, desno</b>        | Visina izmjerena po tijelu između desne bočne točke na liniji opsega struka i desne bočne točke na liniji najvećeg opsega natkoljenice.   | 33,0 | 35,2  | 36,7 |
| 91.  | 7510 | <b>Opseg visokih bokova</b>                                     | Opseg izmjeren vodoravno po tijelu na poziciji visine kukova.                                                                             | 80,4 | 85,4  | 84,0 |
| 92.  | 7520 | <b>Opseg bokova</b>                                             | Opseg izmjeren vodoravno na tijelu na poziciji najizbočenije točke na stražnjem dijelu.                                                   | 87,5 | 101,3 | 97,4 |
| 93.  | 7525 | <b>Najveći opseg bokova</b>                                     | Opseg izmjeren vodoravno na tijelu na poziciji najvećeg opsega na području bokova.                                                        | 89,2 | 104,3 | 98,4 |
| 94.  | 7540 | <b>Opseg trbuha</b>                                             | Opseg izmjeren vodoravno na tijelu na poziciji pupka.                                                                                     | 77,5 | 82,7  | 81,4 |
| 95.  | 7545 | <b>Najveći opseg trbuha</b>                                     | Opseg izmjeren vodoravno na tijelu na poziciji najvećeg opsega na području trbuha.                                                        | 79,1 | 84,3  | 83,0 |
| 96.  | 8010 | <b>Duljina lijeve ruke od stražnje sredine vrata do zapešća</b> | Duljina izmjerena po tijelu između točaka sedmog vratnog kralješka, točke vrha lijevog ramena i lijeve točke zapešća.                     | 79,2 | 75,8  | 73,5 |
| 97.  | 8011 | <b>Duljina desne ruke od stražnje sredine vrata do zapešća</b>  | Duljina izmjerena po tijelu između točaka sedmog vratnog kralješka, točke vrha desnog ramena i desne točke zapešća.                       | 79,3 | 75,2  | 73,5 |
| 98.  | 8020 | <b>Duljina lijeve ruke od vrata do zapešća</b>                  | Duljina izmjerena po tijelu između lijeve točke vrata, točke vrha lijevog ramena i lijeve točke zapešća.                                  | 74,2 | 69,5  | 67,5 |
| 99.  | 8021 | <b>Duljina desne ruke od vrata do zapešća</b>                   | Duljina izmjerena po tijelu između desne točke vrata, točke vrha desnog ramena i desne točke zapešća.                                     | 73,2 | 69,2  | 66,5 |
| 100. | 8030 | <b>Duljina lijeve ruke od ramena do zapešća</b>                 | Duljina izmjerena po tijelu između točke vrha lijevog ramena i lijeve točke zapešća.                                                      | 58,7 | 58,0  | 53,8 |
| 101. | 8031 | <b>Duljina desne ruke od ramena do zapešća</b>                  | Duljina izmjerena po tijelu između točke vrha desnog ramena i desne točke zapešća.                                                        | 60,9 | 56,8  | 53,5 |
| 102. | 8040 | <b>Duljina lijeve nadlaktice</b>                                | Duljina izmjerena po tijelu između točke vrha lijevog ramena i točke na vrhu lijevog lakta.                                               | 30,0 | 30,1  | 29,2 |
| 103. | 8041 | <b>Duljina desne nadlaktice</b>                                 | Duljina izmjerena po tijelu između točke vrha desnog ramena i točke na vrhu desnog lakta.                                                 | 29,9 | 30,6  | 29,2 |
| 104. | 8050 | <b>Duljina lijeve podlaktice</b>                                | Duljina izmjerena po tijelu između točke na vrhu lijevog lakta i lijeve točke zapešća.                                                    | 28,7 | 27,8  | 24,6 |

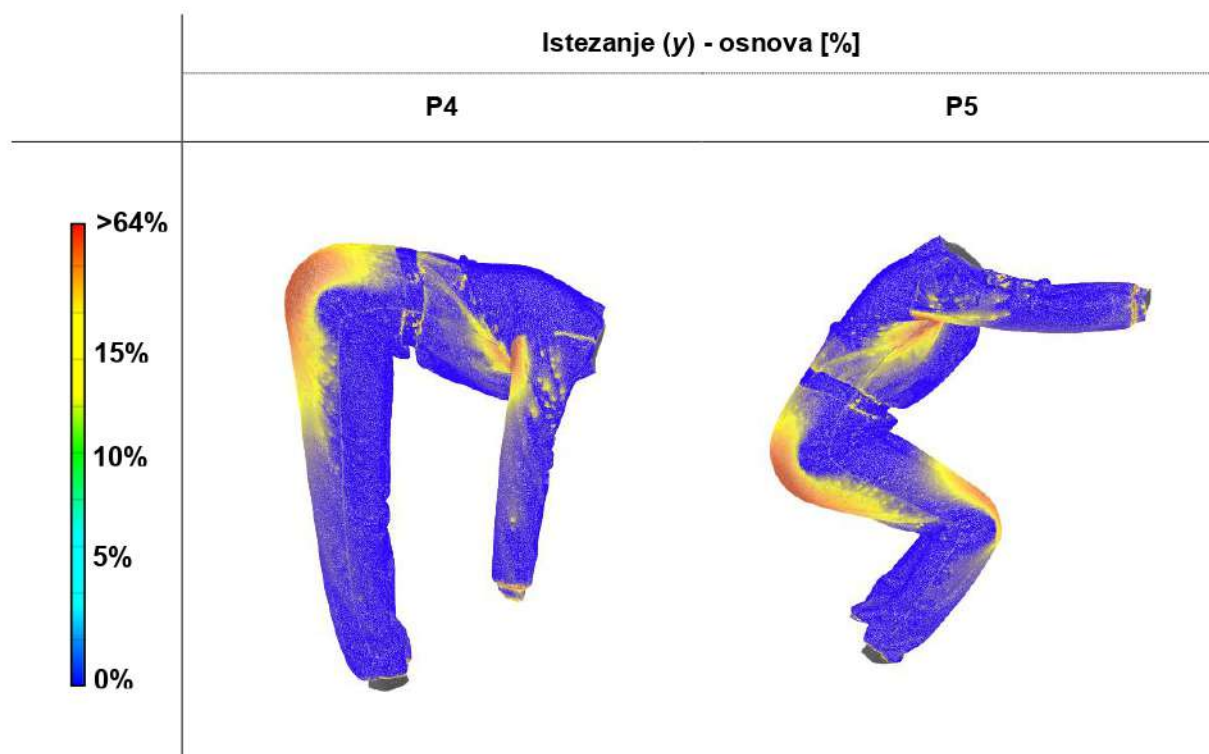
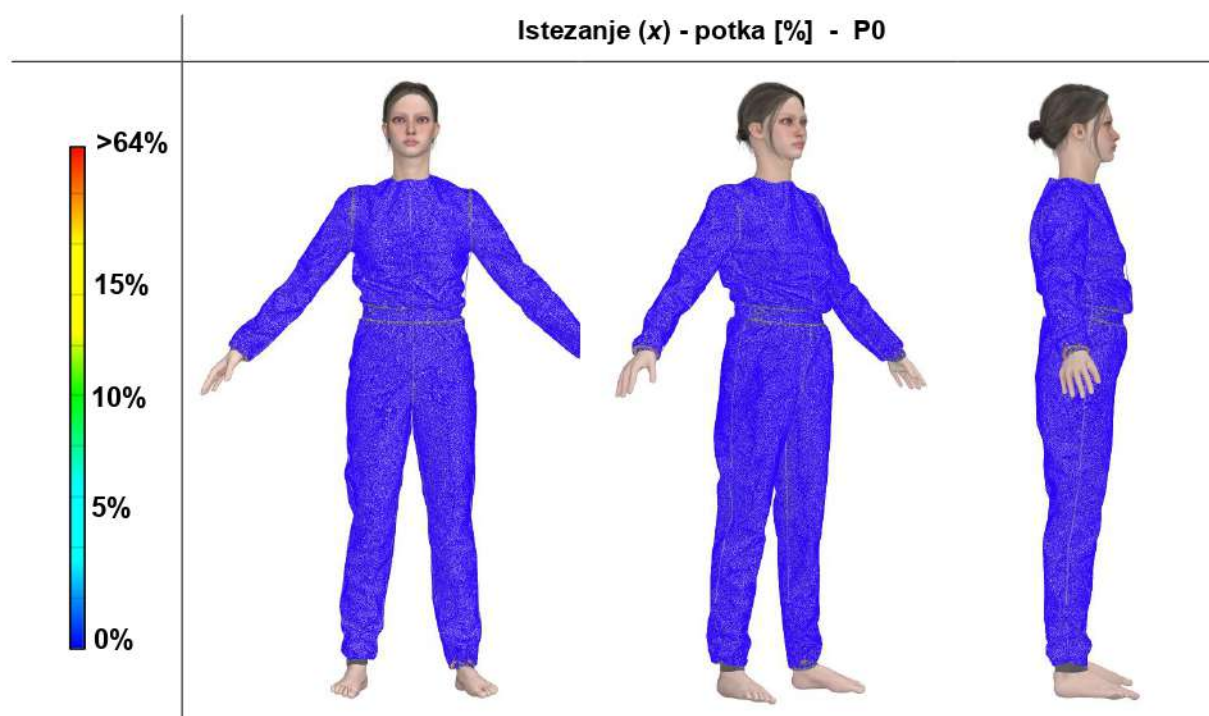
|      |      |                                                          |                                                                                                              |       |       |       |
|------|------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|
| 105. | 8051 | <b>Duljina desne podlaktice</b>                          | Duljina izmjerena po tijelu između točke na vrhu desnog lakta i desne točke zapešća.                         | 31,1  | 26,2  | 24,3  |
| 106. | 8520 | <b>Opseg lijeve nadlaktice</b>                           | Opseg izmjeren na poziciji najšireg dijela lijeve nadlaktice.                                                | 25,2  | 29,0  | 28,2  |
| 107. | 8521 | <b>Opseg desne nadlaktice</b>                            | Opseg izmjeren na poziciji najšireg dijela desne nadlaktice.                                                 | 24,1  | 28,9  | 28,0  |
| 108. | 8530 | <b>Opseg lijevog lakta</b>                               | Opseg izmjeren preko točke vrha lijevog lakta.                                                               | 21,2  | 25,5  | 23,3  |
| 109. | 8531 | <b>Opseg desnog lakta</b>                                | Opseg izmjeren preko točke vrha desnog lakta.                                                                | 20,7  | 25,1  | 23,3  |
| 110. | 8540 | <b>Opseg lijeve podlaktice</b>                           | Opseg izmjeren na poziciji najšireg dijela lijeve podlaktice.                                                | 22,3  | 24,9  | 23,8  |
| 111. | 8541 | <b>Opseg desne podlaktice</b>                            | Opseg izmjeren na poziciji najšireg dijela desne podlaktice.                                                 | 21,9  | 25,0  | 23,9  |
| 112. | 8550 | <b>Opseg lijevog zapešća</b>                             | Opseg izmjeren na najužem dijelu lijeve podlaktice.                                                          | 14,7  | 15,8  | 15,5  |
| 113. | 8551 | <b>Opseg desnog zapešća</b>                              | Opseg izmjeren na najužem dijelu desne podlaktice.                                                           | 14,3  | 15,6  | 16,1  |
| 114. | 8910 | <b>Širina lijeve nadlaktice</b>                          | Horizontalno mjerena duljina između krajnjih točaka najšireg dijela lijeve nadlaktice u bočnom pogledu.      | 9,5   | 11,4  | 10,4  |
| 115. | 8911 | <b>Širina desne nadlaktice</b>                           | Horizontalno mjerena duljina između krajnjih točaka najšireg dijela desne nadlaktice u bočnom pogledu.       | 9,1   | 10,9  | 10,4  |
| 116. | 9010 | <b>Unutarnja duljina lijeve noge do gležnja</b>          | Duljina izmjerena po tijelu između unutarnje točke lijeve noge i lijeve točke gležnja.                       | 71,7  | 67,9  | 60,8  |
| 117. | 9011 | <b>Unutarnja duljina desne noge do gležnja</b>           | Duljina izmjerena po tijelu između unutarnje točke desne noge i desne točke gležnja.                         | 71,7  | 68,1  | 60,8  |
| 118. | 9020 | <b>Unutarnja duljina lijeve noge</b>                     | Duljina izmjerena po tijelu između unutarnje točke lijeve noge i podloge.                                    | 79,0  | 75,1  | 67,8  |
| 119. | 9021 | <b>Unutarnja duljina desne noge</b>                      | Duljina izmjerena po tijelu između unutarnje točke desne noge i podloge.                                     | 79,1  | 75,2  | 67,8  |
| 120. | 9030 | <b>Bočna duljina od niskog struka do podloge, lijevo</b> | Duljina izmjerena po tijelu između lijeve bočne točke na liniji opsega niskog struka i podloge.              | 103,3 | 101,7 | 93,7  |
| 121. | 9031 | <b>Bočna duljina od niskog struka do podloge, desno</b>  | Duljina izmjerena po tijelu između desne bočne točke na liniji opsega niskog struka i podloge.               | 103,6 | 101,8 | 93,7  |
| 122. | 9035 | <b>Bočna duljina od struka do podloge, lijevo</b>        | Duljina izmjerena po tijelu između lijeve bočne točke na liniji opsega struka i podloge.                     | 108,8 | 106,6 | 100,6 |
| 123. | 9036 | <b>Bočna duljina od struka do podloge, desno</b>         | Duljina izmjerena po tijelu između desne bočne točke na liniji opsega struka i podloge.                      | 108,7 | 106,4 | 100,5 |
| 124. | 9040 | <b>Bočna duljina od niskog struka do gležnja, lijevo</b> | Duljina izmjerena po tijelu između lijeve bočne točke na liniji opsega niskog struka i lijeve točke gležnja. | 96,1  | 94,8  | 86,8  |
| 125. | 9041 | <b>Bočna duljina od niskog struka do gležnja, desno</b>  | Duljina izmjerena po tijelu između desne bočne točke na liniji opsega niskog struka i desne točke gležnja.   | 96,4  | 94,8  | 86,7  |
| 126. | 9510 | <b>Opseg lijeve nadkoljenice</b>                         | Opseg izmjeren na najširem dijelu lijeve nadkoljenice.                                                       | 50,5  | 58,8  | 55,2  |
| 127. | 9511 | <b>Opseg desne nadkoljenice</b>                          | Opseg izmjeren na najširem dijelu desne nadkoljenice.                                                        | 50,4  | 57,7  | 55,5  |
| 128. | 9520 | <b>Opseg lijevog koljena</b>                             | Opseg izmjeren preko sredine lijevog koljena.                                                                | 33,0  | 39,9  | 38,3  |



|      |      |                                  |                                                                     |      |      |      |
|------|------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------|------|------|
| 129. | 9521 | <b>Opseg desnog koljena</b>      | Opseg izmjeren preko sredine desnog koljena.                        | 33,0 | 39,8 | 38,0 |
| 130. | 9540 | <b>Opseg lijeve podkoljenice</b> | Opseg izmjeren na najširem dijelu lijeve podkoljenice.              | 31,6 | 37,9 | 34,6 |
| 131. | 9541 | <b>Opseg desne podkoljenice</b>  | Opseg izmjeren na najširem dijelu desne podkoljenice.               | 32,6 | 37,5 | 34,0 |
| 132. | 9550 | <b>Opseg lijevog gležnja</b>     | Opseg izmjeren preko lijeve i desne točke kosti na lijevom gležnju. | 20,9 | 23,3 | 21,1 |
| 133. | 9551 | <b>Opseg desnog gležnja</b>      | Opseg izmjeren preko lijeve i desne točke kosti na desnom gležnju.  | 21,4 | 23,7 | 21,0 |

## PRILOG A: Prilog rezultatima istraživanja

**A.2:** Rezultati analize istezanja računalnog 3D prototipa modela ženskog kombinezona K2 prilagođenog ispitanici I1, u statičkim i dinamičkim uvjetima



## PRILOG B

Popis slika:

|                 |                                                                                                                                                                                             |           |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Slika 1</b>  | Biomehanički modeli čovjeka: a) prema Hatzeu [19], b) prema Kimu [20]                                                                                                                       | <b>9</b>  |
| <b>Slika 2</b>  | Leonardo DaVinci (1452-1519) – „The Mechanical Man“ [25]                                                                                                                                    | <b>12</b> |
| <b>Slika 3</b>  | Laboratorij za biomehaniku - Marey E.J. (1830-1904) [13]                                                                                                                                    | <b>12</b> |
| <b>Slika 4</b>  | Optički Motion Capture sustav za snimanje i biomehaničku analizu pokreta ljudskog tijela, BTS Elite: a) postavljanje markera na tijelo ispitanika, b) prikaz snimljenog kinematičkog modela | <b>13</b> |
| <b>Slika 5</b>  | Rotacija točaka oko tri koordinatne osi [13]                                                                                                                                                | <b>14</b> |
| <b>Slika 6</b>  | Tipovi tijela prema Douty, 1968: a) skala vrednovanja građe tijela, b) skala vrednovanja držanja tijela [57]                                                                                | <b>18</b> |
| <b>Slika 7</b>  | Indikatori za procjenu držanja tijela prema Mahnić Naglić i Petrak [41]                                                                                                                     | <b>20</b> |
| <b>Slika 8</b>  | Tipovi držanja muškog tijela prema Mahnić Naglić i Petrak [41]                                                                                                                              | <b>21</b> |
| <b>Slika 9</b>  | 3D skener tijela Botsan Neo tvrtke Botspot [78]                                                                                                                                             | <b>23</b> |
| <b>Slika 10</b> | Interaktivno utvrđivanje mjera na skeniranom modelu tijela u programu Anthroscan [74]                                                                                                       | <b>25</b> |
| <b>Slika 11</b> | Računalno mjerenje skeniranih modela tijela u programu Anthroscan [81]                                                                                                                      | <b>26</b> |
| <b>Slika 12</b> | Analiza karakterističnih tjelesnih opsega [36]                                                                                                                                              | <b>26</b> |
| <b>Slika 13</b> | Segmentacija modela tijela u programu Anthroscan [82]                                                                                                                                       | <b>27</b> |
| <b>Slika 14</b> | Pozicioniranje markera na tijelo ispitanika prema različitim autorima: a) Mahnić Naglić i Petrak [3], b) Morlock i suradnici [4]                                                            | <b>28</b> |
| <b>Slika 15</b> | Protokol za utvrđivanje mjera u sjedećem položaju tijela [85]                                                                                                                               | <b>29</b> |
| <b>Slika 16</b> | Analiza promjena tjelesnih mjera u tri dinamička položaja u sklopu istraživanja i razvoja modela ronilačkog odijela [8]                                                                     | <b>30</b> |
| <b>Slika17</b>  | Karakteristični položaji tijela za analizu funkcionalnih mjera prema Morlock i Klepster [92]                                                                                                | <b>30</b> |
| <b>Slika 18</b> | Praćenje mjere duljine leđa u pokretu čučnja primjenom skenera MOVE4D [98]                                                                                                                  | <b>32</b> |
| <b>Slika19</b>  | Usporedba pozicija tjelesnih mjera prema ISO 20685 standardu i u programu Optitex: a) opseg struka, b) širina ramena                                                                        | <b>34</b> |
| <b>Slika 20</b> | Interaktivna prilagodba držanja gornjeg dijela tijela u CAD sustavu Optitex: a) maksimalan nagib trupa prema naprijed, b) normalno držanje, c) maksimalan nagib trupa prema natrag [74]     | <b>34</b> |

|                 |                                                                                                                                                                  |           |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Slika 21</b> | Vrste animacije: a) tradicionalna crtaća animacija, b) stop animacija, c) računalna 3D animacija                                                                 | <b>37</b> |
| <b>Slika 22</b> | Preslikavanje ponašanja više anatomskih slojeva tijela u jedan sloj primjenom različitih grafičkih tehnika [113]                                                 | <b>39</b> |
| <b>Slika 23</b> | Prilagodba univerzalnog parametarskog modela Allen i sur. [121]                                                                                                  | <b>43</b> |
| <b>Slika 24</b> | Animacija SMPL modela tijela u programu Maya: a) unutarnji kostur modela, b) postavljanje u ciljani položaj, c) usporedba sa skeniranim modelom [129]            | <b>46</b> |
| <b>Slika 25</b> | Vlačna deformacija i izračun Poisson-ovog koeficijenta                                                                                                           | <b>52</b> |
| <b>Slika 26</b> | Karakteristična krivulja smičnog naprezanja i izračun smične krutosti                                                                                            | <b>53</b> |
| <b>Slika 27</b> | Usporedba metoda mjerenja smičnih svojstava: a) KES sustav, b) FAST sustav [133]                                                                                 | <b>55</b> |
| <b>Slika 28</b> | KES-FB AUTO mjerni uređaji [133]                                                                                                                                 | <b>56</b> |
| <b>Slika 29</b> | Krivulja vlačnog opterećenja [133]                                                                                                                               | <b>56</b> |
| <b>Slika 30</b> | Savojna histereza [133]                                                                                                                                          | <b>57</b> |
| <b>Slika 31</b> | Smična histereza [133]                                                                                                                                           | <b>58</b> |
| <b>Slika 32</b> | Krivulja kompresijskog opterećenja [133]                                                                                                                         | <b>58</b> |
| <b>Slika 33</b> | Mjerni uređaji sustava Fabric Kit: a) uređaj za mjerenje vlačnih i smičnih parametara, b) uređaj za mjerenje savojnih parametara, c) uređaj za mjerenje debljine | <b>59</b> |
| <b>Slika 34</b> | Priprema uzoraka za ispitivanje primjenom Fabric Kit sustava                                                                                                     | <b>60</b> |
| <b>Slika 35</b> | Prikaz virtualnog drapiranja digitaliziranog materijala u SEDDI Textura aplikaciji [157]                                                                         | <b>61</b> |
| <b>Slika 36</b> | Cusick Drape Meter za ispitivanje drapiranja                                                                                                                     | <b>62</b> |
| <b>Slika 37</b> | Simulacija drapiranja s različitim parametrima gustoće poligonalne mreže i izračun koeficijenta drapiranja na temelju simuliranih uzoraka [176]                  | <b>64</b> |
| <b>Slika 38</b> | Protokol izvođenja 3D simulacija u CAD sustavu Optitex [103]                                                                                                     | <b>67</b> |
| <b>Slika 39</b> | CAD sustav za 2D/3D projektiranje odjeće Lectra Modaris 3D [179]                                                                                                 | <b>68</b> |
| <b>Slika 40</b> | Parametarski kroj muškog sakoa [103]                                                                                                                             | <b>70</b> |
| <b>Slika 41</b> | Računalna 3D konstrukcija primjenom flattening metode [8]                                                                                                        | <b>71</b> |
| <b>Slika 42</b> | Kinematički model tijela za analizu motorističkog odijela, Jolly i sur. [191]                                                                                    | <b>75</b> |
| <b>Slika 43</b> | Kinematički model tijela, Viziteu i sur. [192]                                                                                                                   | <b>76</b> |
| <b>Slika 44</b> | Metoda evaluacije računalnih prototipova odjeće primjenom 4D skenera prema Zhang i sur. [198]                                                                    | <b>78</b> |



|                 |                                                                                                                                                                                       |            |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Slika 45</b> | Pozicioniranje lokalnog koordinatnog sustava na površini objekta u sustavu Aramis [200]                                                                                               | <b>79</b>  |
| <b>Slika 46</b> | Plan rada doktorskog istraživanja – (A)                                                                                                                                               | <b>84</b>  |
| <b>Slika 47</b> | Plan rada doktorskog istraživanja – (B)                                                                                                                                               | <b>85</b>  |
| <b>Slika 48</b> | Definiranje kutova bočne krivulje tijela kao indikatora oblika                                                                                                                        | <b>87</b>  |
| <b>Slika 49</b> | Centroidi tipova oblika tijela u koordinatnom sustavu prve i druge diskriminantne funkcije                                                                                            | <b>90</b>  |
| <b>Slika 50</b> | Odabrane tjelesne mjere za izračun indikatora držanja tijela                                                                                                                          | <b>92</b>  |
| <b>Slika 51</b> | Definiranje kutova prednje i stražnje krivulje tijela kao indikatora držanja                                                                                                          | <b>93</b>  |
| <b>Slika 52</b> | Centroidi tipova držanja gornjeg dijela tijela u koordinatnom sustavu prve i druge diskriminantne funkcije                                                                            | <b>95</b>  |
| <b>Slika 53</b> | Centroidi tipova držanja donjeg dijela tijela u koordinatnom sustavu prve i druge diskriminantne funkcije                                                                             | <b>97</b>  |
| <b>Slika 54</b> | Skenirani modeli tri ispitanice, predstavnice različitih tipova tijela u standardnom uspravnom položaju: a) I1 - tip tijela 1, b) I2 - tip tijela 2, c) I3 - tip tijela 3             | <b>99</b>  |
| <b>Slika 55</b> | Skenirani model tijela ispitanice I2 s označenim mrežama tjelesnih krivulja i mjera za analizu u tjelesnim položajima: a) standardni položaj prema ISO 20685 (P0), b) razručenje (P1) | <b>100</b> |
| <b>Slika 56</b> | Skenirani model tijela ispitanice I2 s označenim mrežama tjelesnih krivulja i mjera za analizu u položajima: a) predručenje (P2), b) nadručenje (P3)                                  | <b>101</b> |
| <b>Slika 57</b> | Skenirani model tijela ispitanice I2 s označenim mrežama tjelesnih krivulja i mjera za analizu u položaju preklona (P4)                                                               | <b>102</b> |
| <b>Slika 58</b> | Skenirani model tijela ispitanice I2 s označenim mrežama tjelesnih krivulja i mjera za analizu u položaju čučnja (P5)                                                                 | <b>102</b> |
| <b>Slika 59</b> | Priprema ispitanica za snimanje pokreta primjenom sustava ARAMIS                                                                                                                      | <b>104</b> |
| <b>Slika 60</b> | ARAMIS sustav                                                                                                                                                                         | <b>104</b> |
| <b>Slika 61</b> | Skenirani modeli tijela s markerima za analizu mjera u karakterističnim položajima prema kojima su definirani pokreti za snimanje                                                     | <b>105</b> |
| <b>Slika 62</b> | Snimanje pokreta primjenom ARAMIS sustava - KL 1, I1                                                                                                                                  | <b>106</b> |
| <b>Slika 63</b> | Snimanje pokreta primjenom ARAMIS sustava - KL 2, I1                                                                                                                                  | <b>107</b> |
| <b>Slika 64</b> | Snimanje pokreta primjenom ARAMIS sustava - KL 3, I1                                                                                                                                  | <b>107</b> |
| <b>Slika 65</b> | Snimanje pokreta primjenom ARAMIS sustava - KL 4, I1                                                                                                                                  | <b>108</b> |
| <b>Slika 66</b> | Snimanje pokreta primjenom ARAMIS sustava - KL 5, I1                                                                                                                                  | <b>108</b> |
| <b>Slika 67</b> | Obrada modela - kreiranje površinskih komponenata za analizu                                                                                                                          | <b>109</b> |

|                 |                                                                                                                                                                       |            |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Slika 68</b> | Prilagodba koordinatnog sustava prema segmentima – KL 1                                                                                                               | <b>110</b> |
| <b>Slika 69</b> | Analiza segmenata površina i utvrđivanje vrijednosti maksimalnih deformacija tijela – poprečne ( $\epsilon_x$ ) deformacije tijela u položaju P1, ispitanica I1       | <b>111</b> |
| <b>Slika 70</b> | Analiza deformacija tijela u x smjeru, na tijelu u položaju P1: a) analiza površinskih segmenata, b) analiza krivulja na karakterističnim presjecima                  | <b>111</b> |
| <b>Slika 71</b> | Analiza promjena duljine stražnje krivulje tijela u položaju P4                                                                                                       | <b>112</b> |
| <b>Slika 72</b> | Karakteristični presjeci za analizu gornjeg dijela tijela u položajima P1 do P3 i povezivanje s konstrukcijskim mjerama                                               | <b>113</b> |
| <b>Slika 73</b> | Poprečna deformacija tijela ( $\epsilon_x$ ) po fazama kinematičkog lanaca KL 1 koja obuhvaća položaje razručenja (P1) i predručenja (P2) – ispitanica I1 posteriorno | <b>113</b> |
| <b>Slika 74</b> | Poprečna deformacija tijela ( $\epsilon_x$ ) po fazama kinematičkog lanaca KL 2 koja obuhvaća položaje razručenja (P1) i nadručenja (P3) – ispitanica I1 posteriorno  | <b>114</b> |
| <b>Slika 75</b> | Prilagodba koordinatnog sustava u početnom položaju – KL 3                                                                                                            | <b>114</b> |
| <b>Slika 76</b> | Uzdužna deformacija tijela ( $\epsilon_y$ ) po fazama kinematičkog lanaca KL 3 koja obuhvaća položaje predručenja (P2) i nadručenja (P3) – ispitanica I1 sagitalno    | <b>115</b> |
| <b>Slika 77</b> | Uzdužna deformacija tijela ( $\epsilon_y$ ) po fazama kinematičkog lanaca KL 4 savijanja tijela u položaj pretklona (P4) – ispitanica I1 sagitalno                    | <b>116</b> |
| <b>Slika 78</b> | Uzdužna deformacija tijela ( $\epsilon_y$ ) po fazama kinematičkog lanaca KL 4 savijanja tijela u položaj pretklona (P4) – ispitanica I1 sagitalno, ženski triko K1   | <b>116</b> |
| <b>Slika 79</b> | Uzdužna deformacija tijela ( $\epsilon_y$ ) po fazama kinematičkog lanaca KL 5 spuštanja tijela u položaj čučnja (P5) – ispitanica I1 sagitalno, ženski triko K1      | <b>117</b> |
| <b>Slika 80</b> | Prilagodba SMPL modela u programu Maya 2022                                                                                                                           | <b>119</b> |
| <b>Slika 81</b> | Unutarnji kinematički modeli kostura kreirani na temelju skeniranih 3D modela u programu Anthroscan a) ispitanica I1, b) ispitanica I2, c) ispitanica I3              | <b>120</b> |
| <b>Slika 82</b> | Kreiranje i analiza kinematičkih parametara unutarnjeg kostura skeniranog modela tijela                                                                               | <b>121</b> |
| <b>Slika 83</b> | Kinematički modeli kostura: a) model kreiran na skeniranom 3D modelu tijela primjenom Anthroscan programa, b) SMPL model                                              | <b>122</b> |
| <b>Slika 84</b> | 3D animacija modela tijela tehnikom ključnih položaja u 36 sličica                                                                                                    | <b>123</b> |
| <b>Slika 85</b> | Uzorak za tisak u mjerilu 1:1                                                                                                                                         | <b>124</b> |
| <b>Slika 86</b> | Uzorak otisnut na materijal M2                                                                                                                                        | <b>124</b> |
| <b>Slika 87</b> | Mikroskop Olympus BX51                                                                                                                                                | <b>124</b> |

|                  |                                                                                                                                                                                              |            |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Slika 88</b>  | Identifikacija sirovinskog sastava materijala M2: a) osnova 100x, pamuk / kuoxam, b) potka 100x, elastan / ClZnJ                                                                             | <b>124</b> |
| <b>Slika 89</b>  | Digitalni mikroskop Dino-Lite AM7915MZT                                                                                                                                                      | <b>125</b> |
| <b>Slika 90</b>  | Površina tekstilnih materijala snimljena Dino-Lite digitalnim mikroskopom pod povećanjem 68,1x: a) materijal M1 - pletivo, b) materijal M2 - tkanina                                         | <b>125</b> |
| <b>Slika 91</b>  | Ispitivanje plošne mase: a) analitička vaga b) dimenzije ispitnih uzoraka                                                                                                                    | <b>126</b> |
| <b>Slika 92</b>  | Dimenzije ispitnih uzorka za mjerenje KES sustavom                                                                                                                                           | <b>127</b> |
| <b>Slika 93</b>  | Kidalica Mesdan S.p.A., Tensolab 3000                                                                                                                                                        | <b>128</b> |
| <b>Slika 94</b>  | Dimenzije ispitnih uzoraka za ispitivanje prekidne sile i prekidnog produljenja                                                                                                              | <b>128</b> |
| <b>Slika 95</b>  | Dimenzije ispitnih uzoraka prema metodi Fabic Kit                                                                                                                                            | <b>129</b> |
| <b>Slika 96</b>  | Tehnički crteži modela odjevnih predmeta: a) ženska bluza, b) ženske hlače                                                                                                                   | <b>130</b> |
| <b>Slika 97</b>  | Tehnički crtež modela ženskog trikoa K1                                                                                                                                                      | <b>131</b> |
| <b>Slika 98</b>  | Tehnički crtež temeljnog modela ženskog radnog kombinezona K2                                                                                                                                | <b>132</b> |
| <b>Slika 99</b>  | Tehnički crtež modela ženskog radnog kombinezona K3                                                                                                                                          | <b>133</b> |
| <b>Slika 100</b> | Modeliranje kroja ženskog uskog kombinezona K2: a) bazni kroj ženskih tajica, b) montaža gornjeg i donjeg dijela kroja                                                                       | <b>134</b> |
| <b>Slika 101</b> | Modeliranje kroja temeljnog modela ženskog radnog kombinezona K2: a) kroj ženske bluze, b) modeliranje gornjeg dijela kroja, c) kroj ženskih hlača, d) montaža gornjeg i donjeg dijela kroja | <b>135</b> |
| <b>Slika 102</b> | Modeliranje ženskog funkcionalnog modela radnog kombinezona K3                                                                                                                               | <b>136</b> |
| <b>Slika 103</b> | Definiranje fiksnih točaka i osi na krojnim dijelovima                                                                                                                                       | <b>137</b> |
| <b>Slika 104</b> | Prilagodba parametarskog kroja prema držanju tijela                                                                                                                                          | <b>139</b> |
| <b>Slika 105</b> | Definiranje funkcionalnog dodatka na gornjem stražnjem dijelu kroja kombinezona K3                                                                                                           | <b>144</b> |
| <b>Slika 106</b> | Prilagođeni 3D modeli tijela prema ispitanicama I1, I2 i I3 s apliciranom teksturom kože u programu Clo3D                                                                                    | <b>147</b> |
| <b>Slika 107</b> | Analiza istezanja materijala M1 u linearnom području                                                                                                                                         | <b>150</b> |
| <b>Slika 108</b> | Analiza istezanja materijala M2 u linearnom području                                                                                                                                         | <b>150</b> |
| <b>Slika 109</b> | Analiza istezanja u smjeru osnove (y) tijekom izvođenja pokreta na animiranom 3D modelu tijela ispitanice I1 – ženski triko K1, položaj P4                                                   | <b>151</b> |
| <b>Slika 110</b> | Distribucija mjera tjelesnih opsega u uzorku ispitanica: a) opseg grudi, b) opseg struka i c) opseg bokova                                                                                   | <b>155</b> |
| <b>Slika 111</b> | Dijagram vrijednosti distribucijskih parametara indikatora utvrđenih klastera oblika tijela                                                                                                  | <b>155</b> |

|                  |                                                                                                                                                                                                                                |            |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Slika 112</b> | Utvrđeni tipovi oblika ženskog tijela                                                                                                                                                                                          | <b>158</b> |
| <b>Slika 113</b> | Dijagram vrijednosti distribucijskih parametara indikatora utvrđenih klastera držanja gornjeg dijela tijela                                                                                                                    | <b>159</b> |
| <b>Slika 114</b> | Utvrđeni tipovi držanja gornjeg dijela tijela                                                                                                                                                                                  | <b>161</b> |
| <b>Slika 115</b> | Dijagram vrijednosti distribucijskih parametara indikatora utvrđenih klastera držanja donjeg dijela tijela                                                                                                                     | <b>162</b> |
| <b>Slika 116</b> | Utvrđeni tipovi držanja donjeg dijela tijela                                                                                                                                                                                   | <b>164</b> |
| <b>Slika 117</b> | Shematski prikaz algoritma za klasifikaciju tipova oblika ženskog tijela                                                                                                                                                       | <b>165</b> |
| <b>Slika 118</b> | Shematski prikaz algoritma za klasifikaciju tipova držanja ženskog tijela                                                                                                                                                      | <b>166</b> |
| <b>Slika 119</b> | Analiza vrijednosti promjena tjelesne mjere širine leđa u visini lopatica ( $\check{S}l_1$ ) i širine leđa u visini pazuha ( $\check{S}l_2$ ) u položajima P1, P2 i P3                                                         | <b>173</b> |
| <b>Slika 120</b> | Analiza vrijednosti promjena tjelesne mjere širine leđa u visini pazuha ( $\check{S}l_2$ ) i maksimalne deformacije površine u položajima P1, P2 i P3                                                                          | <b>173</b> |
| <b>Slika 121</b> | Analiza vrijednosti promjena segmenata mjere stražnje duljine tijela i utvrđenih vrijednosti maksimalnih deformacija površina u korespondentnim zonama                                                                         | <b>176</b> |
| <b>Slika 122</b> | Analiza vrijednosti promjena tjelesne mjere širine leđa u visini lopatica ( $\check{S}l_1$ ) u položajima P1 i P3, utvrđenih na skeniranim modelima tijela i na modelima u pokretu, snimljenim primjenom sustava Aramis        | <b>179</b> |
| <b>Slika 123</b> | Analiza vrijednosti promjena tjelesne mjere širine leđa u visini pazuha ( $\check{S}l_2$ ) u položajima P1, P2 i P3, utvrđenih na skeniranim modelima tijela i na modelima u pokretu, snimljenim primjenom sustava Aramis      | <b>180</b> |
| <b>Slika 124</b> | Analiza vrijednosti promjena segmenata mjere stražnje duljine tijela od opsega grudi do opsega natkoljenice u položaju P4, utvrđenih na skeniranim modelima tijela i na modelima u pokretu snimljenim primjenom sustava Aramis | <b>180</b> |
| <b>Slika 125</b> | Rezultati prilagodbe SMPL modela prema skeniranom 3D modelu ispitanice I1                                                                                                                                                      | <b>181</b> |
| <b>Slika 125</b> | Rezultati prilagodbe SMPL modela prema skeniranom 3D modelu ispitanice I2                                                                                                                                                      | <b>182</b> |
| <b>Slika 127</b> | Rezultati prilagodbe SMPL modela prema skeniranom 3D modelu ispitanice I3                                                                                                                                                      | <b>182</b> |
| <b>Slika 128</b> | Hijerarhijska struktura i kinematički parametri kostura kreiranog na temelju skeniranog 3D modela ispitanice I1                                                                                                                | <b>183</b> |
| <b>slika 129</b> | Hijerarhijska struktura i kinematički parametri kostura kreiranog na temelju skeniranog 3D modela ispitanice I2                                                                                                                | <b>184</b> |
| <b>Slika 130</b> | Hijerarhijska struktura i kinematički parametri kostura kreiranog na temelju skeniranog 3D modela ispitanice I3                                                                                                                | <b>185</b> |
| <b>Slika 131</b> | 3D modeli tijela i unutarnji kinematički kosturi prilagođeni za tri ispitanice na temelju podataka utvrđenih 3D skeniranjem                                                                                                    | <b>186</b> |



|                  |                                                                                                                                                                                     |            |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Slika 132</b> | Prilagođeni animirani 3D model tijela – KL 1, ispitanica I1                                                                                                                         | <b>186</b> |
| <b>Slika 133</b> | Prilagođeni animirani 3D model tijela – KL 2, ispitanica I1                                                                                                                         | <b>187</b> |
| <b>Slika 134</b> | Prilagođeni animirani 3D model tijela – KL 3, ispitanica I1                                                                                                                         | <b>187</b> |
| <b>Slika 135</b> | Prilagođeni animirani 3D model tijela – KL 4, ispitanica I2                                                                                                                         | <b>187</b> |
| <b>Slika 136</b> | Prilagođeni animirani 3D model tijela – KL 5, ispitanica I3                                                                                                                         | <b>187</b> |
| <b>Slika 137</b> | Dijagrami vlačnih svojstava dobiveni ispitivanjem KES sustavom: a) materijal M1, b) materijal M2                                                                                    | <b>190</b> |
| <b>Slika 138</b> | Dijagrami savojnih svojstava dobiveni ispitivanjem KES sustavom: a) materijal M1, b) materijal M2                                                                                   | <b>190</b> |
| <b>Slika 139</b> | Dijagram prekidne sile i prekidnog istezanja materijala M1                                                                                                                          | <b>191</b> |
| <b>Slika 140</b> | Dijagram prekidne sile i prekidnog istezanja materijala M2                                                                                                                          | <b>191</b> |
| <b>Slika 141</b> | Dijagram ispitivanja vlačnih svojstava prema Fabric Kit metodi - materijal M1                                                                                                       | <b>192</b> |
| <b>Slika 142</b> | Dijagram ispitivanja vlačnih svojstava prema Fabric Kit metodi - materijal M2                                                                                                       | <b>193</b> |
| <b>Slika 143</b> | Prikaz virtualnog drapiranja uzoraka materijala na temelju parametara svojstava utvrđenih SEDDI Textura AI aplikacijom: a) materijal M1, b) materijal M2, c) opis metode drapiranja | <b>195</b> |
| <b>Slika 144</b> | Tekstura i uzorak materijala za aplikaciju na računalne 3D prototipove odjeće: a) materijal M1, b) materijal M2                                                                     | <b>196</b> |
| <b>Slika 145</b> | Kroj ženske bluze i ženskih hlača odjevnice veličine 38                                                                                                                             | <b>197</b> |
| <b>Slika 146</b> | Kroj ženskog trikoa – model K1                                                                                                                                                      | <b>198</b> |
| <b>Slika 147</b> | Kroj ženskog radnog kombinezona – model K2                                                                                                                                          | <b>199</b> |
| <b>Slika 148</b> | Kroj ženskog radnog kombinezona – model K3                                                                                                                                          | <b>200</b> |
| <b>Slika 149</b> | Parametarski kroj ženskog trikoa – model K1                                                                                                                                         | <b>201</b> |
| <b>Slika 150</b> | Parametarski kroj ženske bluze i hlača                                                                                                                                              | <b>202</b> |
| <b>Slika 151</b> | Parametarski kroj ženskog kombinezona – model K2                                                                                                                                    | <b>203</b> |
| <b>Slika 152</b> | Parametarski kroj ženskog kombinezona – model K3                                                                                                                                    | <b>204</b> |
| <b>Slika 153</b> | Analiza prilagođenih krojeva ženske bluze za tri ispitanice različitih tipova tijela preklapanjem kontura kroja na liniji opsega grudi                                              | <b>210</b> |
| <b>Slika 154</b> | Analiza prilagođenih krojeva ženskih hlača za tri ispitanice različitih tipova tijela preklapanjem kontura kroja na liniji opsega struka                                            | <b>211</b> |
| <b>Slika 155</b> | Analiza prilagođenih krojeva ženskog trikoa K1 za tri ispitanice različitih tipova tijela preklapanjem kontura kroja na liniji opsega grudi                                         | <b>212</b> |

|                  |                                                                                                                                                                                               |            |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Slika 156</b> | Analiza prilagođenih krojeva modela kombinezona K2 za tri ispitanice različitih tipova tijela preklapanjem kontura kroja na liniji opsega grudi i opsega struka                               | <b>213</b> |
| <b>Slika 157</b> | Analiza prilagođenih krojeva modela kombinezona K3 za tri ispitanice različitih tipova tijela preklapanjem kontura kroja na liniji opsega grudi i opsega struka                               | <b>214</b> |
| <b>Slika 158</b> | Realni i računalni 3D prototipovi modela ženskog trikoa K1 simulirani na temelju mehaničkih parametara utvrđenih preko SEDDI aplikacije: a) ispitanica I1, b) ispitanica I2, c) ispitanica I3 | <b>216</b> |
| <b>Slika 159</b> | Realni i računalni 3D prototip modela ženske bluze i hlača simuliran na temelju mehaničkih parametara utvrđenih preko SEDDI aplikacije - ispitanica I1                                        | <b>217</b> |
| <b>Slika 160</b> | Realni i računalni 3D prototip modela ženske bluze i hlača simuliran na temelju mehaničkih parametara utvrđenih preko SEDDI aplikacije - ispitanica I2                                        | <b>217</b> |
| <b>Slika 161</b> | Realni i računalni 3D prototip modela ženske bluze i hlača simuliran na temelju mehaničkih parametara utvrđenih preko SEDDI aplikacije - ispitanica I3                                        | <b>218</b> |
| <b>Slika 162</b> | Realni i računalni 3D prototip modela ženskog kombinezona K3 simuliran na temelju mehaničkih parametara utvrđenih preko SEDDI aplikacije - ispitanica I1                                      | <b>218</b> |
| <b>Slika 163</b> | Realni i računalni 3D prototip modela ženskog kombinezona K3 simuliran na temelju mehaničkih parametara utvrđenih preko SEDDI aplikacije - ispitanica I2                                      | <b>219</b> |
| <b>Slika 164</b> | Realni i računalni 3D prototip modela ženskog kombinezona K3 simuliran na temelju mehaničkih parametara utvrđenih preko SEDDI aplikacije - ispitanica I3                                      | <b>219</b> |
| <b>Slika 165</b> | Nabori na kombinezonu K3 u položaju P0                                                                                                                                                        | <b>241</b> |
| <b>Slika 166</b> | Otvaranje nabora na nogavici kombinezona K3 u položaju P4                                                                                                                                     | <b>241</b> |
| <b>Slika 167</b> | Otvaranje nabora na gornjem dijelu kroja kombinezona K3 kod pokreta ruku - položaji P1, P2 i P3                                                                                               | <b>241</b> |
| <b>Slika 168</b> | Otvaranje nabora na realnom i računalnom 3D prototipu kombinezona K3: a) nabor na koljenu u položaju čučnja P5, b) nabor na leđima u položaju razručenja P1                                   | <b>242</b> |

## PRILOG C

**Popis tablica:**

|                   |                                                                                                                                                                    |            |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Tablica 1</b>  | Optimalne veličine poligona površinske mreže modela prema koeficijentima drapiranja                                                                                | <b>65</b>  |
| <b>Tablica 2</b>  | Selektirane tjelesne mjere za izračun indikatora oblika tijela                                                                                                     | <b>87</b>  |
| <b>Tablica 3</b>  | Podjela uzorka na tri i četiri klastera oblika tijela i analiza varijanci                                                                                          | <b>89</b>  |
| <b>Tablica 4</b>  | Diskriminantna analiza tipova oblika tijela                                                                                                                        | <b>89</b>  |
| <b>Tablica 5</b>  | Struktura diskriminantnih funkcija                                                                                                                                 | <b>90</b>  |
| <b>Tablica 6</b>  | Selektirane tjelesne mjere za izračun indikatora držanja tijela                                                                                                    | <b>91</b>  |
| <b>Tablica 7</b>  | Podjela uzorka na tri i četiri klastera i analiza varijanci – gornji dio tijela                                                                                    | <b>94</b>  |
| <b>Tablica 8</b>  | Podjela uzorka na tri i četiri klastera i analiza varijanci – donji dio tijela                                                                                     | <b>94</b>  |
| <b>Tablica 9</b>  | Diskriminantna analiza tipova držanja gornjeg dijela tijela                                                                                                        | <b>95</b>  |
| <b>Tablica 10</b> | Struktura diskriminantnih funkcija                                                                                                                                 | <b>96</b>  |
| <b>Tablica 11</b> | Diskriminantna analiza tipova držanja donjeg dijela tijela                                                                                                         | <b>96</b>  |
| <b>Tablica 12</b> | Struktura diskriminantnih funkcija i korelacija s indikatorima držanja donjeg dijela tijela                                                                        | <b>97</b>  |
| <b>Tablica 13</b> | Set tjelesnih mjera za analizu promjena u karakterističnim tjelesnim položajima                                                                                    | <b>103</b> |
| <b>Tablica 14</b> | Određivanje gustoće niti po jediničnoj duljini                                                                                                                     | <b>126</b> |
| <b>Tablica 15</b> | Mehanički parametri utvrđeni KES sustavom                                                                                                                          | <b>127</b> |
| <b>Tablica 16</b> | Tablica mjera za prilagodbu krojeva                                                                                                                                | <b>138</b> |
| <b>Tablica 17</b> | Udjeli segmenata kroja u ukupnim mjerama karakterističnih opsega                                                                                                   | <b>142</b> |
| <b>Tablica 18</b> | Tablica definiranih vrijednosti dodataka za komociju korištenih u razvoju krojeva                                                                                  | <b>142</b> |
| <b>Tablica 19</b> | Vrijednosti funkcionalnih dodataka ciljanih segmenata pojedine mjere kroja kombinezona K3                                                                          | <b>144</b> |
| <b>Tablica 20</b> | Konvertirane vrijednosti parametara svojstava materijala za unos u program Clo3D, utvrđenih Fabric Kit metodom i digitalizacijom preko SEDDI Textura AI aplikacije | <b>148</b> |
| <b>Tablica 21</b> | Skala za vrednovanje pristalosti računalnih 3D prototipova odjevnih predmeta                                                                                       | <b>149</b> |

|                   |                                                                                                                                                                                                                          |            |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Tablica 22</b> | Deskriptivna statistika i distribucijski parametri glavnih tjelesnih opsega u uzorku ispitanica                                                                                                                          | <b>154</b> |
| <b>Tablica 23</b> | Deskriptivna statistika i vrijednosti distribucijskih parametra indikatora oblika tijela tipa F1                                                                                                                         | <b>156</b> |
| <b>Tablica 24</b> | Deskriptivna statistika i vrijednosti distribucijskih parametra indikatora oblika tijela tipa F2                                                                                                                         | <b>156</b> |
| <b>Tablica 25</b> | Deskriptivna statistika i vrijednosti distribucijskih parametra indikatora oblika tijela tipa F3                                                                                                                         | <b>157</b> |
| <b>Tablica 26</b> | Klasifikacijska matrica tipova oblika tijela                                                                                                                                                                             | <b>158</b> |
| <b>Tablica 27</b> | Deskriptivna statistika i vrijednosti distribucijskih parametra indikatora držanja gornjeg dijela tijela tipa UP1                                                                                                        | <b>160</b> |
| <b>Tablica 28</b> | Deskriptivna statistika i vrijednosti distribucijskih parametra indikatora držanja gornjeg dijela tijela tipa UP2                                                                                                        | <b>160</b> |
| <b>Tablica 29</b> | Deskriptivna statistika i vrijednosti distribucijskih parametra indikatora držanja gornjeg dijela tijela tipa UP3                                                                                                        | <b>161</b> |
| <b>Tablica 30</b> | Klasifikacijska matrica utvrđenih tipova držanja gornjeg dijela tijela                                                                                                                                                   | <b>162</b> |
| <b>Tablica 31</b> | Deskriptivna statistika i vrijednosti distribucijskih parametra indikatora držanja donjeg dijela tijela tipa LP1                                                                                                         | <b>163</b> |
| <b>Tablica 32</b> | Deskriptivna statistika i vrijednosti distribucijskih parametra indikatora držanja donjeg dijela tijela tipa LP2                                                                                                         | <b>163</b> |
| <b>Tablica 33</b> | Deskriptivna statistika i vrijednosti distribucijskih parametra indikatora držanja donjeg dijela tijela tipa LP3                                                                                                         | <b>164</b> |
| <b>Tablica 34</b> | Klasifikacijska matrica utvrđenih tipova držanja donjeg dijela tijela                                                                                                                                                    | <b>165</b> |
| <b>Tablica 35</b> | Tjelesne mjere utvrđene interaktivnim mjerenjem prema postavljenim markerima na skeniranim 3D modelima tri ispitanice u standardnom uspravnom položaju tijela P0                                                         | <b>167</b> |
| <b>Tablica 36</b> | Tjelesne mjere gornjeg dijela tijela utvrđene interaktivnim mjerenjem prema postavljenim markerima na skeniranim 3D modelima tri ispitanice različitih tipova tijela u karakterističnim tjelesnim položajima P1, P2 i P3 | <b>168</b> |
| <b>Tablica 37</b> | Tjelesne mjere utvrđene interaktivnim mjerenjem na skeniranim 3D modelima tri ispitanice različitih tipova tijela u karakterističnim tjelesnim položajima P4 i P5                                                        | <b>169</b> |
| <b>Tablica 38</b> | Rezultati analize poprečnih deformacija površine leđa u položaju razručenja (P1) na tri ispitanice različitih tipova tijela                                                                                              | <b>170</b> |
| <b>Tablica 39</b> | Rezultati analize poprečnih deformacija površine leđa u položaju predručenja (P2) na tri ispitanice različitih tipova tijela                                                                                             | <b>170</b> |
| <b>Tablica 40</b> | Rezultati analize poprečnih deformacija tijela u položaju nadručenja (P3) na tri ispitanice različitih tipova tijela                                                                                                     | <b>171</b> |
| <b>Tablica 41</b> | Rezultati analize uzdužnih deformacija tijela u položaju nadručenja (P3) na tri ispitanice različitih tipova tijela                                                                                                      | <b>171</b> |



|                   |                                                                                                                                                                   |            |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Tablica 42</b> | Tjelesne mjere gornjeg dijela tijela utvrđene na 3D modelima tijela u pokretu u početnom položaju P0                                                              | <b>172</b> |
| <b>Tablica 43</b> | Tjelesne mjere gornjeg dijela tijela u položajima P1, P2 i P3, utvrđene na 3D modelima tijela u pokretu snimljenim sustavom Aramis                                | <b>172</b> |
| <b>Tablica 44</b> | Rezultati mjerenja poprečnih deformacija tijela u položaju pretklona (P4) na tri ispitnice različitih tipova tijela                                               | <b>174</b> |
| <b>Tablica 45</b> | Rezultati analize uzdužnih deformacija tijela u položaju pretklona (P4) na tri ispitnice različitih tipova tijela u posteriornoj ravnini                          | <b>175</b> |
| <b>Tablica 46</b> | Rezultati mjerenja uzdužnih deformacija tijela u položaju pretklona (P4) na tri ispitnice različitih tipova tijela u sagitalnoj ravnini                           | <b>175</b> |
| <b>Tablica 47</b> | Tjelesne mjere utvrđene na 3D modelima tijela u pokretu (KL4) u početnom položaju P0                                                                              | <b>176</b> |
| <b>Tablica 48</b> | Tjelesne mjere utvrđene na 3D modelima tijela u pokretu u položaju pretklona P4                                                                                   | <b>176</b> |
| <b>Tablica 49</b> | Rezultati mjerenja uzdužnih deformacija tijela u položaju čučnja (P5) na tri ispitnice različitih tipova tijela                                                   | <b>177</b> |
| <b>Tablica 50</b> | Rezultati mjerenja poprečnih deformacija tijela u položaju čučnja (P5) na tri ispitnice različitih tipova tijela                                                  | <b>178</b> |
| <b>Tablica 51</b> | Tjelesne mjere utvrđene na 3D modelima tijela u pokretu (KL5) u početnom položaju P0                                                                              | <b>178</b> |
| <b>Tablica 52</b> | Tjelesne mjere utvrđene na 3D modelima tijela u pokretu u položaju čučnja P5                                                                                      | <b>179</b> |
| <b>Tablica 53</b> | Sirovinski sastav, struktura i fizikalni parametri tekstilnih materijala za ispitivanje                                                                           | <b>188</b> |
| <b>Tablica 54</b> | Tablica parametara mehaničkih svojstava utvrđenih primjenom KES sustava                                                                                           | <b>189</b> |
| <b>Tablica 55</b> | Tablica rezultata ispitivanja prekidne sile i prekidnog istezanja metodom trake                                                                                   | <b>190</b> |
| <b>Tablica 56</b> | Rezultati ispitivanja vlačnih svojstava Fabric Kit metodom                                                                                                        | <b>192</b> |
| <b>Tablica 57</b> | Vrijednosti sila potrebnih za produljenja od 1 mm do 5 mm utvrđenih iz $F/\varepsilon$ dijagrama uzoraka ispitanih standardnom metodom trake                      | <b>193</b> |
| <b>Tablica 58</b> | Rezultati ispitivanja savojnih svojstava Fabric Kit metodom                                                                                                       | <b>194</b> |
| <b>Tablica 59</b> | Masa materijala utvrđena prema Fabric Kit metodi                                                                                                                  | <b>194</b> |
| <b>Tablica 60</b> | Utvrđene vrijednosti parametara mehaničkih svojstava primjenom SEDDI Textura AI aplikacije za unos u CAD sustav Clo3D                                             | <b>196</b> |
| <b>Tablica 61</b> | Rezultati ispitivanja pristalosti analizom istezanja računalnih 3D prototipova ženskog trikoa K1 na modelima tijela ispitnica u uspravnom statičkom položaju – P0 | <b>221</b> |

|                   |                                                                                                                                                                                                                                          |            |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Tablica 62</b> | Rezultati ispitivanja pristalosti analizom istezanja računalnih 3D prototipova modela ženske bluze i hlača na modelima tijela ispitanica u uspravnom statičkom položaju – P0                                                             | <b>222</b> |
| <b>Tablica 63</b> | Rezultati ispitivanja pristalosti analizom istezanja računalnih 3D prototipova ženskog kombinezona K3 na modelima tijela ispitanica u uspravnom statičkom položaju – P0                                                                  | <b>223</b> |
| <b>Tablica 64</b> | Rezultati analize istezanja u smjeru potke (x) na realnim i računalnim 3D prototipovima ženskog trikoa K1 – položaj P1                                                                                                                   | <b>225</b> |
| <b>Tablica 65</b> | Rezultati analize istezanja u smjeru potke (x) na realnim i računalnim 3D prototipovima ženskog trikoa K1 – položaj P2                                                                                                                   | <b>225</b> |
| <b>Tablica 66</b> | Rezultati analize istezanja u smjeru potke (x) na realnim i računalnim 3D prototipovima ženskog trikoa K1 – položaj P3                                                                                                                   | <b>226</b> |
| <b>Tablica 67</b> | Rezultati analize istezanja u smjeru osnove (y) na realnim i računalnim 3D prototipovima ženskog trikoa K1 – položaj P3                                                                                                                  | <b>227</b> |
| <b>Tablica 68</b> | Rezultati analize istezanja u smjeru osnove (y) na realnim i računalnim 3D prototipovima ženskog trikoa K1 – položaj P4                                                                                                                  | <b>228</b> |
| <b>Tablica 69</b> | Rezultati analize istezanja realnih i računalnih 3D prototipova ženskog trikoa K1 u smjeru osnove (y) – položaj P5 sagitalno                                                                                                             | <b>229</b> |
| <b>Tablica 70</b> | Rezultati analize istezanja realnih i računalnih 3D prototipova ženskog trikoa K1 u smjeru osnove (y) – položaj P5 frontalno                                                                                                             | <b>229</b> |
| <b>Tablica 71</b> | Rezultati analize istezanja realnih i računalnih 3D prototipova ženskog trikoa K1 u smjeru potke (x) – položaj P5 posterioro                                                                                                             | <b>230</b> |
| <b>Tablica 72</b> | Rezultati analize istezanja realnih i računalnih 3D prototipova modela ženske bluze i hlača u smjeru potke (x), s aspekta primjene fizikalnih i mehaničkih parametara materijala utvrđenih različitim metodama vrednovanja – položaj P1  | <b>231</b> |
| <b>Tablica 73</b> | Rezultati analize istezanja realnih i računalnih 3D prototipova modela ženske bluze i hlača u smjeru potke (x), s aspekta primjene fizikalnih i mehaničkih parametara materijala utvrđenih različitim metodama vrednovanja – položaj P2  | <b>232</b> |
| <b>Tablica 74</b> | Rezultati analize istezanja realnih i računalnih 3D prototipova modela ženske bluze i hlača u smjeru potke (x), s aspekta primjene fizikalnih i mehaničkih parametara materijala utvrđenih različitim metodama vrednovanja – položaj P3  | <b>233</b> |
| <b>Tablica 75</b> | Rezultati analize istezanja realnih i računalnih 3D prototipova modela ženske bluze i hlača u smjeru osnove (y), s aspekta primjene fizikalnih i mehaničkih parametara materijala utvrđenih različitim metodama vrednovanja – položaj P4 | <b>234</b> |
| <b>Tablica 76</b> | Pomak duljine kroja realnog prototipa ženske bluze u karakterističnim tjelesnim položajima P2 i P3                                                                                                                                       | <b>235</b> |
| <b>Tablica 77</b> | Rezultati analize istezanja realnih i računalnih 3D prototipova modela ženske bluze i hlača u smjeru osnove (y) – položaj P5 sagitalno                                                                                                   | <b>235</b> |

|                   |                                                                                                                                            |            |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Tablica 78</b> | Rezultati analize istezanja realnih i računalnih 3D prototipova modela ženske bluze i hlača u smjeru osnove (y) – položaj P5 frontalno     | <b>236</b> |
| <b>Tablica 79</b> | Rezultati analize istezanja realnih i računalnih 3D prototipova modela ženske bluze i hlača u smjeru potke (x) – položaj P5 posteriorno    | <b>236</b> |
| <b>Tablica 80</b> | Rezultati analize istezanja realnih i računalnih 3D prototipova modela ženskog kombinezona K3 u smjeru potke (x) – položaj P1              | <b>237</b> |
| <b>Tablica 81</b> | Rezultati analize istezanja realnih i računalnih 3D prototipova modela ženskog kombinezona K3 u smjeru potke (x) – položaj P2              | <b>238</b> |
| <b>Tablica 82</b> | Rezultati analize istezanja realnih i računalnih 3D prototipova modela ženskog kombinezona K3 u smjeru potke (x) – položaj P3              | <b>238</b> |
| <b>Tablica 83</b> | Rezultati analize istezanja realnih i računalnih 3D prototipova modela ženskog kombinezona K3 u smjeru osnove (y) – položaj P4             | <b>239</b> |
| <b>Tablica 84</b> | Rezultati analize istezanja realnih i računalnih 3D prototipova modela ženskog kombinezona K3 u smjeru osnove (y) – položaj P5 sagitalno   | <b>239</b> |
| <b>Tablica 85</b> | Rezultati analize istezanja realnih i računalnih 3D prototipova modela ženskog kombinezona K3 u smjeru osnove (y) – položaj P5 frontalno   | <b>240</b> |
| <b>Tablica 86</b> | Rezultati analize istezanja realnih i računalnih 3D prototipova modela ženskog kombinezona K3 u smjeru osnove (y) – položaj P5 posteriorno | <b>240</b> |

## PRILOG D

Popis simbola i pokrata:

|                       |                                                                                         |                       |                                                                                    |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>A</b>              | <i>Površina</i>                                                                         | <b>B</b>              | <i>Savojna krutost</i>                                                             |
| <b>BDps</b>           | <i>Bočna duljina gornjeg dijela tijela mjerena između visine pazuha i opsega struka</i> | <b>BP</b>             | <i>Udaljenost prednje točke na liniji bokova od vertikalne posteriorne ravnine</i> |
| <b>BS</b>             | <i>Udaljenost stražnje točke na liniji bokova od vertikalne posteriorne ravnine</i>     | <b>cN</b>             | <i>Centinewton</i>                                                                 |
| <b>c7</b>             | <i>Udaljenost sedmog vratnog kralješka od vertikalne posteriorne ravnine</i>            | <b>DF1</b>            | <i>Prva diskriminantna funkcija</i>                                                |
| <b>DF2</b>            | <i>Druga diskriminantna funkcija</i>                                                    | <b>Dk</b>             | <i>Duljina kroja od opsega struka do opsega gležnja</i>                            |
| <b>DI<sub>1</sub></b> | <i>Stražnja duljina leđa od sedmog vratnog kralješka do opsega grudi</i>                | <b>DI<sub>2</sub></b> | <i>Stražnja duljina leđa od opsega grudi do struka</i>                             |
| <b>Dr</b>             | <i>Duljina rukava</i>                                                                   | <b>Ds</b>             | <i>Dubina sjedala</i>                                                              |
| <b>EMT</b>            | <i>Maksimalno produljenje</i>                                                           | <b>F</b>              | <i>Sila</i>                                                                        |
| <b>f</b>              | <i>Funkcija</i>                                                                         | <b>F<sub>p</sub></b>  | <i>Prekidna sila</i>                                                               |
| <b>G</b>              | <i>Smična krutost</i>                                                                   | <b>gf</b>             | <i>Gramforce</i>                                                                   |
| <b>GP</b>             | <i>Udaljenost prednje točke na liniji grudi od vertikalne posteriorne ravnine</i>       | <b>GS</b>             | <i>Udaljenost stražnje točke na liniji grudi od vertikalne posteriorne ravnine</i> |
| <b>J</b>              | <i>Jakobijeva matrica</i>                                                               | <b>Kd</b>             | <i>Koeficijent drapiranja</i>                                                      |
| <b>kgf</b>            | <i>Kilogramforce</i>                                                                    | <b>I<sub>p</sub></b>  | <i>Prekidna duljina uzorka</i>                                                     |
| <b>LT</b>             | <i>Linearnost krivulje</i>                                                              | <b>I<sub>0</sub></b>  | <i>Početna duljina uzorka</i>                                                      |
| <b>M</b>              | <i>transformacijska matrica</i>                                                         | <b>m<sub>u</sub></b>  | <i>Masa uzorka</i>                                                                 |
| <b>N</b>              | <i>broj ispitanica u uzorku</i>                                                         | <b>Nk</b>             | <i>Duljina nabora u koljenu</i>                                                    |
| <b>Nn</b>             | <i>Duljina nabora u bočnom šavu nogavice</i>                                            | <b>Nor</b>            | <i>Duljina nabora u orukavlju</i>                                                  |
| <b>Nr</b>             | <i>Duljina nabora u rukavu</i>                                                          | <b>Ob</b>             | <i>Opseg bokova</i>                                                                |
| <b>Ob<sub>2</sub></b> | <i>Najveći opseg na području bokova</i>                                                 | <b>Og</b>             | <i>Opseg grudi</i>                                                                 |



|                       |                                                                                    |                       |                                                                                             |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ogl</b>            | Opseg gležnja                                                                      | <b>Onk</b>            | Opseg natkoljenice                                                                          |
| <b>Onl</b>            | Opseg nadlaktice                                                                   | <b>Opk</b>            | Opseg potkoljenice                                                                          |
| <b>Opl</b>            | Opseg podlaktice                                                                   | <b>Os</b>             | Opseg struka                                                                                |
| <b>Oz</b>             | Opseg zapešča                                                                      | <b>p</b>              | Značajnost                                                                                  |
| <b>Por1</b>           | Prednja krivulja orukavlja od bočnog šava do točke sastava rukava                  | <b>Por2</b>           | Prednja krivulja orukavlja od točke sastava do vrha rukava                                  |
| <b>Pšvi</b>           | Prednja širina vratnog izreza                                                      | <b>R</b>              | Rotacijska matrica                                                                          |
| <b>Rc</b>             | Kanonski koeficijent korelacije                                                    | <b>RT</b>             | sposobnost elastičnog oporavka                                                              |
| <b>SD</b>             | Standardna devijacija                                                              | <b>SDgs</b>           | Duljina krivulje na stražnjem dijelu tijela od opsega grudi do struka                       |
| <b>SDgk</b>           | Duljina krivulje na stražnjem dijelu tijela od opsega grudi do koljena             | <b>SDbnk</b>          | Duljina krivulje na stražnjem dijelu tijela od opsega bokova do opsega natkoljenice         |
| <b>SDnnk</b>          | Duljina krivulje na stražnjem dijelu tijela od opsega natkoljenice do koljena      | <b>SDsb</b>           | Duljina krivulje na stražnjem dijelu tijela od opsega struka do bokova                      |
| <b>Sor1</b>           | Stražnja krivulja orukavlja od bočnog šava do točke sastava rukava                 | <b>Sor2</b>           | Stražnja krivulja orukavlja od točke sastava do vrha rukava                                 |
| <b>Sšvi</b>           | Stražnja širina vratnog izreza                                                     | <b>SŠb</b>            | Stražnja širina bokova                                                                      |
| <b>Šb</b>             | Širina bokova mjerena na liniji opsega najistaknutijeg dijela stražnjice           | <b>Šb<sub>2</sub></b> | Širina bokova 2 mjerena na liniji najvećeg opsega bokova                                    |
| <b>Šg</b>             | Širina grudi mjerena na liniji opsega grudi                                        | <b>Sk</b>             | Udaljenost najistaknutije točke scapule od vertikalne posteriorne ravnine                   |
| <b>Šl<sub>1</sub></b> | širina leđa mjerena preko vrhova lopatica                                          | <b>Šl<sub>2</sub></b> | širina leđa mjerena u visini pazuha                                                         |
| <b>Šnk</b>            | Širina natkoljenice                                                                | <b>Šr</b>             | Širina ramena mjerena između točaka vrha ramena                                             |
| <b>Šs</b>             | Širina struka mjerena na liniji opsega struka definiranog kao najužeg opsega torza | <b>Šs<sub>2</sub></b> | Širina struka 2 mjerena na liniji opsega spuštenog struka                                   |
| <b>T</b>              | Translacijska matrica                                                              | <b>TP</b>             | Udaljenost najistaknutije točke trbuha na prednjem dijelu od vertikalne posteriorne ravnine |
| <b>Vb</b>             | Visina bokova mjerena od linije opsega stražnjice do podloge                       | <b>Vb<sub>2</sub></b> | Visina bokova 2 mjerena od linije najvećeg opsega bokova do podloge                         |

|                       |                                                                                                |                      |                                                                    |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------|
| <b>Vc7</b>            | Visina sedmog vratnog kralješka mjereno od podloge                                             | <b>Vg</b>            | Visina grudi mjerena od linije opsega grudi do podloge             |
| <b>Vk</b>             | Visina koljena                                                                                 | <b>Vpd</b>           | Visina prednjeg dijela                                             |
| <b>Vr</b>             | Visina ramena mjerena od vrha ramena do podloge                                                | <b>Vs</b>            | Visina struka mjerena od linije opsega struka do podloge           |
| <b>Vs<sub>2</sub></b> | Visina struka 2 mjerena od linije spušenog struka do podloge                                   | <b>VSk</b>           | Visina najistaknutije točke skapule mjereno od podloge             |
| <b>Vt</b>             | Visina najistaknutije točke na prednjoj strani trbuha mjereno od podloge                       | <b>WT</b>            | Deformacijski rad                                                  |
| <b>Wλ</b>             | Wilksova lambda                                                                                | <b>ε</b>             | Deformacija                                                        |
| <b>ε<sub>x</sub></b>  | Deformacija u x smjeru                                                                         | <b>ε<sub>y</sub></b> | Deformacija u y smjeru                                             |
| <b>ε<sub>p</sub></b>  | Prekidno istezanje                                                                             | <b>μ</b>             | Poisson-ov koeficijent                                             |
| <b>θ</b>              | Kut rotacije                                                                                   | <b>λ</b>             | Svojstvena vrijednost diskriminantne funkcije                      |
| <b>2D</b>             | dvodimenzionalno                                                                               | <b>3D</b>            | trodimenzionalno                                                   |
| <b>4D</b>             | Trodimenzionalno snimanje u vremenu                                                            | <b>BEST</b>          | BioDynamic Excisional Skin Tension                                 |
| <b>bvh</b>            | Bounding volume hierarchy                                                                      | <b>CAD</b>           | Computer-Aided-Design                                              |
| <b>CCD</b>            | Couple Charged Device                                                                          | <b>DYNA</b>          | Dinamički 3D model tijela „Model of Dynamic Human Shape in Motion“ |
| <b>EN</b>             | Europske norme                                                                                 | <b>F1</b>            | Tip tijela 1                                                       |
| <b>F2</b>             | Tip tijela 2                                                                                   | <b>F3</b>            | Tip tijela 3                                                       |
| <b>FAST</b>           | Fabric Assurance by Simple Testing                                                             | <b>fbx</b>           | Format zapisa animacije („Filmbox“)                                |
| <b>FFIT</b>           | Female Figure Identification Technique                                                         | <b>I1</b>            | Ispitanica tipa tijela 1                                           |
| <b>I2</b>             | Ispitanica tipa tijela 2                                                                       | <b>I3</b>            | Ispitanica tipa tijela 3                                           |
| <b>ISO</b>            | Međunarodna organizacija za standardizaciju („International Organization for Standardization“) | <b>HRN</b>           | Hrvatske norme                                                     |
| <b>HRZZ</b>           | Hrvatska Zaklada za Znanost                                                                    | <b>K1</b>            | Model ženskog trikoa                                               |
| <b>K2</b>             | Model temeljnog ženskog radnog kombinezona                                                     | <b>K3</b>            | Model ženskog funkcionalnog kombinezona                            |

|              |                                                 |              |                                                  |
|--------------|-------------------------------------------------|--------------|--------------------------------------------------|
| <b>KES</b>   | <i>Kawabata Evaluation System</i>               | <b>KL 1</b>  | <i>Kinematički lanac pokreta 1</i>               |
| <b>KL 2</b>  | <i>Kinematički lanac pokreta 2</i>              | <b>KL 3</b>  | <i>Kinematički lanac pokreta 3</i>               |
| <b>KL 4</b>  | <i>Kinematički lanac pokreta 4</i>              | <b>KL 5</b>  | <i>Kinematički lanac pokreta 5</i>               |
| <b>LP1</b>   | <i>Tip držanja donjeg dijela tijela 1</i>       | <b>LP2</b>   | <i>Tip držanja donjeg dijela tijela 2</i>        |
| <b>LP3</b>   | <i>Tip držanja donjeg dijela tijela 3</i>       | <b>M1</b>    | <i>Tekstilni materijal 1</i>                     |
| <b>M2</b>    | <i>Tekstilni materijal 2</i>                    | <b>MEL</b>   | <i>Programski jezik „Maya Embedded Language“</i> |
| <b>MFL</b>   | <i>Main Fold Lines</i>                          | <b>MoCap</b> | <i>Motion Capture sustav</i>                     |
| <b>P1</b>    | <i>Karakteristični položaj tijela 1</i>         | <b>P2</b>    | <i>Karakteristični položaj tijela 2</i>          |
| <b>P3</b>    | <i>Karakteristični položaj tijela 3</i>         | <b>P4</b>    | <i>Karakteristični položaj tijela 4</i>          |
| <b>P5</b>    | <i>Karakteristični položaj tijela 5</i>         | <b>PCA</b>   | <i>Principle Component Analysis</i>              |
| <b>SCAPE</b> | <i>Shape Completion and Animation of People</i> | <b>SMPL</b>  | <i>Skinned Multi-Person Linear Model</i>         |
| <b>SSG</b>   | <i>stupnjevi slobode gibanja</i>                | <b>UP1</b>   | <i>Tip držanja gornjeg dijela tijela 1</i>       |
| <b>UP2</b>   | <i>Tip držanja gornjeg dijela tijela 2</i>      | <b>UP3</b>   | <i>Tip držanja gornjeg dijela tijela 3</i>       |

## PRILOG E

### Životopis:

Maja Mahnić Naglič, mag. ing. techn. text., rođena je u Slavonskom Brodu gdje je završila osnovnu i srednju školu. Na Sveučilištu u Zagrebu Tekstilno-tehnološkom fakultetu 2009. godine završila je prijediplomski studij Tekstilna tehnologija i inženjerstvo, smjer: Odjevno inženjerstvo, a 2011. godine diplomski studij Tekstilna tehnologija i inženjerstvo, smjer: Industrijski dizajn odjeće. 2010. godine dobila je Rektorovu nagradu za studentski znanstveno-istraživački rad, a 2011. godine Dekanovu nagradu za izvrstan uspjeh na diplomskom studiju i aktivno sudjelovanje u promociji Tekstilno-tehnološkog fakulteta. Poslijediplomski doktorski studij Tekstilna znanost i tehnologija upisala je 2013. godine.

Od 2012. godine zaposlena je na Tekstilno-tehnološkom fakultetu kao vanjski suradnik, a od 2015. u suradničkom zvanju asistenta na Zavodu za odjevnu tehnologiju. Sudjeluje u izvođenju nastave na kolegijima iz područja 2D/3D CAD/CAM sustava za računalnu konstrukciju i projektiranje odjeće. Aktivno sudjeluje pri osmišljavanju tema za završne i diplomske radove, te pomaže studentima pri izradi i provedbi istih. Znanstveno-istraživački rad vezan je za antropometrijska mjerenja tijela primjenom 3D skenera, dinamičku antropometriju, računalnu konstrukciju i 3D simulaciju odjeće, prilagodbu odjeće po mjeri i razvoj parametarskih 3D prototipova odjeće te razvoj i primjenu animiranih 3D modela tijela za analizu pristalosti odjevnih predmeta u dinamičkim uvjetima.

U sklopu CEEPUS mobilnosti, 2015. godine boravila je pet mjeseci na Univerzi v Mariboru Fakulteti za strojništvo. Od 2015. do 2018. godine, aktivno je sudjelovala u provedbi HRZZ projekta br.3011 „Primjena matematičkog modeliranja i inteligentnih algoritama pri konstrukciji odjeće“. Kao koautor je objavila dva poglavlja u znanstvenim knjigama, osam znanstvenih radova u časopisima citiranim u bazama WoS i Scopus, četiri znanstvena rada u drugim časopisima, 17 znanstvenih radova objavljenih u cjelosti u zbornicima međunarodnih skupova i dva znanstvena rada objavljena u zbornicima domaćih skupova. Sudjelovala je na više međunarodnih znanstvenih skupova s usmenom i poster prezentacijom rada.

Sudjelovala je u provedbi i organizaciji različitih aktivnosti na Fakultetu. Kao članica organizacijskih odbora sudjelovala je u predstavljanju Tekstilno-tehnološkog fakulteta na Smotrama Sveučilišta u Zagrebu 2011. i 2016. godine. 2011. godine je kao član organizacijskog odbora sudjelovala u predstavljanju Fakulteta na 1. međunarodnom sajmu



obrazovanja Educa 2011. Kao članica tehničkog odbora sudjelovala je u organizaciji i provedbi svjetskog znanstvenog kongresa AUTEX 2012. Kao članica organizacijskog odbora sudjelovala je u organizaciji znanstveno-stručnog savjetovanja Tekstilna znanost i gospodarstvo TZG 2018. i 2020. godine. Od 2014. do 2018. godine bila je članica Vijeća doktorskog studija Sveučilišta u Zagrebu Tekstilno-tehnološkog fakulteta, te je za ak.god. 2014./2015. dobila Stipendiju za studente sveučilišnog poslijediplomskog doktorskog studija Tekstilna znanost i tehnologija.

## PRILOG F

Popis radova:**Znanstveni radovi kategorije A – WoS časopisi**

1. Petrak, S.; Rastovac, I.; **Mahnić Naglić, M.**: Dynamic Anthropometry – Research on Body Dimensional Changes, *Tekstilec*, 66 (2023), 240-248, doi: 10.14502/tekstilec.66.2023031
2. Petrak, S.; **Mahnić Naglić, M.**; Rogale, D.; Geršak, J.: Analysis of Polygonal Computer Model Parameters and Influence on Fabric Drape Simulation, *Materials*, 14 (2021), 6259, doi: 10.3390/ma14216259
3. Špelić, I.; Petrak, S.; **Mahnić Naglić, M.**: The correction of clothing insulation and ergonomic design through 3D CAD reverse engineering, *International journal of occupational safety and ergonomics*, 27 (2021) 3, 737-753, doi: 10.1080/10803548.2021.1876347
4. Brlobašić Šajatović, B.; Petrak, S.; **Mahnić Naglić, M.**: Analysis of body proportions of Croatian basketball players and the untrained population and their influence on garment fit, *Textile Research Journal*, 89 (2019) 23-24, 5238-5251, doi:10.1177/2F0040517519849469
5. **Mahnić Naglić, M.**; Petrak, S.: A method for body posture classification of three-dimensional body models in the sagittal plane, *Textile Research Journal*, 89 (2019) 2, 133-149, doi:10.1177/0040517517741155
6. Špelić, I.; Rogale, D.; Mihelić Bogdanić, A.; Petrak, S.; **Mahnić Naglić, M.**: Changes in ensembles' thermal insulation according to garment's fit and length based on athletic figure, *Fibers and polymers*, 19 (2018) 6, 1278-1287, doi:10.1007/s12221-018-1074-8
7. Petrak, S.; **Mahnić Naglić, M.**: Dynamic Anthropometry – Defining a Protocols for Automatic Body Measurement, *Tekstilec*, 60 (2017) 4, 254-262, doi:10.14502/Tekstilec2017.60.254-262
8. Petrak, S.; **Mahnić, M.**; Rogale, D.: Impact of Male Body Posture and Shape on Design and Garment Fit, *Fibres & textiles in Eastern Europe*, 23 (2015) 6, 150-158 doi:10.5604/12303666.1167435

**Znanstveni radovi kategorije B – drugi časopisi**

9. Grilec, A.; Petrak, S.; **Mahnić Naglić, M.**: Consumer Perception of 3D Body Scanning While Online Shopping for Clothing, *WASET International Journal of Humanities and Social Sciences*, 13 (2019) 7, 1025-1030

10. Marjanović, J.; Petrak, S.; **Mahnić Naglić, M.**; Glogar, M.I.: Design and computer construction of structural sleeve forms for women's clothing, *Textile & Leather Review*, 2 (2019) 4, 183-195, doi:10.31881/TLR.2019.29
11. **Mahnić, M.**; Petrak, S.: Investigation of the Fit of Computer-based Parametric Garment Prototypes, *Journal of fiber bioengineering and informatics*, 6 (2013) 1, 51-61, doi:10.3993/jfbi03201305

#### Poglavlja u znanstvenim knjigama

12. **Mahnic Naglic, M.**; Petrak, S.: Analysis of Surface Segments Deviations Between Different Female Body Types Based on 3D Flattening Method, U: *Advances in Simulation and Digital Human Modeling*, Cassenti, D.N.; Scatallini, S.; Rajulu, S.L.; Wright, J.L. (ur.), Cham: Springer, 2020. str. 241-247
13. Petrak, S.; **Mahnić Naglić, M.**; Geršak, J.: Sizing and fit for swimsuits and diving suits, U: *Anthropometry, Apparel Sizing and Design*, Zakaria, N.; Gupta, D. (ur.), 2019. str. 255-288

#### Znanstveni radovi kategorije C - objavljeni u cjelosti u zbornicima međunarodnih skupova

14. Zmeškal, K.; Petrak, S.; **Mahnić Naglić, M.**: Female medical uniforms design and development of virtual prototypes according to functional and psychological preferences, *Electronic Proceedings of 14th International Scientific Conference on Manufacturing Engineering - Development and Modernization of Manufacturing RIM 2023*, Bihać: University of Bihać Faculty of Technical Engineering, 2023., str. 299-308
15. **Mahnić Naglić, M.**; Petrak, S.: Development of a female body types classification method, *Book of Proceedings of 13th International Scientific-Professional Symposium TEXTILE SCIENCE AND ECONOMY, Chinese- Croatian Forum, Innovation, Design and Digitalization in the Textile and Leather Sector*, Petrak, S.; Zdraveva, E.; Mijović, B. (ur.), Zagreb: Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, 2020., str. 297-302
16. **Mahnic Naglic, M.**; Petrak, S.; Gersak, J.; Rolich, T.: Analysis of dynamics and fit of diving suits, *17th World Textile Conference AUTEX 2017, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 254, 152007, IOP Publishing Ltd, 2017., doi:10.1088/1757-899X/254/15/152007
17. **Mahnic Naglic, M.**; Petrak, S.; Stjepanović, Z.: Analysis of 3D construction of tight fit clothing based on parametric and scanned body models, *Proceedings of 7th International Conference on 3D Body Scanning Technologie*, D'Apuzzo, N. (ur.), Ascona: Hometrica Consulting, 2016. str. 302-313
18. Owczarek M.; Petrak, S.; **Mahnić Naglić, M.**: Digital design and development of a non-standard 3D fashion clothing product, *Book of Proceedings of International Scientific-*

- Professional Symposium TEXTILE SCIENCE AND ECONOMY, Digital Fashion*, Simončić, N.K.; Krpan, P. (ur.), Zagreb: Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, **2024.**, str. 26-32
19. Hajrulahović, A.; Petrak, S.; **Mahnić Naglić, M.**: Feredža as an inspiration for the design and computer development of contemporary women's clothing, *Electronic Proceedings of 14th International Scientific Conference on Manufacturing Engineering - Development and Modernization of Manufacturing RIM 2023*, Bihać: University of Bihać Faculty of Technical Engineering, **2023.**, str. 280-289
  20. Guša, A.M.; Petrak, S.; **Mahnić Naglić, M.**: Elements of Traditional China in Computer Design of Author's Fashion Clothing Collection, *Book of Proceedings of 13th International Scientific-Professional Symposium TEXTILE SCIENCE AND ECONOMY, Chinese-Croatian Forum, Innovation, Design and Digitalization in the Textile and Leather Sector*, Petrak, S.; Zdraveva, E.; Mijović, B. (ur.), Zagreb: sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, **2020.**, str. 86-91
  21. Petrak, S.; Pavić, M.; **Mahnić Naglić M.**: Computer 3D reconstruction of historical costumes, *Proceedings of 12th International Scientific Conference on Production Engineering RIM 2019*, Hodžić, A.; Islamović, F.; Mijović, B. (ur.), Bihać: University of Bihać, Faculty of Engineering Sciences, **2019.**, str. 378-383
  22. Petrak, S.; Špelić, I.; **Mahnić Naglić, M.**: The Volumetric Analysis of the Human Body as starting Point for Clothing Pattern Design, *Proceedings of 3DBODY.TECH 2018 9th International Conference on 3D Body Scanning and Processing Technologies*, D'Apuzzo, N. (ur.), Ascona: Hometrica Consulting, **2018.** str. 83-91, doi:10.15221/18.083
  23. Špelić I.; Rogale D.; Petrak S.; **Mahnić Naglić M.**: The clothing zhermal properties modifications due to garment's lenght, Book of proceeding of 9th International Textile Clothing & Design Conference - Magic World of Textile, Dragčević, Z. (ur.), Zagreb: University of Zagreb, Faculty of Textile Technology, Zagreb, Croatia, **2018.** str. 221-226
  24. Petrak, S.; **Mahnic Naglic, M.**; Sikic, M.: Garment Collection Designed According to Female Body Types and Mass Customization Concept, Book of proceeding of 8th International Textile Clothing & Design Conference - Magic World of Textiles, Dragčević, Z. (ur.), Zagreb: University of Zagreb, Faculty of Textile Technology, Zagreb, Croatia, **2016.** str. 406-411
  25. Špelić, I.; Petrak, S.; **Mahnić Naglić, M.**: Changes of effective thermal insulation of male clothing ensembles in accordance with the volume of clothing, 8th international textile, clothing & design conference – Magic World of Textile, Dragčević, Z.; Hursa Šajatović, A.; Vujasinović, E. (ur.), Zagreb: University of Zagreb, Faculty of Textile Technology, Zagreb, Croatia, **2016.** str. 266-272
  26. Petrak, S.; **Mahnic, M.**; Rogale, D.: Computer Parametrization of Men's Trousers Pattern, Book of Proceedings of the 7th International Textile, Clothing & Design Conference 2014 -



Magic World of Textiles, Dragčević, Z.; Hursa Šajatović, A.; Vujasinović, E. (ur.), Zagreb: Tekstilno-tehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, **2014.** str. 316-321

27. **Mahnić M.**; Ujaković F.; Janjić S.; Petrak S.; Medved V.: Comparative analysis and adjustments of anthropometric parameters on system for kinematic movement analysis and 3D body scanner, Proceedings of 7th international scientific conference on kinesiology, Milanović D.; Sporiš G. (ur.) Zagreb: University of Zagreb Faculty of Kinesiology, **2014.** str. 165-169

#### **Znanstveni radovi kategorije D - objavljeni u cjelosti u zbornicima domaćih skupova**

28. Bašak, A.; Petrak, S.; **Mahnić Naglić, M.**: Računalno projektiranje i inovativni razvoj autorske kolekcije dječjih ogrtača, *Zbornik radova 11. znanstveno – stručnog savjetovanja Tekstilna znanost i gospodarstvo, Tekstil, koža i obuća – sektor „održivog“ razvoja u RH*, Ercegović Ražić, S.; Glogar, M.I.; Novak, I. (ur.), Zagreb: Sveučilište u Zagrebu Tekstilno – tehnološki fakultet, **2018.** str. 111-116
29. Petrak, S.; **Mahnić Naglić, M.**; Pintarić, D.: Sinergija znanosti i poduzetništva-Inovativni razvoj profesionalnog ronilačkog odijela, *Zbornik radova 10. znanstveno-stručnog savjetovanja Tekstilna znanost i gospodarstvo - Komplementarnost znanosti, tehnologije i dizajna*, Glogar, Martinia I. (ur.), Zagreb: Sveučilište u Zagrebu Tekstilno – tehnološki fakultet, **2017.** str. 62-73