

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
TEKSTILNO – TEHNOLOŠKI FAKULTET
TEKSTILNA TEHNOLOGIJA I INŽENJERSTVO

DIPLOMSKI RAD

Računalna analiza ponašanja tkanine na tijelu u pokretu

Mateja Lorković

Zagreb, Srpanj 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
TEKSTILNO – TEHNOLOŠKI FAKULTET
TEKSTILNA TEHNOLOGIJA I INŽENJERSTVO
ZAVOD ZA ODJEVNU TEHNOLOGIJU

DIPLOMSKI RAD

Računalna analiza ponašanja tkanine na tijelu u pokretu

Izv. prof. dr. sc. Slavenka Petrak

Mateja Lorković 10154/TTI-OI

Zagreb, Srpanj 2017.

DIPLOMSKI RAD

KANDIDAT: Mateja Lorković

NASLOV RADA: Računalna analiza ponašanja tkanine na tijelu u pokretu

NAZIV STUDIJA: Tekstilna tehnologija i inženjerstvo

NAZIV SMJERA: Odjevno inženjerstvo

VODITELJ RADA: Izv. prof. dr. sc. Slavenka Petrak

ČLANOVI POVJERENSTVA: Izv. prof. dr. sc. Slavenka Petrak
Doc. dr. sc. Anica Hursa Šajatović
Prof. dr. sc. Željko Šomođi

ZAMJENIK ČLANA: Doc. dr. sc. Maja Somogyi Škoc

JEZIK TEKSTA: Hrvatski

RAD SADRŽI: 108 stranica
17 tablica
85 slika
43 literaturne reference

INSTITUCIJA U KOJOJ JE RAD

IZRAĐEN: Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet

DATUM PRIHVAĆANJA TEME: 15. srpnja 2016.

POPIS SLIKA

1	Prikaz tijeka osnovinih i potkinih niti u uzornici	11
2	Shematski prikaz platnenog veza	11
3	Shematski prikaz keper veza	12
4	Shematski prikaz atlas veza	12
5	KES-FB1 Auto mjerni sustav za vlačna i smična svojstva	18
6	KES-FB2 AUTO mjernom sustav za savojna svojstva	18
7	Histereza smične deformacije uzorka kod smičnog kuta γ	19
8	KES-FB3 AUTO mjerni sustav za kompresijska svojstva	19
9	KES-FB4 AUTO mjerni sustav za površinska svojstva	20
10	FAST-1 mjerni uređaj za kompresijska svojstva	22
11	FAST-2 mjerni uređaj za savojna svojstva	22
12	FAST-3 mjerni uređaj za vlačna i smična svojstva	23
13	FAST-4 metoda ispitivanja za određivanje dimenzijske stabilnosti	23
14	Prikaz haljine dobivene metodom drapiranja tkanine na lutki	24
15	Cusickov drapmetar	27
16	Razvoj temeljnog kroja muške košulje prema dinamici tijela	28
17	Razvoj temeljnog kroja rukava	32
18	Razvoj temeljnog kroja hlača	33
19	Shematski prikaz mjernog uređaja PicoPress	34
20	Sučelje PDS programa	39
21	Padajući izbornici glavnog izbornika	40
22	Izbornik s alatima za konstrukciju i modeliranje	41
23	a) 2D svojstva krojnih dijelova, b) 3D svojstva krojnih dijelova	42
24	a) Tablica veličina, b) Tablica gradiranja	43

25	Procesni krug 3D simulacije	45
26	Prikaz odjevnog predmeta u "TensionMap" prikazu	45
27	Prikaz izbornika "Model Properties"	46
28	a) Prikaz izbornika "Advance" b) prikaz avatara sa nepromijenjenim mjerama, c) prikaz avatara sa promijenjenim opsegom niskog struka i d) prikaz avatara sa promijenjenim opsegom na liniji bedara	47
29	a) Prikaz izbornika "Heights", b) prikaz avatara sa nepromijenjenim mjerama, c) prikaz avatara sa promijenjenom visinom grudi i d) prikaz avatara sa promijenjenom visinom sedmog vratnog kralješka	47
30	a) Prikaz izbornika "Pose", b) prikaz avatara u standardnom položaju, c)) prikaz avatara u iskioraku i d) prikaz avatara u iskoraku s podignutim podlacticama	48
31	a) Prikaz izbornika "Shape", b) prikaz avatara sa nepromijenjenim mjerama, c) prikaz avatara sa promijenjenim oblikom grudi, opsegom bokova i d) prikaz avatara sa promijenjenim oblikom grudi, opsegom bokova i oblikom prepona	48
32	a) Prikaz izbornika "Basic", b) prikaz avatara sa nepromijenjenim mjerama, c) prikaz avatara sa promijenjenom tjelesnom visinom i d) prikaz avatara sa promijenjenim opsegom struka	49
33	a) Prikaz izbornika "3D Properties", b) pozicioniranje krojnih dijelova oko avatara	50
34	a) Prikaz izbornika "Stitch Properties", b) krojni dijelovi s označenim segmentima spajanja	51
35	Prikaz pravilno označenih segmenata spajanja krojnih dijelova	51
36	Prikaz izbornika "Cloth Parameters"	52
37	a) Prikaz izbornika "Simulation Properties", b) Prikaz mreže poligona na krojnom dijelu	53
38	Prikaz izbornika "Shader"	53
39	Prikaz alata "Circumference measure" na 3D modelu	54
40	Prikaz izbornika alata naprezanja	55
41	Prikaz izbornika alata istezanja	55
42	Prikaz izbornika za pokretanje animacije modela	56
43	Prikaz izbornika "Marker Definitions"	57

44	Krojna slika u programu Optitex Marker Maker	58
45	Dijagram tijeka eksperimentalnog dijela rada	61
46	a) Kroj hlača 1 u Lectra sustavu, b) kroj hlača 2 u Lectra sustavu, c) kroj hlača 1 u PDS programu, d) kroj hlača 2 u PDS programu	62
47	Parametarski model ženskog tijela prilagođen za odjevnu veličinu 38	63
48	Pozicioniranje krojnih dijelova oko 3D modela tijela	64
49	Segmenti spajanja na krojnim dijelovima: a) modela 1 ženskih hlača, b) modela 2 ženskih hlača	65
50	Verifikacija spajanja modela 1 odjevnog predmeta	66
51	Verifikacija spajanja modela 2 odjevnog predmeta	66
52	Parametri tkanine 1	67
53	Parametri tkanine 2	67
54	Poligonalni prikaz modela ženskih hlača s označenim mjernim točkama: a) prednja strana, b) stražnja strana i c) bočna strana	68
55	Prikaz utvrđivanja komocije na 3D modelu ženskih hlača 1	69
56	Prikaz utvrđivanja komocije na 3D modelu hlača 2	69
57	Pozicije markera na krojnim dijelovima	70
58	Položaji tijela u kojima je izvedeno utvrđivanje vrijednosti naprezanja i istežanja simulirane tkanine na modelima hlača: a) statički položaj, b) dinamički položaj tijela 1, c) dinamički položaj tijela 2	71
59	Prikaz zona naprezanja simulirane tkanine na 3D modelu hlača 2: a) tkanina 1 b) tkanina 2	72
60	Pozicije očitavanja vrijednosti naprezanja simulirane tkanine: a) prednja strana, b) bočna strana, c) stražnja strana	72
61	Prikaz naprezanja simulirane tkanine na 3D modelu 1: a) tkanina 1 b) tkanina 2	73
62	Prikaz naprezanja simulirane tkanine na 3D modelu 2: a) tkanina 1 b) tkanina 2	74
63	Pozicije očitavanja vrijednosti naprezanja i istežanja, a) prednja strana, b) bočna strana, c) stražnja strana	74

64	Prikaz istezanja simulirane tkanine na 3D modelu 1: a) tkanina 1 b) tkanina 2	75
65	Prikaz zona istezanja na 3D modelu, b) pozicije markera na prednjem dijelu, c) pozicije markera na bočnom dijelu, d) pozicije markera na stražnjem dijelu	75
66	Prikaz: a) dinamičkog položaja 1 b) dinamičkog položaja 2	76
67	Prikaz naprezanja simulirane tkanine na 3D modelu hlača1: a) u dinamičkom položaju 1, b) u dinamičkom položaju 2	77
68	Prikaz naprezanja simulirane tkanine na 3D modelu hlača2: a) u dinamičkom položaju 1, b) u dinamičkom položaju 2	77
69	Prikaz istezanja simulirane tkanine na 3D modelu hlača1: a) u dinamičkom položaju tijela 1, b) u dinamičkom položaju tijela 2	78
70	Prikaz istezanja simulirane tkanine na 3D modelu hlača2: a) u dinamičkom položaju tijela 1, b) u dinamičkom položaju tijela 2	79
71	Položaji tijela u kojima je izvedeno utvrđivanje vrijednosti naprezanja i istezanja simulirane tkanine na modelima hlača: a) statički položaj, b) dinamički položaj tijela 1, c) dinamički položaj tijela 2	79
72	Prikaz promjena u naprezanju simulirane tkanine na 3D modelu hlača pri prijelazu iz statičkog položaja tijela u dinamički položaj tijela 1	80
73	Prikaz promjena u istezanju simulirane tkanine na 3D modelu hlača pri prijelazu iz statičkog položaja tijela u dinamički položaj tijela 1	80
74	Prikaz promjena u naprezanju simulirane tkanine na 3D modelu hlača pri prijelazu iz statičkog položaja tijela u dinamički položaj tijela 2	81
75	Prikaz promjena u istezanju simulirane tkanine na 3D modelu hlača pri prijelazu iz statičkog položaja tijela u dinamički položaj tijela 2	81
76	Prikaz mjernih točaka za utvrđivanje vrijednosti pritiska: a) u dinamičkom položaju tijela 1 b) u dinamičkom položaju tijela 2	82
77	Mjerni uređaj Picopress-a za mjerenje pritiska tkanine na tijelo	83
78	Prikaz postupka mjerenja PicoPress mjernim uređajem: a) prikaz senzora b) pozicioniranje senzora na definiranu poziciju mjerenja, između tijela i odjevnog predmeta	83
79	Prikaz realnog prototipa modela hlača u statičkom položaju tijela: a) prednja strana, b) stražnja strana i c) bočna strana	84
80	Prikaz realnog prototipa modela hlača: a) u dinamičkom položaju tijela 1, b) u dinamičkom položaju tijela 2	84

81	Konvertirani krojevi a) kroj hlača 1 u PDS programu, b) kroj hlača 2 u PDS programu	85
82	Prikaz konvertora Fabric Editor za: a) TKANINU 1, b) TKANINU 2	87
83	Prikaz 3D modela hlača na parametarskom modelu tijela s aplikacijom teksture	87
84	Prikaz 3D modela hlača na parametarskom modelu tijela s aplikacijom teksture u statičkom i dinamičkim položajima tijela	88
85	Prikaz 3D modela hlača na parametarskom modelu tijela u statičkom i dinamičkim položajima tijela s prikazom mape naprezaja	89

POPIS TABLICA

1	Tablica određivanja minimalne duljine mjerenja za određivanje gustoće tkanine prema standardu ISO 7211 [12]	13
2	Procjena tkanine u odjeći	13
3	Svojstva tkanina povezana s problemima u procesu izrade odjeće	14
4	Svojstva tkanina povezana s lošim izgledom odjeće tijekom nošenja	15
5	Pregled parametara mehaničkih i fizikalnih svojstava, određenih pomoću KES-FB mjernog sustava	17
6	Pozicije markera na tijelu prema ISO 8559	21
7	Pozicije oznaka markera	30
8	Rezultati utvrđivanja parametara tkanina za 3D simulaciju	70
9	Utvrđene vrijednosti naprezanja simulirane tkanine na 3D modelu hlača u statičkom položaju tijela	86
10	Utvrđene vrijednosti istežanja simulirane tkanine na 3D modelu hlača u statičkom položaju tijela	89
11	Utvrđene vrijednosti naprezanja simulirane tkanine na 3D modelu hlača u dinamičkim položajima tijela (P1 i P2)	90
12	Utvrđene vrijednosti istežanja simulirane tkanine na 3D modelu hlača u dinamičkim položajima tijela (P1 i P2)	91
13	Utvrđeni parametri simuliranih tkanina 1 i 2	92
14	Utvrđene razlike vrijednosti naprezanja i istežanja tkanina tijekom statičke pristajalosti na računalnim prototipovima	93
15	Utvrđene vrijednosti naprezanja simulirane tkanine na 3D modelu hlača u statičkom (STAT) i dinamičkim položajima tijela (P1 i P2)	94
16	Utvrđene vrijednosti istežanja simulirane tkanine na 3D modelu hlača u statičkom (STAT) i dinamičkim položajima tijela (P1 i P2)	95
17	Utvrđene vrijednosti pritiska simulirane tkanine na 3D modelu hlača i realnog prototipa u dinamičkim položajima tijela (P1 i P2)	96

SAŽETAK

U radu je prikazana računalna analiza ponašanja tkanine na tijelu u pokretu. Analiza je provedena na 2D/3D CAD sustavu za računalno projektiranje odjeće, na primjeru dva različita modela hlača i dva materijala različitih fizikalnih i mehaničkih svojstava. U svrhu što realnijeg ispitivanja, vrlo je bitno upoznati se sa konstrukcijom kroja i principima pristajalosti. Na pristajalost i udobnost odjeće vrlo bitnu ulogu imaju fizikalna i mehanička svojstva materijala od kojih se odjevni predmet izrađuje. U tu svrhu, u teoretskom dijelu rada objašnjene su karakteristike tekstilnih plošnih proizvoda, poput kemijskog sastava, strukture i svojstava tkanina povezanih s izgledom i pristajalosti odjevnog predmeta, problemima u procesu izrade odjeće, te izgledom tijekom nošenja. Kako bi odredili fizikalna i mehanička svojstva materijala, te njihov utjecaj na kvalitetu gotovog odjevnog predmeta, potrebno je provesti ispitivanja na FAST sustavu za objektivno vrednovanje tekstila i odjeće. Vrlo je bitno istražiti načela dinamike odjevnog predmeta te dinamičku antropometriju ljudskog tijela. Nadalje, s obzirom na primjenu specijaliziranog CAD sustava za računalno projektiranje odjeće u eksperimentalnom dijelu rada, opisani su programski paketi za CAD/CAM sustave u odjevnoj industriji.

U eksperimentalnom dijelu rada, računalno modelirani 2D krojni dijelovi konvertirani su u datoteke koje podržava CAD sustav u kojem je izvedena prilagodba modeliranih krojnih dijelova prema parametarskom modelu tijela te izvedena 3D simulacija i verifikacija modela. Nadalje su definirani parametri segmenata spajanja i njihovih svojstava. Nakon izvedene 3D simulacije i verifikacije računalnih prototipova, provedeno je utvrđivanje komocije kroja modela odjevnog predmeta. U svrhu što točnije analize ponašanja tkanine na tijelu u pokretu, definirane su pozicije markera na krojnim dijelovima, kao polazište za određivanje vrijednosti deformacija tkanine. Najkompleksniji dio eksperimentalnog dijela rada odnosi se na ispitivanje pristajalosti modela odjevnog predmeta koje se izvodi u statičkom i dinamičkim položajima, ispitivanjem naprezanja (*Tension xy*) i istežanja (*Stretch y*) računalnog prototipa. U završnoj fazi izvedena je analiza statičke pristajalosti računalnog prototipa u ovisnosti o odabiru tkanine, usporedba ponašanja računalnog prototipa u statičkim i dinamičkim uvjetima, odnosno dva različita stupnja istog pokreta, na animiranom parametarskom modelu tijela.

Utvrđeni su rezultati naprezanja i istezanja računalnog prototipa simulacijom mehaničkih i fizikalnih svojstava za dvije tkanine, od kojih je za izradu realnog prototipa odabrana tkanina koja je ocijenjena kao primjerenija za odabrani model hlača, s aspekta postizanja i osiguravanja željene forme kroja.

Dodatno je provedeno mjerenje i analiza pritiska na definiranim mjernim pozicijama na računalnom i realnom prototipu modela. Na temelju utvrđenih rezultata i provedene analize, računalna metoda vrednovanja naprezanja, istezanja i pritiska 3D prototipa modela odjevnog predmeta na tijelo, verificirana je kao jedna od mogućih metoda za procjenu funkcionalnosti modela odjevnog predmeta, prije izrade realnog prototipa modela.

Ključne riječi: računalna konstrukcija odjeće, 2D/3D CAD sustav, 3D simulacija, statički položaj tijela, dinamički položaj tijela, pristajalost

SADRŽAJ	str.
1. UVOD	1
2. PREGLED TEMATIKE	4
2.1 Izgled i principi pristajalosti odjeće	4
2.1.1. Konstrukcija kroja i pristajalost	5
2.1.1.1. Određivanje veličina i pristajalost	6
2.1.2. Udobnost i pristajalost odjeće	6
2.1.3. Uloga CAD sustava u računalnom ispitivanju pristajalosti odjeće	7
2.1.4. Utjecaj gibanja ljudskog tijela na pristajalost odjevnog predmeta	7
2.1.4.1. Pritisak odjevnog predmeta na tijelo	8
2.2. Karakteristike tekstilnih plošnih proizvoda i njihov utjecaj na pristajalost odjeće	8
2.2.1. Kemijski sastav tekstilnog plošnog proizvoda	9
2.2.1.1. Pamuk	9
2.2.1.2. Poliestersko vlakno	9
2.2.1.3. Viskozno vlakno	10
2.2.1.4. Elastansko vlakno	10
2.2.2. Struktura tekstilnog plošnog proizvoda	10
2.2.2.1. Osnovni vezovi tkanina	11
2.2.2.2. Gustoća niti	12
2.2.3. Svojstva tkanina povezana s izgledom i pristajalosti odjeće	13
2.2.4. Svojstva tkanina povezana s problemima u procesu izrade odjeće	14
2.2.5. Svojstva tkanina povezana s lošim izgledom odjeće tijekom nošenja	15
2.3. Objektivno vrednovanje tekstila i odjeće	15
2.3.1. KES mjerni sustav	16
2.3.1.1. Vlačna svojstva	18

2.3.1.2.	Savojna svojstva	18
2.3.1.3.	Smična svojstva	19
2.3.1.4.	Kompresijska svojstva	19
2.3.1.5.	Površinska svojstva	20
2.3.2.	FAST mjerni sustav	20
2.3.2.1.	Kompresijska svojstva	21
2.3.2.2.	Savojna svojstva	22
2.3.2.3.	Vlačna svojstva	22
2.3.2.4.	Smična svojstva	23
2.3.2.5.	Dimenzijska stabilnost	23
2.3.3.	Utjecaj mehaničkih svojstava tkanina na kvalitetu izgleda odjeće	24
2.3.4.	Sposobnost oblikovanja tkanina	24
2.3.5.	Elastični potencijal	24
2.3.6.	Drapiranje	25
2.3.6.1.	Numeričko modeliranje drapiranjem tkanine CAD sustavima	26
2.4.	Istraživanje i ispitivanje prototipa odjeće s aspekta udobnosti i dinamičke antropometrije	28
2.4.1.	Temeljna načela dinamike odjevnog predmeta	28
2.4.2.	Dinamička antropometrija	29
2.4.3.	PicoPress mjerni uređaj	33
2.5.	Programski paketi za CAD/CAM sustave u odjevnoj tehnologiji	34
2.5.1.	Razvoj računalnih simulacija tekstilnog plošnog proizvoda	37
2.6.	OptiTex CAD sustav	37
2.6.1.	PDS – Pattern Design System	39
2.6.2.	Konstrukcija, modeliranje i gradiranje krojnih dijelova primjenom PDS programa	40

2.6.3.	3D Runway – program za 3D simulaciju odjeće	43
2.6.3.1.	Računalni parametarski model tijela	46
2.6.3.2.	Parametri krojnih dijelova i pozicioniranje	49
2.6.3.3.	Parametri segmenata koji se spajaju	50
2.6.3.4.	Parametri mehaničkih svojstava materijala	52
2.6.3.5.	Karakteristike poligonalnog 3D modela odjevnog predmeta	52
2.6.3.6.	Aplikacija boja i tekstura materijala te šavova na krojne dijelove	53
2.6.4.	Analiza pristajalosti računalnog prototipa odjevnog predmeta	54
2.6.4.1.	Utvrđivanje komocije metodom presijecanja poprečnim ravninama	54
2.6.4.2.	Analiza naprezanja računalnog prototipa primjenom alata Tension xy	55
2.6.4.3.	Analiza istezanja računalnog prototipa modela primjenom alata Stretch (y)	55
2.6.4.4.	Animacija 3D modela tijela i prototipa modela odjevnog predmeta	56
2.6.5.	Marker maker – program za izradu krojnih slika	56
2.6.5.1.	Parametri krojne slike	57
2.6.5.2.	Svojstva krojnih dijelova	57
2.6.5.3.	Grafički proces uklapanja krojne slike	57
3.	METODIKA RADA	59
4.	EKSPERIMENTALNI DIO	62
4.1.	Konvertiranje i uvoz kroja ženskih hlača iz CAD sustava Lectra u CAD sustav Optitex	62
4.2.	Prilagodba parametarskog modela tijela za odabranu odjevnu veličinu	63
4.2.1.	Utvrđivanje svih potrebnih parametara i izvođenje 3D simulacija modela ženskih hlača	64
4.2.2.	Definiranje parametara krojnog dijela početne deformacije i 3D pozicioniranje	64
4.2.3.	Definiranje segmenata spajanja i njihovih svojstava	65
4.2.4.	Definiranje parametara fizikalnih i mehaničkih svojstava tkanina	67

4.2.5.	Izvođenje 3D simulacije i verifikacija računalnih prototipova utvrđivanjem komocije kroja modela odjevnog predmeta	68
4.2.5.1.	Utvrđivanje komocije kroja modela 1 odjevnog predmeta	68
4.2.5.2.	Utvrđivanje komocije kroja modela 2 odjevnog predmeta	69
4.2.6.	Definiranje mjernih točaka i pozicija markera za mjerenje naprezanja i istežanja odjevnog predmeta na parametarskom modelu tijela	69
4.2.7.	Definiranje položaja tijela za analizu naprezanja i istežanja simulirane tkanine na računalnim prototipovima u statičkom i dinamičkim uvjetima	70
4.3.	Analiza naprezanja računalnog prototipa (Tension xy) na tijelu u statičkom položaju	71
4.3.1.	Analiza naprezanja računalnog prototipa na tijelu u statičkom položaju – model 1	73
4.3.2.	Analiza naprezanja računalnog prototipa na tijelu u statičkom položaju – model 2	73
4.4	Analiza istežanja računalnih prototipova (Stretch y) na tijelu u statičkom položaju	74
4.4.1.	Analiza istežanja računalnih prototipova na tijelu u statičkom položaju – model 1	75
4.4.2.	Analiza istežanja računalnih prototipova na tijelu u statičkom položaju – model 2	75
4.5.	Animacija modela odjevnog predmeta i analiza pristajalosti u dinamičkim položajima tijela	76
4.5.1.	Analiza naprezanja računalnog prototipa na tijelu u dinamičkom položaju (Tension xy)	76
4.5.1.1.	Analiza naprezanja računalnog prototipa na tijelu u dinamičkom položaju - model 1	76
4.5.1.2.	Analiza naprezanja računalnog prototipa na tijelu u dinamičkom položaju - model 2	77
4.5.2.	Analiza istežanja računalnog prototipa na tijelu u dinamičkom položaju (Stretch y)	78
4.5.2.1.	Analiza istežanja računalnog prototipa na tijelu u dinamičkom položaju - model 1	78

4.5.2.2.	Analiza istežanja računalnog prototipa na tijelu u dinamičkom položaju - model 2	78
4.6.	Usporedba naprežanja i istežanja simuliranih tkanina na računalnim prototipovima u statičkim i dinamičkim uvjetima	79
4.6.1.	Usporedba ponašanja računalnog 3D prototipa modela hlača u statičkom položaju i kod dinamičkog položaja tijela 1	80
4.6.2.	Usporedba ponašanja računalnog 3D prototipa modela hlača u statičkom položaju i kod dinamičkog položaja tijela 2	81
4.7.	Analiza pritiska (<i>Pressure</i>) računalnog prototipa na tijelu u statičkom položaju	82
4.8.	Animacija modela odjevnog predmeta i analiza pritiska na tijelu u dinamičkim položajima tijela	82
4.9.	Mjerenje pritiska (<i>Pressure</i>) realnog prototipa na tijelu u statičkom položaju te u dinamičkim položajima tijela	82
5.	REZULTATI	85
5.1.	Rezultati konvertiranja i uvoza kroja ženskih hlača iz CAD sustava Lectra u CAD sustav Optitex	85
5.2.	Rezultati utvrđivanja vrijednosti fizikalnih i mehaničkih svojstava odabranih tkanina te konvertiranje podataka	86
5.3.	Rezultati 3D simulacije prototipa modela ženskih hlača s aplikacijom teksture tkanine	87
5.4.	Rezultati utvrđivanja vrijednosti naprežanja i istežanja na 3D modelu hlača u statičkom položaju tijela	88
5.5.	Rezultati utvrđivanja vrijednosti naprežanja i istežanja na 3D modelu hlača u dinamičkim položajima tijela	91
5.6.	Rezultati usporedbe naprežanja i istežanja računalnih prototipova u statičkim i dinamičkim uvjetima	93
5.7.	Rezultati utvrđivanja vrijednosti pritiska na računalnom 3D prototipu i realnom prototipu modela hlača u statičkom položaju	95
5.8.	Rezultati utvrđivanja vrijednosti pritiska na računalnom 3D prototipu i realnom prototipu modela hlača u dinamičkim položajima	96
6.	RASPRAVA	98
7.	ZAKLJUČAK	102

1. UVOD

Ljudi su sve više zainteresirani za pristajalu i udobnu odjeću, ali je takve odjevne predmete ponekad teško naći na tržištu, budući da se proizvode prema antropometrijskim značajkama prosjeka odabrane populacije, a nisu prilagođeni svakoj osobi posebno [1,2]. Svi sustavi u većoj ili manjoj mjeri daju pretpostavku o obliku tijela na temelju dobivenih mjera. Oblik tijela može se opisati uzimanjem različitih proporcija između forme, širine i duljine segmenta tijela. [3-5]. Jedan od najvažnijih uvjeta za projektiranje udobne odjeće je poznavanje antropometrijskih karakteristika ljudskog tijela. Primjena antropometrijskih mjera ljudskog tijela je vrlo važna u konstrukciji te modeliranju krojeva, kako bi gotov odjevni predmet pružao potrebnu udobnost tijekom nošenja. Općenito je prihvaćeno da postoji veza između tjelesnih proporcija, kretanja tijela i dizajna odjavnog predmeta [6]. Estetski izgled odjeće jedan je od važnih aspekata kvalitete odjeće. Estetika je filozofska disciplina koja proučava lijepo i čovjekov odnos prema lijepom, a estetski dojam je relativan i često subjektivan [7].

Koncept proizvodnje odjeće prilagođene zahtjevima kupaca (engl. Mass Customization) odnosno odjeće izrađene prema mjerama kupca (engl. Made to Measure) podrazumijeva individualizaciju odjeće za svakog kupca iz široke palete modela, materijala različitog dizajna i boja te opcija pristalosti odjavnih predmeta [8-12]. Pristajalost odjeće i udobnost su nedvojbeno povezani i uobičajeno se promatraju kao izravan odgovor na tjelesne aktivnosti, kulture i okoliš [13]. Potrošači zahtijevaju da odjeća zadovoljava njihove zahtjeve i očekivanja u pogledu izgleda, pristajalosti i udobnosti, jednako kao kada je nova i nakon nekog perioda nošenja. S druge strane, za proizvođače odjeće je važno da je tkanina što lakša odnosno jednostavnija za obradu, da ne otežava tehnološke procese proizvodnje odjeće, te da u konačnici odjevni predmet ima dobar izgled [14]. Odjeća ne smije niti u jednom od svojih dijelova uzrokovati prevelik pritisak na tijelo, odnosno materijal od kojeg je izrađen odjevni predmet trebao bi biti u mogućnosti izdržati povećan pritisak pojedinog segmenta tijela u pokretu, a istovremeno korisniku omogućiti dovoljnu fleksibilnost i udobnost nošenja [15].

Posljednje desetljeće 20-og stoljeća bilježi znatan razvoj antropometrijskih mjernih uređaja. Razvijene su različite vrste beskontaktnih 3D skenera za tijelo koji omogućuju automatsko određivanje velikog broja antropometrijskih mjera na tijelu [16-18]. U usporedbi s tradicionalnim ručnim metodama uzimanja mjera na tijelu, očitavanje mjera putem 3D skenera tijela je puno brže, diskretnije i pouzdanije [19].

Kako bi se postigla što realnija vizualizacija 3D modela odjevnog predmeta u CAD sustavu za 3D simulaciju odjeće, moguće je definirati parametre materijala, koji su prethodno određeni pomoću sustava za objektivno vrednovanje fizikalnih i mehaničkih svojstava materijala. Dva najznačajnija mjerna sustava koji se koriste u svrhu objektivnog vrednovanja fizikalnih i mehaničkih svojstava materijala su KES (engl. Kawabata Evaluation System) kojeg je razvio japanski tim istraživača pod vodstvom profesora S. Kawabata za objektivno vrednovanje opipa tkanina i FAST (engl. Fabric Assurance by Simple Testing) mjerni sustav koji je 1983. godine razvila australska tvrtka CSIRO Division of Wool Technology, koji je namijenjen mjerenju fizikalnih i mehaničkih svojstava tkanina [7,20,21].

Računalna simulacija ljudskog tijela prolazi kroz tri razvojna koraka: razvoj modela ljudskog kostura sa zglobovima povezanim poput elemenata industrijskog antropomorfnog robota, *tzv. unutaršnjeg kinematičkog modela*; razvoj modela ljudskog tijela s animiranom kožom ispod koje se nalazi model ljudskog kostura, *tzv. vanjski "žičani" model*, te razvoj metode relokacije oblika površine tijela modela čovjeka koji je u pokretu [22]. Tijekom godina provedena su mnoga antropometrijska mjerenja u svrhu mjerenja tijela u statičkom i dinamičkom položaju [23]. Anatomija ljudskog tijela je kompleksan sustav, svaki dio tijela ima svoj pridruženi zglob, vezivno tkivo i manipulativnu muskulaturu čime pokazuje individualni oblik artikulacije. Iz razloga što gornji i donji ekstremiteti imaju različite stupnjeve pokreta, položaj mišića, kosti i zglobova se značajno mijenja tijekom tjelesnih aktivnosti što izravno utječe na površinu tijela tako da se koža isteže ili skuplja te pritom utječe na udobnost odjeće. Sloboda kretanja ljudskog tijela neraskidivo je povezana s dizajnom i konstrukcijom odjevnog predmeta. Stoga se odjeća treba prilagođavati i mijenjati svoje prvobitno stanje u skladu s pokretima ekstremiteta. Ljudsko tijelo je vrlo složene anatomije, te je sposobno za velike različitosti u tipu i smjeru kretanja [24].

Parametarski model ljudskog tijela ima mogućnost prilagodbe realnih tjelesnih mjera osobe, sa svrhom korištenja za računalnu 3D simulaciju modela odjevnog predmeta, na modelu tijela određene odjevne veličine ili prema individualnim mjerama. Primjenom 2D/3D CAD sustava namijenjenog računalnom projektiranju odjeće, može se izvesti kompleksna razrada kolekcije odjeće sa svrhom 3D simulacije i vizualizacije, uz aplikaciju dizajniranih uzoraka tekstila [25,26]. 2D kroj koji se prilagodi mjerama kupca u nekoliko mjerenih duljina i opsega na tijelu (Og, Os, Ob), u procesu 3D simulacije spaja se na virtualnom parametarskom računalnom 3D modelu tijela, na kojem se procjenjuje pristajalost kroja [27]. Korištenjem

2D/3D CAD sustava za pripremu krojeva odjeće, 2D kroj se razrađuje za potrebe računalnog ocjenjivanja za odabrane skupove veličina prema različitim stasovima i oblicima tijela [28,29]. Pri tome se podaci o mjerama ljudskog tijela prethodno utvrđuju primjenom 3D skenera tijela i pratećeg računalnog programa, koji ujedno omogućuje i analizu antropometrijskih karakteristika tijela, oblika i držanja tijela [30].

U eksperimentalnom dijelu ovog rada provedena je računalna 3D simulacija modela hlača kojem je ispitivana pristajalost na tijelu u pokretu, sukladno dinamici gibanja ljudskog tijela, primjenom 2D/3D CAD sustava Optitex [31]. CAD sustav omogućuje cjelovito projektiranje 3D prototipa modela odjevnog predmeta kako bi se ubrzao i olakšao proces razvoja novog modela odjevnog predmeta. Pri tome se 3D simulacija modela izvodi u korelaciji s definiranim vrijednostima parametara tekstilnog materijala, odnosno prema utvrđenim vrijednostima fizikalnih i mehaničkih svojstava tekstilnog materijala. Na taj način, omogućuje se bolji odabir materijala za izradu stvarnog modela odjevnog predmeta, s obzirom da se vizualizacijom računalnog prototipa modela u statičkim i dinamičkim uvjetima može analizirati ponašanje tekstilnog materijala. Osnovni cilj provedenog istraživanja je utvrditi da li se računalnom analizom ponašanja simulirane tkanine na tijelu u pokretu može ocijeniti funkcionalnost modela odjevnog predmeta, prije izrade realnog prototipa modela. Kako bi se računalna metoda mjerenja naprezanja tkanine na tijelu u dinamičkim položajima verificirala, dodatno je provedeno mjerenje pritiska i analiza naprezanja tkanine na realnom 3D prototipu modela odjevnog predmeta na određenim mjernim pozicijama u zadanim položajima tijela.

2. PREGLED TEMATIKE

U ovom poglavlju početno su opisani izgled i principi pristajalosti odjeće, potom su detaljno opisane i navedene karakteristike tekstilnih plošnih proizvoda i njihov utjecaj na pristajalost odjeće. Detaljno su opisani KES i FAST sustavi i mjerne metode za objektivno vrednovanje tekstila i odjeće. Dalje su opisana temeljna načela dinamike odjevnog predmeta. U završnom dijelu poglavlja opisani su programski paketi za CAD/CAM sustave u odjevnoj industriji, a detaljnije je opisan 2D/3D CAD sustav za projektiranje odjeće Optitex, koji je korišten u eksperimentalnom dijelu rada.

2.1. Izgled i principi pristajalosti odjeće

Mnogi aspekti, osobito tip, stil, krojenje i gradiranje su uključeni u ocjenu o pristajalosti odjeće. U ovoj točki opisani su čimbenici koji utječu na promjene u pristajalosti odjevnog predmeta te svojstva tkanina koja su bitna za te promjene, posebno dimenzijska stabilnost i deformacije, kao i izgled tkanine i svojstva koja utječu na izgled odjeće, kvalitetu i svojstva kod krojenja, šivanja i procesa izrade. U suštini, ponašanje, trošenje, svojstva i izgled odjevnog predmeta ovise o sljedećim čimbenicima: strukturi i svojstvima vlakana, strukturi pređe, strukturi tkanine, konstrukciji odjeće i pristajalosti, uvjetima nošenja [6].

Za razliku od konvencionalnih inženjerskih materijala, tekstilni materijali iskazuju specifična svojstva. Oni su nehomogeni, izrazito anizotropni i deformabilni te podnose velike deformacije i pomicanja u ravnini pri malim opterećenjima, u svakodnevnim uvjetima korištenja, odnosno u normalnoj upotrebi. Imaju jedinstvene karakteristike koje odgovaraju pokretima ljudskog tijela, nude odgovarajuća fiziološka i psihološka svojstva i imaju sposobnost održavanja privlačnog 3D oblika [7].

Tradicionalno, kvaliteta tkanine i pristajalost ovisno o svrsi odjevnog predmeta, uključujući i ponašanje tijekom procesa izrade, procjenjivane su subjektivno, u smislu ponašanja tkanine na dodir od strane stručnjaka u odjevnoj industriji [6]. U procjeni tkanina stručnjaci su koristili osjetilne karakteristike kao što su površinsko trenje, savijanje, kompresijska svojstva, debljina, smicanje te ostala svojstva koja imaju ulogu u određivanju ponašanja tkanine i odjeće tijekom izrade i izgleda tijekom nošenja odjevnog predmeta. Ti stručnjaci su ocijenili tkanine ručno, ispitivali su određene fizičke radnje na tkanini kao što su trenje, savijanje, smicanje, istezanje. Izrazili su ono što su osjetili prema subjektivnim osjećajima, kao što su

ukočenost, mlohavost, tvrdoća, mekoća, punina, glatkoća i hrapavost. Time je formirana osnova za izbor tkanina. Zbog načina na koji je tkanina bila procjenjivana opipom, dodirom, osjećajem i terminima koji su korišteni za opis izražavanja, ponekad se pogrešno pretpostavlja da je procjena bila isključivo prema subjektivnom osjećaju. Zapravo, u stvarnosti, kada se tkanina ocjenjuje od strane stručnjaka, daje se kompozitna mjera ukupne odjeće vezane uz kvalitetu tkanine, uključujući i izradu odjeće, udobnosti, estetskih karakteristika, izgleda i drugih funkcionalnih karakteristika. Ipak, takvi su stručnjaci vrlo vješti i njihova je procjena osjetljiva i pouzdana, ali krajnji rezultat je još uvijek subjektivan. Iz navedenih razloga došlo je do potrebe razvijanja sustava za objektivno vrednovanje tkanina [2].

Kvaliteta odjeće određena je konstrukcijom kroja i kvalitetom izrade, ne odnosi se samo na vizualni estetski izgled, već i na pad odjeće, njenu pristalost anatomskim dijelovima ljudskog tijela, postizanje 3D oblika odjeće i izgled izrađenih šavova [7]. Pristajalost odjeće i udobnost su nedvojbeno povezani i uobičajeno se promatraju kao izravan odgovor na tjelesne aktivnosti, kulture i okoliš. Iz perspektive dizajna i razvoja proizvoda aktivnosti koje utječu na odabir odjevnog predmeta su: analiziranje društvenih mreža i kulturnih trendova, informiranje o trendovskom dizajnu, posjećivanje sajmovima tkanina i modnih revija, ograničenje zakonskim regulativama, raspon izbora modela i uzoraka za kupce u maloprodajnim centrima, marketing [13]. Percepcija udobnosti je vezana uz subjektivne, psihološke i fiziološke reakcije [11].

2.1.1. Konstrukcija kroja i pristajalost

Odjevna veličina gotove muške ili ženske odjeće, zasniva se na konstruiranju temeljnog kroja prema tabličnim veličinama, izrađenim na temelju glavnih i pomoćnih mjera [1].

Postoje tri pristupa konstrukcije kroja:

- 1) Konstrukcija temeljnog kroja koji je osnova za daljnji razvoj kroja modela.
- 2) Modelirani kroj uključuje izmjenu temeljnog kroja, koji se modelira tako da se dobije kroj s detaljima za željeni dizajn odjevnog predmeta.
- 3) Modeliranje na krojačkoj lutki je modeliranje ili drapiranje tkanine na lutki ili osobi, koja se zatim prenosi na papir [3].

Do pojave elektroničkih računala, konstruiranje krojeva, modeliranje, izrada krojnih slika te dizajn odjeće odvijali su se na klasično tradicionalni način. Primjenom računala ti su poslovi

zamjetno ubrzani, a kakvoća rada i točnost su znatno povećani [1]. U današnje vrijeme, veliki broj metoda i sustava već su razvijeni kako bi se omogućilo učinkovito 3D dizajniranje krojeva odjeće u virtualnom okruženju koristeći računalne modele tijela. Takvi sustavi obično nude rješenja za izradu modela odjevnih predmeta koji će biti izrađeni od elastičnih materijala, koji dolaze blizu tijela. Dizajner dizajnira odjeću i konstruira 3D model odjavnog predmeta na površini virtualnog modela tijela [8]. Na temelju dobivenog kroja, može se dalje razvijati i na različite načine modelirati kroj za određeni tip tijela.

2.1.1.1. Određivanje veličina i pristajalost

Tijekom godina, proizvođači odjeće su pokušali razviti učinkovite sustave gradiranja krojeva za poboljšanje kvalitete odjeće. Teško je procijeniti pristajalost i kvalitetu bez prethodnog definiranja očekivane pristajalosti odjeće na tijelo. Odjevna veličina gotove muške ili ženske odjeće, zasniva se na konstruiranju temeljnog kroja prema tabličnim veličinama, ali je takav pristup problematičan za populaciju kod koje je zastupljeno odstupanje proporcija tijela od normalnih te kod kojih je zastupljena kompleksnija građa oblika ili držanja tijela. U uvjetima velikoserijske industrijske proizvodnje odjeće, sustavi veličina odjeće imaju veliko značenje, zbog velikog i širokog kruga potrošača. Da bi se zadovoljio što veći broj kupaca, potrebno je razvijati sustave koji će omogućavati veliki broj veličina odjeće [1]. Svi sustavi u većoj ili manjoj mjeri čine pretpostavku o obliku tijela na temelju dobivenih mjera. Oblik tijela može se opisati uzimanjem različitih proporcija između forme, širine i duljine segmenta tijela. Trup se može razlikovati u prednjoj širini od stražnje širine te se mogu razlikovati lijeva i desna strana trupa [3]. Problem postaje očit promatranjem žena koje imaju slične mjere, ali su tjelesno znatno različite po obliku, proporcijama i držanju tijela.

2.1.2. Udobnost i pristajalost odjeće

Definiranje udobnosti je gotovo nemoguće jer je percepcija psihičke udobnosti subjektivna. Iako ne postoji univerzalno prihvaćena definicija udobnosti važno je prepoznati glavne fiziološke i psihološke čimbenike koji utječu na udobnost. Fizička udobnost se odnosi na djelovanje vanjskih elemenata, fizioloških ili psiholoških. U Oxfordovom rječniku (Sykes, 1980:201) udobnost je sažeta kao *'oslobođenje od bola'* i općenito *'blagostanje'*. Slater (1986:158) nastoji izraziti kvalitativnu definiciju u kojoj je udobnost definirana kao *'ugodno stanje fiziološkog, psihološkog, fizičkog sklada između čovjeka i okoline'*.

Psihološki faktori su neraskidivo povezani s fizičkim faktorima u određivanju razine udobnosti: predrasude, okolina, temperatura, osjetljivost, stres, nelagoda, potreba za privatnosti, preferira odjeću koja je udobna i mekana na dodir. Svojstva tekstilnih materijala, uključujući debljinu i površinsku masu, vlakna i strukturu tkanine, te osobito površinu tkanine, ključni su faktori za taktilnu percepciju udobnosti [3]. Ugodnost nošenja ovisi o dizajnu i svojstvima materijala, kako bi omogućila visoki stupanj slobode pri kretanju bez nepotrebnog pritiska ili trenja na koži.

2.1.3. Uloga CAD sustava u računalnom ispitivanju pristajalosti odjeće

Lectra, Gerber Technologies, OptiTex, Browzwear i Human Solutions Group su vodeći proizvođači računalnih tehnologija i CAD sustava namijenjenih razvoju krojeva i virtualnih prototipova te računalnom ispitivanju pristajalosti odjeće. Računalno projektiranje prototipova odjeće ima velike prednosti u vidu smanjenja vremena i troškova koji proizlaze iz procesa izrade realnih prototipova, a također ima i ekološke prednosti [3]. Primjerice, primjenom 2D/3D CAD sustava, može se izvesti kompleksna razrada kolekcije sa svrhom 3D simulacije i vizualizacije, uz aplikaciju dizajniranih uzoraka tekstila [25].

2D kroj koji se prilagodi mjerama kupca u nekoliko mjerenih duljina i opsega na tijelu (Og, Os, Ob), spaja se na virtualnom parametarskom računalnom 3D modelu tijela na kojem se procjenjuje pristajalost kroja. Korištenjem 2D/3D CAD sustava za pripremu krojeva odjeće, 2D kroj je razvijen za potrebe računalnog ocjenjivanja za odabrane skupove veličina prema različitim stasovima i oblicima tijela. Pri tome se podaci o mjerama ljudskog tijela prethodno utvrđuju primjenom 3D skenera tijela i pratećeg računalnog programa, koji ujedno omogućuje i analizu antropometrijskih karakteristika tijela, oblika i držanja tijela [30].

2.1.4. Utjecaj gibanja ljudskog tijela na pristajalost odjevnog predmeta

Nelagoda kod nošenja neodgovarajuće odjeće tijekom pokreta je rezultat činjenice da se dimenzije tijela tijekom kretanja mijenjaju, ukupna duljina se povećava na jednoj strani tijekom savijanja, a smanjuje se na drugoj strani [3]. Odjeća koja se ne isteže tijekom kretanja u području savijanja zglobova i smanjuje gdje se dimenzije tijela skupljaju u pokretu, ometati će kretanje ili ga otežavati. Razina udobnosti odjeće tijekom kretanja određena je svojstvima materijala i dizajnom odjeće. Materijal koji je predebeo ili krut ili se lijepi na površinu tijela

može stvoriti nelagodu [3]. Često su najveći zahtjevi koji se odnose na kretanje i odjeću nametnuti za postupak oblačenja i svlačenja odjeće.

2.1.4.1. Pritisak odjevnog predmeta na tijelo

Sposobnost predviđanja koliko tkanina mora biti istežljiva u skladu s istežljivošću tijela za optimalnu razinu udobnosti, područje je većeg broja znanstvenih istraživanja. Harada (1982) je istraživao odnos između stupnja istežanja kože i stupnja istežljivosti tkanine koja je u neposrednoj blizini. Koristi se Laplaceov zakon koji se odnosi na pritisak, napetost i polumjer zakrivljenosti na sljedeći način: $P=T/\rho$, gdje je 'P' pritisak koji djeluje na tijelo, 'T' je napetost tkanine koja ovisi o njenim elastičnim svojstvima, a 'ρ' je polumjer zakrivljene površine tijela. Uz pretpostavku da je stupanj istežljivosti tkanine na konstantnoj razini, napetost u tkanini će ostati konstantna. Ključna varijabla koja utječe na pritisak tkanine na tijelo je polumjer zakrivljenosti dijela tijela na kojem je tkanina. Što je polumjer zakrivljenog dijela tijela manji, to se ostvaruje veći pritisak na tijelo. Početna točka za određivanje pritiska odjeće određuje se Laplaceovim zakonom kojim se pomoću naprežanja tkanine i radijusa dijela tijela koji je prekriven određuje pritisak odjeće na tijelo. U konstrukciji kroja predloženo je smanjenje opsega za 20%, a ukupna redukcija dužine za 20% do 25%. Većina istraživanja provedena je primjenom simuliranog obodnog opsega tijela.

Nedostatak korelacije između 3D oblika tijela i 2D geometrije kroja konture cijelog tijela, u kombinaciji s primjenom proizvoljnih parametara elastičnih tkanina u postupku redukcije kroja, ograničava objektivnu procjenu odjeće varijablama tjelesnih mjera i pritiska na cijelo tijelo. Teško je procijeniti i predvidjeti pritisak odjeće na cijelu konturu tijela ako je istraživanje napravljeno samo na ograničenom području [3]. Upravo ovaj segment istraživanja proveden je i u eksperimentalnom dijelu diplomskog rada.

2.2. Karakteristike tekstilnih plošnih proizvoda i njihov utjecaj na pristajalost odjeće

Glavna temeljna odrednica ponašanja nekog odjevnog predmeta na tijelu je materijal od kojega je isti izrađen. Glavne karakteristike materijala odnosno tekstilnog plošnog proizvoda:

- kemijski sastav tekstilnog plošnog proizvoda,
- struktura tekstilnog plošnog proizvoda i
- gustoća niti [3].

2.2.1. Kemijski sastav tekstilnog plošnog proizvoda

Kemijski sastav tekstilnog plošnog proizvoda određen je strukturom vlakna. Vlakno je oblik tvari kojoj je duljina mnogo veća od poprečnih dimenzija (širine ili promjera) zbog čega se ubraja u linearne tekstilije. Smatra se da omjer uzdužne prema poprečnoj dimenziji mora biti najmanje 100 [32]. Vlakna moraju imati odgovarajuća svojstva koja im omogućuju sposobnost prerade u složenije tekstilne proizvode. Sposobnost prerade osigurava se prikladnom duljinom i finoćom, dostatnom čvrstoćom i kemijskom otpornošću, savitljivošću i kohezivnošću. Prema porijeklu, sva se vlakna svrstavaju u dvije velike skupine: skupinu prirodnih ili umjetnih vlakana. U sljedećim točkama opisana su vlakna od kojih su građene ispitivane tkanine korištene u eksperimentalnom dijelu rada [32].

2.2.1.1. Pamuk

Pamuk je najšire i najviše upotrebljavano tekstilno vlakno te je jedna od najvažnijih sirovina za izradu tekstilija za raznovrsna područja primjene [32]. Najstariji pamučni tekstil potječe iz 5800 g. Pr. Kr.. U to su vrijeme datirani ostaci pamučnih čahura i tekstila pronađeni u jednom nalazištu na tlu današnjeg Meksika. U Europi je pamuk poznat tek od Srednjeg vijeka. Ovamo su ga iz sjeverne Afrike, preko Sicilije, donijeli Arapi u 10. stoljeću. Znanstvenici su identificirali oko 40 vrsta pamučnih biljaka, a samo su 4 vrste kultivirane za uzgoj s ciljem dobivanja vlakana. To su: *Gossypium hirsutum*, *Gossypium barbadense*, *Gossypium herbaceum*, *Gossypium arboreum*. Nazivi pamučnih tkanina: platno, popelin, batist, damast, šifon, cic, kreton, flanel, glot, denim, pamana i dr. [32].

2.2.1.2. Poliestersko vlakno

Poliesterska se vlakna definiraju kao vlakna građena od linearnih poliesterskih makromolekula u kojima je maseni udio estera tereftalne kiseline i nekog dialkohola najmanje 85% [32]. Međunarodna kratica im je *PES*. Prvo poliestersko vlakno proizvela je engleska tvrtka ICI 1947.g., naziva Terylene, a u Americi je 1953.g. počela proizvodnja *PES vlakna* naziva *Dacron*. Glavna obilježja *PES vlakana*: čvrsta su i otporna na deformaciju pri djelovanju različitih opterećenja, otporna su na trenje, trošenje, gužvanje, imaju odličnu dimenzijsku stabilnost, mogu se trajno termofiksirati u željenom obliku, lagano se održavaju, otporna su na plijesni, prikladna su za miješanje s drugim vlaknima, brojne su mogućnosti modifikacije svojstava [32].

2.2.1.3. Viskozno vlakno

Prema ISO 2076 viskozna vlakna su definirana kao umjetna vlakna načinjena iz regenerirane celuloze primjenom viskoznog postupka, a prema međunarodnim BISFA normama ta se vlakna označavaju kraticom CV [32]. Tekstilije od viskoznih vlakana su veoma apsorptivne, mekane i udobne, odličnog pada, sklone gužvanju, slabe čvrstoće u mokrom stanju. Trgovački nazivi viskoznog vlakna: Danufil, Enka Viscose, Lenzing Viscose, Novocel, Viloft, Teteron, Viscofil, Tairiyon, Tarsiyon, Tovis, Tufcel [32].

2.2.1.4. Elastansko vlakno

Elastanska vlakna spadaju u skupinu elastomernih vlakana, koja označava vrlo rastezljiva umjetna vlakna, veoma velike sposobnosti elastičnog oporavka nakon rastezanja. Zahvaljujući toj izuzetnoj karakteristici već njihovo malo prisustvo u mješavinama s drugim vrstama vlakana, odjeći osigurava elastičnost i udobnost pri nošenju, osobito za vrijeme fizičkih aktivnosti [32]. Prema ISO 2076/1999 elastanska se vlakna definiraju kao vlakna pretežito građena od segmentiranog poliuretana (najmanje 85%) pa su prije bila poznata pod nazivom poliuretanska vlakna [32]. Na tržištu ih je početkom 1960.g. predstavila američka tvrtka *DuPont* pod trgovačkim imenom *Lycra*, kao zamjenu za gumene niti. U tekstilnim materijalima, namijenjenim odjevnom tekstilu, poželjan je mali udio elastana jer pridonose elastičnosti i stabilnosti oblika odjeće tijekom uporabe. Trgovački nazivi elastanskog vlakna: Lycra, Dorlastan, Espa, Glospan, Kanebo Loobell, Jespan, Fuji Spandex [32].

2.2.2. Struktura tekstilnog plošnog proizvoda

Tkanine se definiraju kao tekstilni plošni proizvodi koji se dobivaju tkanjem [33]. Plošnog su oblika, što znači da se ističu dvije dimenzije – duljina i širina u odnosu na debljinu, koja je u usporedbi s duljinom i širinom gotovo zanemariva. Tkanine se sastoje od dva sustava niti. Uzdužni sustav niti naziva se osnova, a poprečni sustav niti naziva se potka. Ta dva sustava međusobno su usmjerena pod pravim kutom, a pojedinačne niti se međusobno križaju po određenim pravilima, što se postiže u procesu tkanja na tkalačkom stanu, odnosno suvremenim tkalačkim strojevima. Tkanine su stabilne i kompaktne tekstilne plošne tvorevine, prikladne za izradu odjeće i niza drugih predmeta razne namjene. Gornja strana tkanine naziva se lice, a donja strana naličje tkanine. Vrsta vlakna, finoća i karakteristike pređe, način tkanja i vez, parametri su koji bitno određuju čvrstoću i razna svojstva tkanina. Od ostalih bitnih karakteristika valja spomenuti debljinu, masu, gustoću osnovinih i potkinih

niti, postojanost obojenja, postojanost dimenzija, poroznost, negužvanje, otpornost na guljenje, gorenje, vodu i dr.

2.2.2.1. Osnovni vezovi tkanina

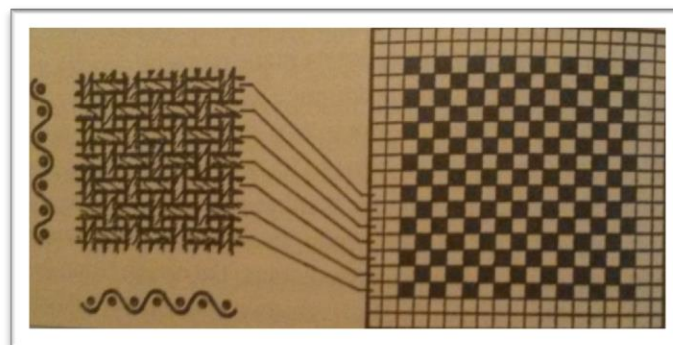
Vrsta i način ispreplitanja (povezivanja) osnovinih i potkinih niti tijekom tkanja naziva se vez tkanine. Postoji veliki broj mogućnosti međusobnog povezivanja osnovinih i potkinih niti u tkanju, tj. velik broj vezova tkanina. Međutim, svi se oni izvode iz tri temeljna veza, a to su platneni, keperni i atlasni vez [33]. Vez tkanine prikazuje se na uzornici, papiru s kvadratićima gdje se vidi slijed povezivanja osnovinih i potkinih niti.



Sl.1 Prikaz tijeka osnovinih i potkinih niti u uzornici

a) Platneni vez

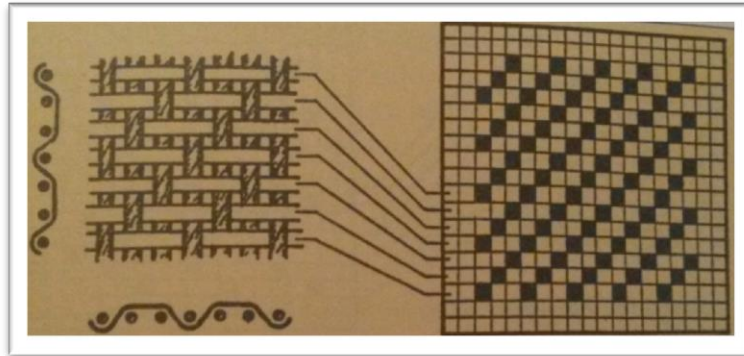
Platneni vez je najjednostavniji i najgušći vez tkanina. Naizmjenice se uzastopno izmjenjuju osnovine i potkine niti. Mjesta na kojima se isprepliću osnova i potka nazivaju se vezne točke. Platneni vez je vez s najvećim brojem veznih točaka, te se njime postižu i najveće čvrstoće tkanina [33].



Sl.2 Shematski prikaz platnenog veza

b) Keperni vez

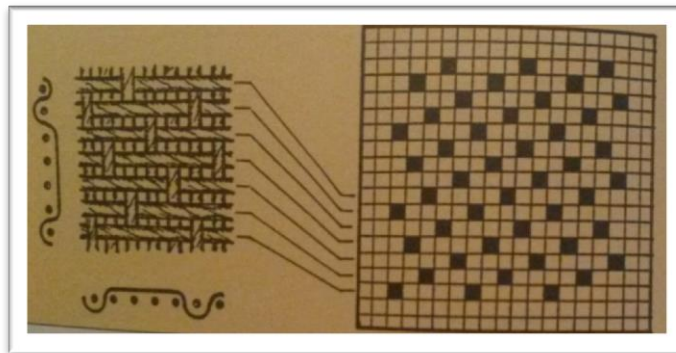
Keperni vez na tkanini je prepoznatljiv po koso položenim, rebrastim prugama. Ovisno o smjeru pružanja kosih "pruga" razlikuje se lijevi "S" i desni "Z" keper [33].



Sl.3 Shematski prikaz keper veza

c) Atlasni vez

Vez s vrlo malim brojem veznih točaka na tkanini. Tkanine izrađene u atlasnom vezu nisu jako čvrste. Taj se vez koristi u kombinaciji s drugima i kod izrade pamučnih tkanina, naročito za postizanje sjajnih šara, a samo izuzetno rijetko kod vunениh tkanina [33].



Sl.4 Shematski prikaz atlas veza

2.2.2.2. Gustoća niti

Gustoća niti određena je prema standardu ISO 7211/2-1984 Textiles – Woven fabrics – Construction – Methods of analysis, PART 2: Determination of number of threads per unit length. Duljina mjerenja za svaku tkaninu određena je prema tab.1. Mjerenje je provedeno metodom prebrojavanja niti pomoću povećala, u smjeru osnove i potke, na pet različitih mjesta na tkanini. Uzorci su prethodno kondicionirani na standardnu atmosferu temperature $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $65\% \pm 1\%$ relativne vlažnosti [34].

Tab. 1 Tablica određivanja minimalne duljine mjerenja za određivanje gustoće tkanine prema standardu ISO 7211 [34]

Broj niti po centimetru duljine	Minimalna duljina mjerenja [cm]	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

2.2.3. Svojstva tkanina povezana s izgledom i pristajalosti odjeće

Razboriti i svjesni kvalitete potrošači zahtijevaju da njihova odjeća zadovoljava njihove zahtjeve i očekivanja u pogledu izgleda, pristajalosti i udobnosti, jednako kao kada je nova i nakon nekog perioda nošenja. Proizvođač odjeće, s druge strane, zahtijeva da je tkanina jednostavna za prilagodbu, da prolazi kroz proces proizvodnje lako i bez većih problema, tako da konačni odjevni predmet ima dobar izgled [14].

Tab.2 Procjena tkanine u odjeći [14]

<u>Za potrošača:</u>		
Estetski dojam	vizualno taktilno	boja i kroj, pad tkanine, drapiranje osjećaj, šuškanje
Površina	propuštanje svjetlosti, oblik tijela (naglašava ili je nejasan)	
Udobnost	propusnost topline, vlage, zraka, osjećaj na dodir kože	
Jačina i izdržljivost	lom i opadanje vlakana oštećenje	
Zadržavanje izgleda	nabori jednostavnost održavanja	
<u>Za proizvođača odjeće</u>		
Karakteristike rukovanja	ponašanje materijala tijekom krojenja, šivanja, oblikovanja, prijevoza i skladištenja	

2.2.4. Svojstva tkanina povezana s problemima u procesu izrade odjeće

Kod procesa izrade odjeće bitno je upoznati se sa svojstvima svake tkanine koja se koristi u izradi jednog odjevnog predmeta. Prema određenim svojstvima tkanine potrebno je prilagoditi proces izrade i podesiti postavke stroja sukladno parametrima tkanine [14].

Tab.3 Svojstva tkanina povezana s problemima u procesu izrade odjeće[14]

Svojstvo	Potencijalni problem
Niska istezljivost	Stvaranje mjehurića između spojenih slojeva Raslojavanje spojenih slojeva Stvaranje mjehurića u plisiranju Skupljanje materijala
Visoka istezljivost	Prekomjerna fuzija skupljanja Prekomjerne pare prešanja Varijacije u veličini krojnog dijela
Prekomjerna ekspanzija	Prekomjerno skupljanje tijekom procesa proizvodnje Stvaranje zračnih međuprostora između spojenih slojeva Stvaranje zračnih međuprostora između slijepljenih slojeva
Niska sposobnost oblikovanja	Poteškoća u uklapanju rukava u orukavlje
Niska rastezljivost	Poteškoća šivanja overfeed šava (tehnika šivanja kojom je moguće doseći puninu strukture i/ili zakrivljenost u smjeru šava) Poteškoće u glačanju Skupljanje materijala
Visoka rastezljivost	Poteškoća podudaranja glavnih točaka Poteškoća šivanja skrivenih šavova Problem skupljanja materijala
Niska krutost savijanja	Teško za krojiti i šivati Problemi kod automatiziranog vođenja
Visoka krutost savijanja	Teško za oblikovati i prešati
Niska sposobnost smicanja	Poteškoće kod polaganja, obilježavanja i krojenja
Visoka sposobnost smicanja	Poteškoće kod modeliranja Teško se formira 3D oblik

2.2.5. Svojstva tkanina povezana s lošim izgledom odjeće tijekom nošenja

Na ponašanje odjevnog predmeta tijekom nošenja najvažniju ulogu imaju tkanine od kojih je odjevni predmet izrađen. Tkanina se tijekom nošenja troši, njena prvotna svojstva se troše, te je vrlo važno posvetiti pažnju svim tkaninama koje zajedno sačinjavaju jedan odjevni predmet, vrlo je bitno da su tkanine kompatibilne po svojim svojstvima [14].

Tab.4 Svojstva tkanina povezana s lošim izgledom odjeće tijekom nošenja [14]

Svojstvo	Potencijalni problem
Niska istežljivost	Stvaranje mjehurića/valovitost između spojenih slojeva raslojavanje spojenih slojeva Nabiranje šava
Visoka istežljivost	nejednoličnost veličine Nabiranje šava
Prekomjerna ekspanzija	Stvaranje mjehurića/valovitost između spojenih slojeva Teško zadržavanje oblika Nabiranje šava
Niska sposobnost oblikovanja	Stezanje šavova Poteškoće u prešanju
Niska krutost savijanja	Teško zadržavanje oblika Mekano nabiranje rukava
Niska sposobnost smicanja	Teško zadržavanje oblika Mekano nabiranje rukava
Prekomjerno povećanje debljine površine	Teško zadržavanje izgleda odjevnog predmeta Ponovno obilježavanje oznaka ili pucanje i iskrivljenje tkanja tkanine

2.3. Objektivno vrednovanje tekstila i odjeće

Objektivno vrednovanje tkanina pruža znanstveno sredstvo za kvantificiranje kvalitete i izvedbenih karakteristika tkanina. Dva su ključna pitanja koja se trebaju definirati sustavu za objektivno vrednovanje: što se mjeri i kako interpretirati rezultate. Niwa je dao tri ključna kriterija koja mora zadovoljiti idealan materijal: nježan dodir, dobar izgled odjeće te udobnost.

Udobnost općenito uključuje toplinsku i mehaničku udobnost, što se ocjenjuje svojstvima tkanine u zraku, vodi i toplini, te mehaničke udobnosti koja se procjenjuje po subjektivnoj procjeni opipa, vizualnim i taktilnim putem. Prema Kawabati i Niwi, svojstva tkanina za odjeću treba procijeniti prema sljedeća tri uvjeta [14]:

Kategorija A: uporabna svojstva

Kategorija B: svojstva udobnosti (mehaničke, toplinske)

Kategorija C: svojstva tkanine za proizvodnju odjeće

Sustav objektivnog vrednovanja gotovih tkanina ima tri glavne namjene za kontrolu kvalitete:

- 1) kako bi se osiguralo da su tkanine lako prilagodljive,
- 2) kako bi se osiguralo da odjeća zadrži svoj oblik tijekom nošenja,
- 3) te za pružanje informacija o tkanini.

Kvaliteta odjeće i njen izgled te ponašanje tijekom procesa proizvodnje određeni su mehaničkim i površinskim svojstvima tkanine [14]. Sustav objektivnog vrednovanja je priznat kao ključni element za uspjeh tekstilne i odjevne industrije u vrlo konkurentnom okruženju zahtjevnih potrošača svjesnih kvalitete u 21. stoljeću.

Sustav objektivnog vrednovanja pruža ključ kojim se opsežna eksperimentalna i teorijska istraživanja prošlog stoljeća mogu provesti do tekstilne i odjevne industrije. Temeljni koncept se odvija tako da je potrebno provesti skupa instrumentalna mjerenja na tkaninama kako bi se utvrdila kontrola kvalitete, sposobnost oblikovanja i krajnja izvedba odjevnog predmeta s odabranom tkaninom. Također je uspostavljena objektivna osnova i jezik za komunikaciju među istraživačima, kao i industrijskog sektora i obrta tekstila odjevnih predmeta.

U sljedećim točkama rada opisana su dva najznačajnija sustava za mjerenje mehaničkih i fizikalnih svojstava tekstilnih materijala. FAST i KES mjerni sustavi su najčešće korišteni sustavi za ispitivanje fizikalnih i mehaničkih svojstava tekstilnih materijala, jer su parametri tih ispitivanja potrebni za preciznu 3D simulaciju odjevnog predmeta u OptiTex CAD sustavu.

2.3.1. KES mjerni sustav

KES-FB sustav (*engl. Kawabata's Evaluation System for Fabric*), nazvan je prema voditelju istraživanja S. Kawabati koji je 80-ih godina prošlog stoljeća razvio prvu koherentnu mjernu

opremu za objektivno mjerenje značajnih estetskih / kvalitativnih karakteristika tkanina. KES-FB mjerni sustav je precizan, učinkovit i relativno kompleksan, temeljen na tehnologiji objektivnog mjerenja mehaničkih i fizikalnih svojstava tkanina. Sustav se sastoji od 4 mjerna uređaja, temelji se na vrednovanju 16 za opip značajnih parametara mehaničkih, fizikalnih i strukturnih svojstava tkanina svrstanih u 6 skupina [7]. Skupine 1 do 4 (vlačna, savojna, smična, kompresijska svojstva) obuhvaćaju mehanička svojstva, skupina 5 (površinska svojstva) se odnosi na fizikalna svojstva, dok se skupina 6 (masa i debljina) odnosi na strukturna svojstva plošne tekstilije koja su indirektno povezana s mehaničkim svojstvima [7].

Tab.5 Pregled parametara mehaničkih i fizikalnih svojstava, određenih pomoću KES-FB mjernog sustava [7]

Naziv svojstva	Oznaka	Karakteristični parametri	Jedinica
Vlačna svojstva	WT	Deformacijski rad	cN cm cm ⁻²
	RT	Sposobnost oporavka	%
	LT	Linearnost krivulje	-
Savojna svojstva	B	Krutost savijanja	cN cm ² cm ⁻¹
	2HB	Histereza momenta savijanja	cN cm cm ⁻¹
Smična svojstva	G	Smična krutost	cN cm ⁻¹ st ⁻¹
	2HG	Histereza smične sile kod smičnog kuta +/-0,5°	cN cm ⁻¹
	2HG5	Histereza smične sile kod smičnog kuta +/-0,5°	cN cm ⁻¹
Kompresijska svojstva	WC	Deformacijski rad pri kompresiji	cN cm cm ⁻²
	RC	Sposobnost oporavka	%
	LC	Linearnost krivulje	-
Površinska svojstva	MIU	Koeficijent površinskog trenja	-
	MMD	Prosječna vrijednost apsolutnog odstupanja koeficijenta trenja MIU	-
	SMD	Geometrijska hrapavost	µm
Debljina i masa	h	Debljina tkanine pri opterećenju 0,49cNcm ⁻²	mm
	W	Masa na jedinicu površine	mg cm ⁻²

2.3.1.1. Vlačna svojstva

Određivanje vlačnih svojstava primjenom KES-FB1 mjernog uređaja temelji se na ispitivanju vlačne deformacije uzorka, efektivnih dimenzija 50 mm x 200 mm koji je u uzdužnom smjeru učvršćen između fiksne i pomične stezaljke i izložen je vlačnom opterećenju u longitudinalnom smjeru do opterećenja 490,35 cN [7]. Parametri vlačnih svojstava su deformacijski rad WT , linearnost LT krivulje opterećenje – deformacija $F(\varepsilon)$, sposobnost oporavka RT i istežanje ε_m kod maksimalne vrijednosti vlačnog opterećenja $F_m = 490,35$ cN.



Sl.5 KES-FB1 Auto mjerni sustav za vlačna i smična svojstva [7]

2.3.1.2. Savojna svojstva

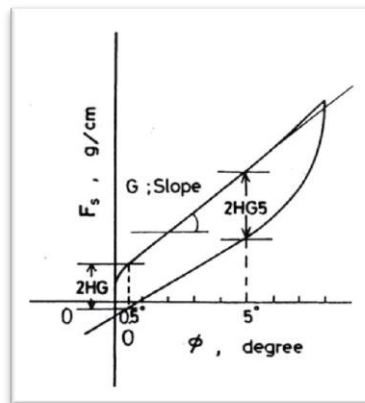
Savojna svojstva utvrđuju se korištenjem KES-FB2 mjernog uređaja. Utvrđivanje se temelji na istraživanju savojnih deformacija uzorka kao čistog pregiba, jer se uzorak efektivnih dimenzija 10 mm x 200 mm koji je u uzdužnom smjeru učvršćen između fiksne i pomične stezaljke, savija po kružnici polumjera ρ [7]. Jedan kraj uzorka je fiksiran u točki 0, dok se drugi kraj savija po krivulji. Parametri su krutost savijanja B i histereza momenta savijanja $2HB$.



Sl.6 KES-FB2 AUTO mjernom sustav za savojna svojstva[7]

2.3.1.3. Smična svojstva

Smična svojstva se određuju pomoću KES-FB1 mjernog sustava koje se temelji na istraživanju smične deformacije uzorka efektivnih dimenzija 50 mm x 200 mm, koji je u uzdužnom smjeru učvršćen između fiksne i pokretne stezaljke i izložen je konstantnom vlačnom opterećenju $F_{pr} = 9,807$ cN uzduž smjera ortogonalno na smično opterećenje F [7]. Parametri su smična krutost G , izražena u $\text{cN } (^\circ)^{-1}$, histereza smične sile $2HG$ kod smičnog kuta od $\gamma = 0.5^\circ, \text{cN}$, histereza smične sile $2HG5$ kod smičnog kuta od $\gamma = 5.0^\circ, \text{cN}$ [7].



Sl.7 Histereza smične deformacije uzorka kod smičnog kuta γ [7]

2.3.1.4. Kompresijska svojstva

Određivanje kompresijskih svojstava pomoću KES-FB3 mjernog uređaja temelji se na istraživanju kompresijske deformacije uzorka koji se u području efektivne površine od 2 cm^2 izlaže kompresijskom opterećenju, koje djeluje okomito na površinu uzorka [7]. Parametri kompresijskih svojstava su kompresijski ili deformacijski rad WC , linearnost LC krivulje kompresijsko opterećenje – deformacija $F_k(h)$ i sposobnost oporavka RC .



Sl.8 KES-FB3 AUTO mjerni sustav za kompresijska svojstva [7]

2.3.1.5. Površinska svojstva

Površinska svojstva plošnih tekstilija, kao fizikalna svojstva, utvrđuju se mjernim uređajem KES-FB4, na temelju određivanja parametara površinske strukture plošnih tekstilija [7]. Parametri su površinsko trenje *MIU*, iskazano srednjom vrijednošću koeficijenta trenja μ , prosječna vrijednost apsolutnog odstupanja *MMD* koeficijenta površinskog trenja *MIU* i geometrijska hrapavost *SMD*, iskazana kao prosječno odstupanje u debljini tkanine.



Sl.9 KES-FB4 AUTO mjerni sustav za površinska svojstva [7]

2.3.2. FAST mjerni sustav

FAST (*engl. Fabric Assurance by Simple Testing*) mjerni sustav je 1983. godine razvila australska tvrtka CSIRO Division of Wool Technology, namijenjen je mjerenju mehaničkih i fizikalnih svojstava tkanina. FAST mjerni sustav je pouzdan, točan i izdržljiv te jednostavan za korištenje, tab. 1. [21]. Sustav je oblikovan za praćenje mehaničkih svojstava tkanina u proizvodnji, kao i za kontrolu procesa izrade odjeće, a temelji se na metodologiji objektivnog vrednovanja mehaničkih svojstava kod malih opterećenja, te dimenzijske stabilnosti kao fizikalnog svojstva. Sastoji se od tri mjerna uređaja (za ispitivanje kompresijskih, savojnih, vlačnih i smičnih svojstava) te jedinice za karakterizaciju dimenzijske stabilnosti [7,35]. Objektivno vrednovanje tkanine koja je korištena u eksperimentalnom dijelu rada provedeno je na Univerzi v Mariboru, na Fakulteti za strojništvo, Odelku za tekstilstvo, za vrijeme studentske razmjene u okviru CEEPUS programa razmjene studenata, pod mentorstvom prof. Jelke Geršak.

Tab.6 Pregled parametara mehaničkih i fizikalnih svojstava, utvrđenih pomoću FAST mjernog sustava [7]

Naziv svojstva	Oznaka	Karakteristični parametri	Jedinica
Kompresijska svojstva	h_0	Debljina tkanine pri opterećenju od 0,196 kNm ⁻²	mm
	h_1	Debljina tkanine pri opterećenju od 9,807 kNm ⁻²	mm
	h_S	debljina površinskog sloja tkanine	mm
	h_{SR}	relaksirana debljina površinskog sloja	mm
Savojna svojstva	c	Savojna duljina	mm
	B	Krutost savijanja	μNm
Vlačna svojstva	ϵ_5	Istezanje pri opterećenju od 4,90 Nm ⁻¹	%
	ϵ_{20}	Istezanje pri opterećenju od 19,62 Nm ⁻¹	%
	ϵ_{100}	Istezanje pri opterećenju od 98,07 Nm ⁻¹	%
	ϵ_{B5}	Istezanje (kod 45°) pri opterećenju od 4,9 Nm ⁻¹	%
Smična svojstva	G	Smična krutost	Nm ⁻¹
Dimenzijska stabilnost	RS	Relaksacijsko skupljanje	%
	HE	Rastezanje (ekspanzija) u vlažnom	%
Izvedeno svojstvo	F	Sposobnost oblikovanja	mm ²
Masa	W	Masa po jedinici površine	mg m ⁻²

2.3.2.1. Kompresijska svojstva

Određivanje kompresijskih svojstava temelji se na proučavanju kompresijske deformacije tkanine, koja se odražava u promjeni tkanine, tj. njenog površinskog sloja. Konceptija se temelji na modelu tkanine, kojim se pretpostavlja da u tkanini postoji gotovo nestlačiva jezgra, stisnuta između dva površinska sloja, sastavljena od pređe stršećih vlakana [7]. Parametri kompresijskih svojstava su debljina tkanine h_0 kod kompresijskog opterećenja od 1,96 cN cm⁻², debljina tkanine h_1 kod opterećenja od 98,07 cN cm⁻², debljina površinskog sloja tkanine h_s i relaksirana debljina površinskog sloja tkanine h_{SR} .



Sl.10 FAST-1 mjerni uređaj za kompresijska svojstva [7]

2.3.2.2. Savojna svojstva

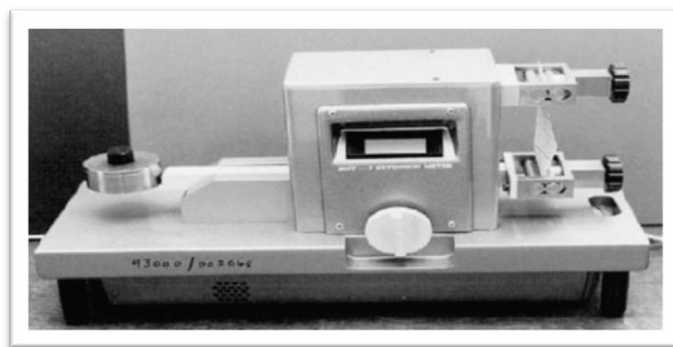
Određivanje savojnih svojstava temelji se na mjerenju savojne duljine tkanine korištenjem FAST-2 mjernog uređaja, koji je osnovan slično kao Peirceov fleksometar i Shirleyev uređaj [7]. Savojna duljina se određuje na temelju dužine slobodnog dijela tkanine koji se savija zbog djelovanja vlastite težine, sve dok njen ovješeni dio ne dosegne ravninu pod kutom $41,5^\circ$ u odnosu na horizontalnu ravninu. Parametri savojnih svojstava su savojna duljina c i krutost savijanja B .



Sl.11 FAST-2 mjerni uređaj za savojna svojstva [7]

2.3.2.3. Vlačna svojstva

Određivanje vlačnih svojstava primjenom FAST-3 mjernog uređaja, koji djeluje na načelu vage, temelji se na mjerenju vlačne deformacije uzorka efektivnih dimenzija 100 mm x 50 mm, koji je u vertikalnom položaju učvršćen između fiksne i pomične stezaljke i izložen vlačnom opterećenju u smjeru djelovanja sile [7]. Vlačna deformacija uzorka se utvrđuje za uzdužni i poprečni smjer plošne tekstilije, uz opterećenje od 4,9 cN, 19,62 cN i 98,07 cN, kao i na uzorcima krojenim pod kutom od 45° u odnosu na smjer osnove i potke, pri opterećenju od 4,9 cN.



Sl.12 FAST-3 mjerni uređaj za vlačna i smična svojstva [7]

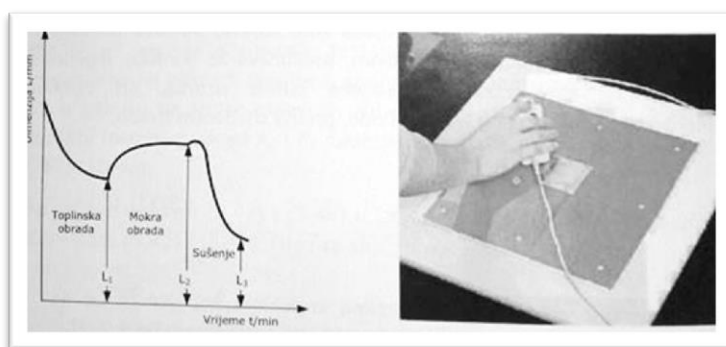
2.3.2.4. Smična svojstva

Smična krutost FAST metodom se određuje na temelju smične deformacije, tj. istezanja ϵ_{B5} izmjerenog na uzorcima krojenim pod kutem od 45° u odnosu na smjer niti osnove i potke, pri vlačnom opterećenju od 4,9 cN koje djeluje vertikalno na uzorak.

Nastala smična deformacija uočljiva je kao pomaknuta mreža niti u kojoj se promijenio kut između sustava niti osnove i potke koje leže paralelno s dijagonalom [7].

2.3.2.5. Dimenzijska stabilnost

Dimenzijska stabilnost je sposobnost materijala da sačuva svoje prvobitne dimenzije dok god se koristi za određenu namjenu [7]. Definiira se kao promjena dimenzija plošnih tekstilija do koje dolazi ako se tekstilije izlože različitim uvjetima okoline, primjerice vlazi i/ili toplini. Ispitivanjem dimenzijske stabilnosti utvrđuju se dvije važne komponente: relaksacijsko skupljanje *RS* (engl. *Relaxation Shrinkage*) i rastezanje u vlažnom stanju *HE* (engl. *Hygral Expansion*).



Sl.13 FAST-4 metoda ispitivanja za određivanje dimenzijske stabilnosti [7]

2.3.3. Utjecaj mehaničkih svojstava tkanina na kvalitetu izgleda odjeće

Odjevni predmeti su najvjerojatnije jedini proizvodi kod kojih se tijekom izrade i bez fizičkog preoblikovanja materijala dvodimenzijska tekstilna plošna tvorevina pretvara u trodimenzijski oblikovani proizvod. Tkanine su nehomogeni materijali te ih već i mala opterećenja mogu dovesti do deformacije. Nelinearna svojstva tekstilnih materijala utječu na pad tkanine u odjevnom predmetu, koji je predmet izučavanja razine kvalitete izgleda odjevnog predmeta i njegove pristalosti [7]. Za izgled oblika gotovog odjevnog predmeta važne su tri komponente materijala, a to su:

- sposobnost oblikovanja,
- elastični potencijal i
- drapiranje.

2.3.4. Sposobnost oblikovanja tkanina

Sposobnost oblikovanja, tzv. oblikovljivost je specifično svojstvo tkanine, koje se može opisati kao mjerilo sposobnosti tkanine apsorpiranja kompresije u vlastitoj ravnini bez izbočenja. Koncept sposobnosti oblikovanja temelji se na maksimalnoj longitudinalnoj kompresiji koju tkanina može podnijeti prije nego što dođe do ispupčenja [7]. Sposobnost oblikovanja ima značajan utjecaj na kvalitetu izrađenog šava kao i na estetski izgled odjeće. Krutost savijanja, koja je usko povezana s deformabilnošću tkanine neposredno utječe na sposobnost oblikovanja tkanine. Manje vrijednosti krutosti savijanja utječu na opip i jamče veću deformabilnost tkanine, dok veće vrijednosti znače da je sposobnost oblikovanja tkanine bolja. Na sposobnost oblikovanja tkanine i postizanje punoće oblika 3D predmeta značajan utjecaj ima i linearnost krivulje opterećenje – deformacija. Tkanine s malim vrijednostima linearnosti LT iskazuju veću sposobnost oblikovanja [7].

2.3.5. Elastični potencijal

Elastični potencijal tkanine važna je komponenta određivanja izgleda odjeće [7]. Parametri koji imaju utjecaj na elastični potencijal tkanine i koji su povezani s izgledom odjeće su: vlačni elastični potencijal VP , elastični potencijal savijanja BP i smični elastični potencijal GP .

Vlačni elastični potencijal *VP* tkanine raste s porastom deformacijskog rada *WT*, koji je usko povezan s fleksibilnošću, mekoćom, glatkoćom i kompaktnošću tkanine te sposobnošću oporavka *RT*. Elastični potencijal savijanja *BP* ovisi o vrijednosti krutosti savijanja tkanine. S porastom vrijednosti krutosti savijanja povećava se vrijednost elastičnog potencijala savijanja *BP* tkanine, a time i podatnost tkanine u odjevnom predmetu. Smični elastični potencijal *GP* uvjetovan je smičnom krutošću i vrijednostima histereze smične sile. Tkanine s malom vrijednošću smičnog elastičnog potencijala *GP* imaju mekani opip te pozitivno utječu na sposobnost oblikovanja i šivljivost, dok tkanine vrlo malih vrijednosti histereze smične sile iskazuju smanjenu sposobnost oblikovanja. Vrlo velike vrijednosti histereze smične sile negativno utječu na izgled odjeće jer su takve tkanine krute i neelastične [7].

2.3.6. Drapiranje

Drapiranje je važna komponenta estetskog izgleda i privlačnosti odjevnih predmeta, a također igra ključnu ulogu u udobnosti i pristajalosti. Drapiranje tkanine kao i boja, sjaj i struktura, je važan faktor koji utječe na estetiku i dinamičku funkcionalnost tkanine. To svojstvo je ključno za određivanje pristajalosti i prilagođavanja odjeće obliku tijela, odnosno njegovoj silueti [14]. Drapiranje tkanine određuje granicu do koje tkanina visi u naborima. Krutost na savijanje i smična krutost tkanine značajno utječu na svojstvo drapiranja, zbog čega su konstrukcijski faktori tkanine kao finoća pređe, gustoća tkanine i vrsta veza također vrlo značajni [14]. Tkanina ima dobro svojstvo drapiranja kada se prilagođava naborima pod djelovanjem gravitacije na način koji je graciozan i ugodan oku [14]. U praksi, drapiranje se procjenjuje vizualno ili subjektivno, a stvarna procjena uvelike ovisi o faktorima kao što su moda, ljudske percepcije, osobne percepcije itd. Drapiranje je složena kombinacija mehaničkih, optičkih, subjektivno i objektivno ocijenjenih svojstava. Također tu je element pokreta, vrtložno kretanje za suknju ili haljinu, a time i dinamičko za razliku od statičkog drapiranja. U posljednjih nekoliko godina, razlika je između statičkog i dinamičkog drapiranja. Statički koeficijent drapiranja i dinamički koeficijent drapiranja četiriju tkanina od prirodnih vlakana, na 100 i 125 okretaja u minuti nisu imali vrlo dobar odnos, osim vunениh tkanina. Ključni parametri za statički koeficijent drapiranja i dinamičkog koeficijenta drapiranja na 100 okretaja u minuti svakog prirodnog vlakna tkanine su odabrani od šesnaest fizičkih svojstava. Rezultati su pokazali da su odabrani ključni parametri različitih prirodnih vlakana koji kod tkanina nisu bile u potpunosti isti te da statički koeficijent drapiranja tkanine ne može prikazati dinamičke performanse. [37].



Sl.14 Prikaz haljine dobivene metodom drapiranja tkanine na lutki [38]

Drapiranje kao kompleksna deformacija tkanine može biti dvodimenzionalno i trodimenzionalno. 2D drapiranje se odnosi na deformaciju do koje dolazi djelovanjem sile gravitacije na tekstilnu plošnu tvorevinu, koja se zbog vlastite težine izvjesi u jednoj ravnini. 3D drapiranje je pojava do koje dolazi zbog djelovanja sile gravitacije na tekstilnu plošnu tvorevinu koja se zbog vlastite težine izvjesi što uzrokuje velika pomicanja i male vlačne, smične i savojne deformacije, izražene u obliku nabora [7].

2.3.6.1. Numeričko modeliranje drapiranjem tkanine CAD sustavima

Modeliranje drapiranjem u određenom 3D sustavu vizualizacije dizajniranih odjevnih predmeta u drapirajuću formu, jedna je od ključnih tehnologija u CAD i Internet sustavima namijenjenim 3D vizualizaciji odjeće. To je bitno za dizajnere kako bi procijenili dizajn, prikladnost tkanina i uzoraka za određeni odjevni predmet ili kolekciju u računalnom okruženju. Također je bitno za on-line trgovinu, kako bi kupci i potošači mogli procijeniti stil odjeće, izgled, oblik i pristajalost svome tipu tijela [14].

Rad na drapiranju koncentiran je na preciznom mjerenju i na empirijskom predviđanju drapiranja pomoću mehaničkih svojstava, posebice savijanja i krutosti smicanja te histereze. U novije vrijeme pažnja je sve više usmjerena na modeliranje odjeće drapiranjem, što je važno za razvoj 3D CAD sustava. Idealni drapirajući model ne bi trebao biti u mogućnosti samo statički prikazati drapiranje, već i u pokretu odnosno 3D simulaciji. Svojstva tkanine i dizajn odjeće su dva ključna čimbenika koji pridonose udobnosti odjeće. Svojstva materijala kao što su debljina, masa, elastičnost i sposobnost oporavka utječu na kretanje materijala odnosno odjevnog predmeta.



Sl.15 Cusickov drapmetar [7]

Tkanine imaju određeni stupanj savijanja te o tome ovisi namjena tkanine. Tkanine su uglavnom čvršće od pletiva. Prema Hatch (1993) postotak istezanja za pripijenu odjeću je između 15% i 25%, za sportsku odjeću između 20% i 35%, odjeću za vježbanje između 35% i 50%, a za odjeću koja se prilagođava između 30% i 40%. Joseph (1981) iskazuje sposobnost oporavka između 10% i 25%, te je bitno da tkanine imaju visoki stupanj oporavka uglavnom između 95% i 98%.

Zajedničko rješenje za pružanje pokretljivosti, kada se želi krute tkanine upotrijebiti za odjeću je stvaranje dizajna sa područjima koji su fleksibilniji u području od kuda pokret dolazi. To se može napraviti korištenjem fleksibilnijih tkanina, povećanjem fleksibilnosti tkanine sa značajkama dizajna ili obradom tkanine različito u različitim područjima. Uključivanje fleksibilnosti u dizajnu odjeće je posebno korisna strategija kada odjeća mora biti vezana na tijelo te se stoga može slobodno kretati po površini tijela. Iznos sile trenja tkanine može povećati vlagu u tkanini i na koži koja se povećava kao posljedica znojenja, što rezultira toplinskom nejednolikošću [3]. Mnoga dizajnerska rješenja mogu pridonijeti pokretljivosti

odjeće, kao što su segmenti koji se preklapaju ili se slažu segmenti sa nefleksibilnim materijalima jedan pored drugog, stvaranje krutih pregiba koji se mogu zakretati, presavijati.

2.4. Istraživanje i ispitivanje prototipa odjeće s aspekta udobnosti i dinamičke antropometrije

U ranoj studiji Kirk i Ibrahim (1966) mjerili su istezanje kože nad savijanim zglobovima označavajući kožu iznad i ispod mjesta zgloba u ispruženom položaju, a zatim su mjerili promjene u savinutom položaju. Razvoj 3D skenera tijela kao sofisticirane tehnologije za istraživanje antropometrije tijela, omogućio je veliki pomak u proučavanju te problematike uz postizanje pouzdanijih rezultata. Istraživanja promjena tjelesnih mjera zahtijeva pažljivu pripremu kako bi se postigli pouzdani rezultati, pri čemu su vrlo važne antropometrijske mjerne točke i pozicije markera.

Razvoj metoda za određivanje točnih mjera koje se bilježe s promjenama gibanja tijela je veliki izazov. S druge strane, metode za testiranje i usporedbu izvedenih odjevnih predmeta i za toplinsku interakciju su dobro razvijeni. Analiza pristajalosti odjeće na ljudskim modelima je uobičajena praksa u industriji, kako bi se u potpunosti doradili krojevi prije same proizvodnje odjeće. Pri tome je potrebno osigurati potrebnu komociju krojeva da modeli u odjevnim predmetima mogu normalno sjediti, hodati te biti angažirani u sportu za koji je odjeća namijenjena.

Tradicionalni pristup u analizi prototipa učinkovit je način za uspoređivanje uspješnosti dizajnerskog prototipa kako bi se utvrdilo gdje postoje problemi koje bi trebalo riješiti novim dizajnom [3]. Odgovarajući dizajn zahtijeva analizu veličine tijela osobe u odnosu na veličinu djeće koja je namijenjena za tu osobu. Prema istraživanjima, isti kroj odjevnog predmeta neće u potpunosti odgovarati istoj građi tijela ako postoje različitosti u držanju tijela [39]. Ovisno o zakrivljenosti kralježnice, potrebna su dodatna modeliranja kroja kako bi se odjevni predmet prilagodio antropometriji u normalnom, uspravnom ili pognutom držanju tijela [1].

2.4.1. Temeljna načela dinamike odjevnog predmeta

O udobnosti odjeće se raspravlja i istražuje već desetljećima. Iako su toplinska udobnost i taktilna udobnost često u središtu rasprava i istraživanja o udobnosti, većina modela udobnosti uključuju čimbenike pristajalosti odjeće u svojoj definiciji. Većina odjeće dizajnirana je u statičkom antropometrijskom položaju, to jest za osobu koja pod pravim

kutom stoji nogama blago razmaknutim i rukama sa strane. Renbourn (1971.) navodi da iako su mjerenja uzeta za odjeću u statičkom položaju, veliki dio našeg vremena provodimo sjedeći, hodajući, trčeći, te u drugim aktivnostima zahtijevajući uvođenje tolerancije kako bi se omogućilo kretanje u odjeći [3]. Odjeća koja je dobro dizajnirana te dobro pristaje, ne bi smjela ometati kretanje sukladno prigodi za koju je odjevni predmet namijenjen. Iako ne očekujemo isti raspon pokreta u poslovnoj ili sportskoj odjeći, odjeća ne bi trebala ograničavati najosnovnije pokrete poput slobodnog hodanja ili sjedenja.

2.4.2. Dinamička antropometrija

Tijekom godina provedena su mnoga antropometrijska mjerenja u svrhu mjerenja tijela u statičkom i dinamičkom položaju [23]. Anatomija ljudskog tijela je kompleksan sustav, svaki dio tijela ima svoj pridružni zglob, vezivno tkivo i manipulativnu muskulaturu čime pokazuje individualni oblik artikulacije. Iz razloga što gornji i donji ekstremiteti imaju različite stupnjeve pokreta, položaj mišića, kosti i zglobova se značajno mijenja tijekom tjelesnih aktivnosti što izravno utječe na površinu tijela tako da se koža isteže ili skuplja te pritom utječe na udobnost odjeće. Sloboda kretanja ljudskog tijela neraskidivo je povezana s dizajnom i konstrukcijom odjavnog predmeta. Stoga se odjeća treba prilagođavati i mijenjati svoje prvobitno stanje u skladu s pokretima ekstremiteta. Ljudsko tijelo je vrlo složene anatomije te je sposobno za velike različitosti u tipu i smjeru kretanja [24].

Jednostavnost nošenja (iznos komocije) je vrlo važna funkcija, jer konstrukcijski i dizajnom odgovarajuća odjevna veličina mora doprinijeti slobodi kretanja cijelog tijela. Jednostavnost nošenja se definira kao razlika izmjerene tjelesne veličine i veličine odjavnog predmeta, a uključuje dvije vrste jednostavnosti: jednostavnost nošenja i jednostavnost dizajna [6]. Jednostavnost nošenja je minimalan potreban iznos kako bi se osigurala fizička udobnost i mobilnost, dok je kod jednostavnosti dizajna udobnost i mobilnost veća od potrebne, zbog karakterističnog dizajna.

Zaštitna odjeća za specijalne namjene, mora zadovoljiti brojne uvjete kako bi odgovarala kriterijima funkcionalnosti. To se odnosi na dizajn modela, konstrukciju krojnih dijelova, izbor materijala. Odjeća ne smije ni u jednoj od svojih dijelova uzrokovati prevelik pritisak na tijelo, odnosno materijal od kojeg je izrađen odjevni predmet trebao bi biti u mogućnosti da snosi povećan pritisak, te u isto vrijeme mora omogućiti dovoljnu fleksibilnost i udobnost[15].

Definiranje odgovarajućeg iznosa komocije iznimno je važno u procesu razvoja odjevnog predmeta. Kod izrade krojeva hlaća minimalan iznos komocije od 0 do 2 cm se preporučuje u opsegu struka, dok se veća komocija preporučuje u području opsega bokova. Ovisno o tipu i građi tijela, razlikuje se iznos i mjesto komocije te je kod izrade krojeva bitno primijeniti komociju na mjestima gdje najviše odgovara određenoj građi tijela. Komocija se najčešće ocjenjuje subjektivno što ima nedostatak nedosljednosti, jer je puno različitosti među populacijom.

Objektivne metode se koriste za određivanje željene komocije analizom tjelesne širine i površine tijela te kontrakcija tijekom pokreta tijela. Jedan od pristupa je mjerenje ljudskog tijela u statičkom i dinamičkim položajima putem 3D skeniranja tijela, kao polazište za daljnji razvoj zglobnog modela tijela i nove metode za animaciju ljudskog pokreta. Koristi se optoelektronski kinematički sustav za analizu kretanja i laserski 3D skener primarno namijenjen antropometrijskom mjerenju tijela [31]. Drugi pristup je putem mreže linija na tijelu u statičkom položaju, tako da se mjere promjene dimenzija u rešetci prilikom kretanja tijela. Kirk i Ibrahim (1966.) su proučavali odnos između istezanja tijela i odjeće pomoću elastične tkanine. U svom istraživanju, uočili su horizontalno i vertikalno istezanje kože na poziciji stražnjice, prepona, leđa i koljena, koje se mjerilo tijekom istezanja, savijanja i sjedenja. Kako bi se utvrdile pozicije značajnijeg istezanja ili skupljanja kože, potrebno je postaviti markere na tijelo. Prema ISO 8559 (1989.) identificirane su pozicije i broj markera za svaki dio tijela, prikazano u tablici 5 [23].

Tab.br.7: Pozicije markera na tijelu prema ISO 8559 [23]

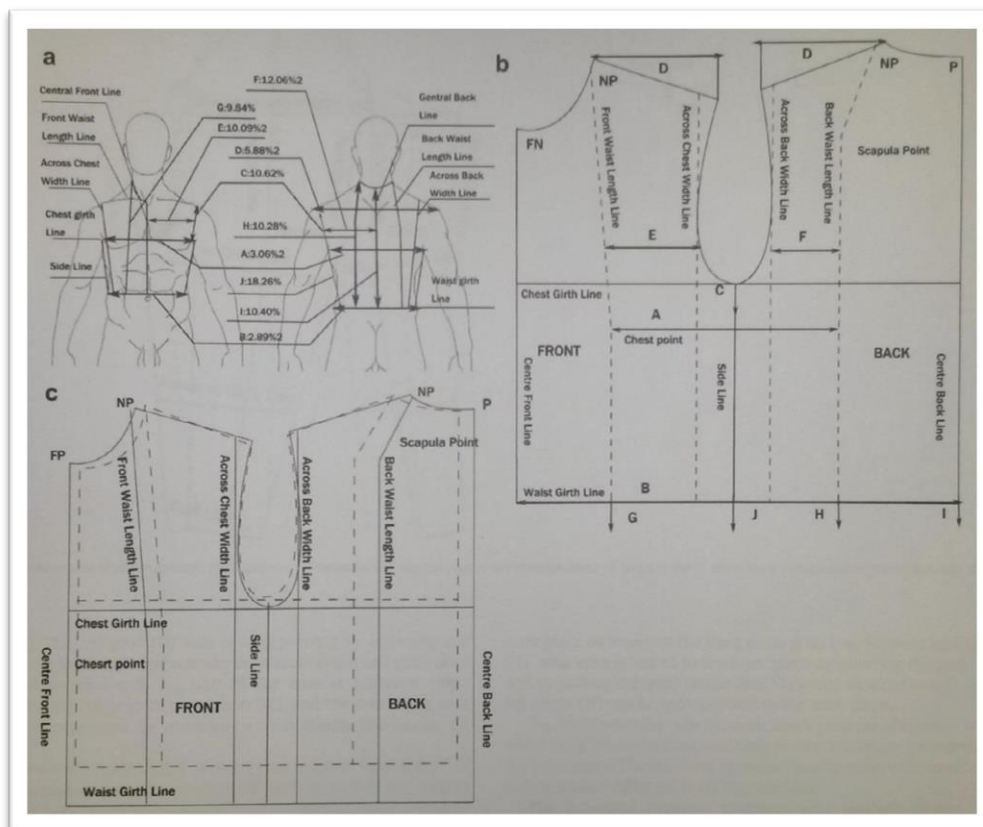
POZICIJA NA TIJELU	BROJ MARKERA
VRAT	4
GRUDI	16
STRUK	8
BOKOVI	8
RAMENA	2
RUKE	16
NOGE	20

S obzirom na sveobuhvatno gibanje ljudskog tijela, promjenama u ramenima, laktovima, struku, bokovima i koljenima, može se objasniti većina ljudskih pokreta. Konstrukcija temeljnog kroja izvodi se za tijelo u statičkom položaju. Krojevi za tijelo u dinamičkim

pokretima konstruiraju se na temelju krojeva za tijelo u statičkom položaju sa potrebnim dodacima za komociju.

a) Temeljni kroj muške košulje

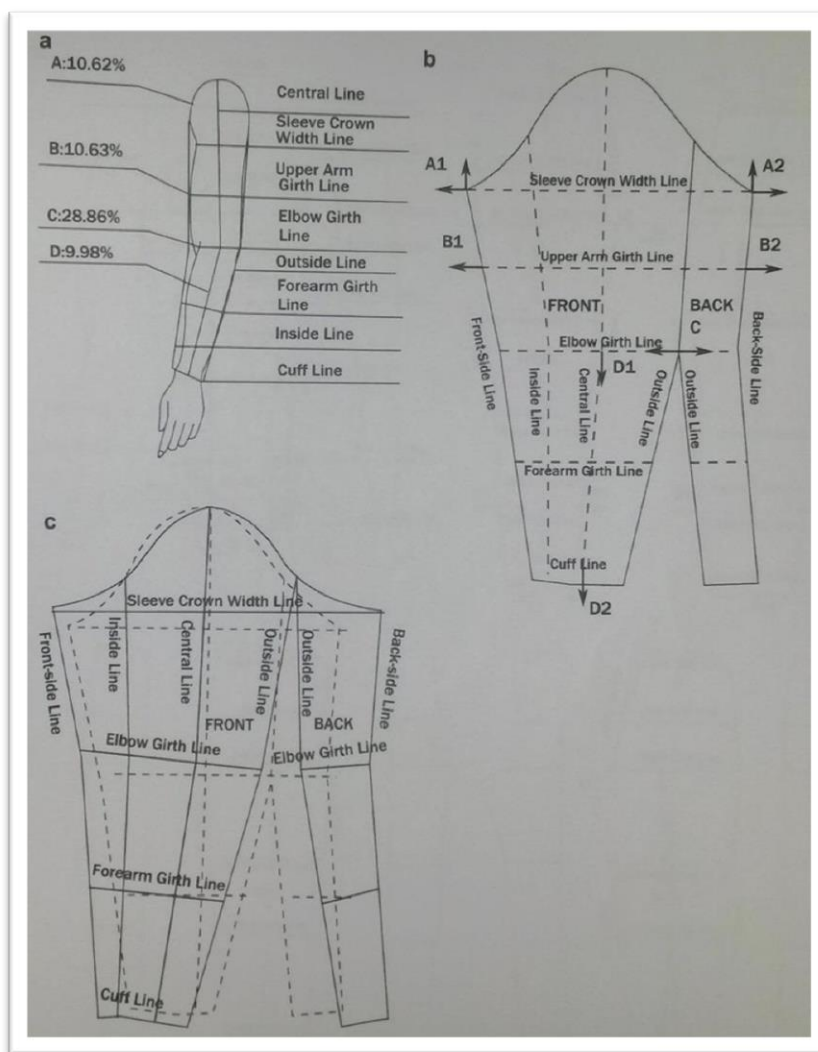
Za konstrukciju (dinamičkog) temeljnog kroja označavaju se vodoravne linije opsega grudi, struka i bokova, okomite linije prednje i stražnje sredine, duljine struka, linija širine leđa, širine grudi, bočne linije.



Sl.16 Razvoj temeljnog kroja muške košulje prema dinamici tijela [23]

b) Temeljni kroj rukava

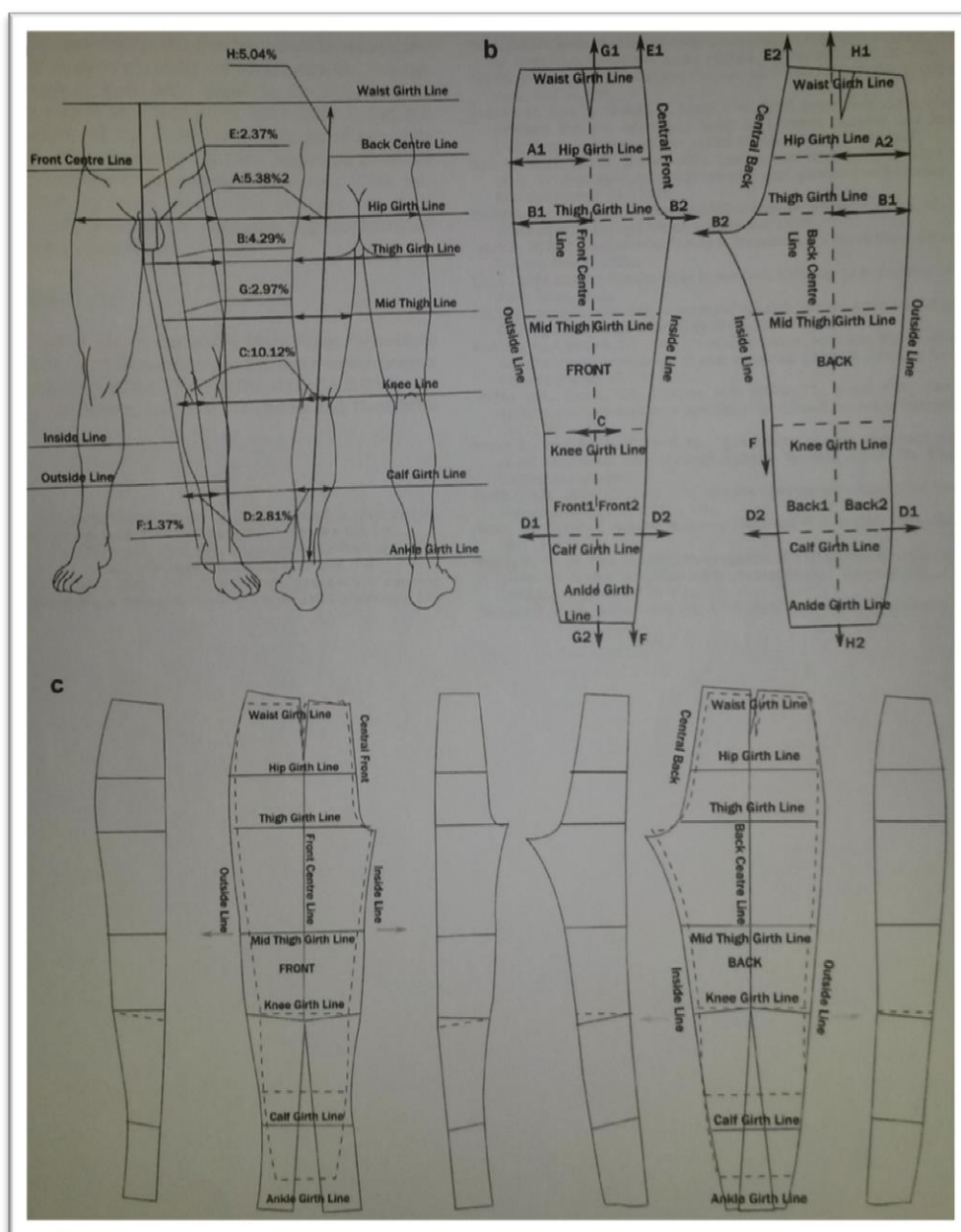
Za konstrukciju (dinamičkog) temeljnog kroja označava se linija širine rukava, linija opsega nadlaktice, podlaktice, linija lakta, linija duljine rukava, te okomite vanjske, unutarnje, prednje i stražne bočne linije [23] .



Sl.17 Razvoj temeljnog kroja rukava[23]

c) Temeljni kroj hlača

Za konstrukciju (dinamičkog) temeljnog kroja označava se linija struka, bokova, bedara, koljena, širina listova, duljina nogavica, prednja i stražnja sredina, vanjska i unutarnja bočna linija.



Sl.18 Razvoj temeljnog kroja hlača [23]

2.4.3. PicoPress mjerni uređaj

Digitalni mjerni uređaj koji je u osnovi namijenjen za primjenu u medicinske svrhe za mjerenje pritiska kojeg zavoj vrši na tijelo. Instrument koristi kružni senzor izrađen od ultra tankog biokompatibilnog materijala u koji je upuhan zrak. Senzor se postavlja između ekstremiteta i materijala. Tlak koji je detektiran pomoću senzora izmjeren je mikroprocesorskim digitalnim mjerajem i vizualizira se pomoću alfanumeričkog zaslona koji pruža osnovne operativne upute.

Instrument uključuje mikro pumpu koja se ručno aktivira uvođenjem poznatog volumena zraka. Instrument je opremljen firmverom (softver koji se nalazi u mikroprocesoru) koji memorira najviše 100 čitanja i koji se može povezati USB-om s osobnim računalom. Senzori su izrađeni od jednokratnog, biokompatibilnog materijala. Instrument je opremljen punjivim baterijama koje omogućuju barem 5 sati korištenja i uključuju punjač. Firmware provjerava postupak punjenja s prikladnim algoritmima i porukama kako bi se optimizirala uporaba baterije, sl. 19 [36].



Slika. 19 Shematski prikaz mjernog uređaja PicoPress [36]

Tehničke karakteristike PicoPress mjernog uređaja:

- Dimenzije: 160 mm x 90 mm x 32 mm
- Masa: 320 grama
- Raspon mjerenja: 0 do 189 mmHg
- Preciznost: ± 3 mmHg
- Maksimalni tlak koji uređaj mjeri: 300 mmHg

2.5. Programski paketi za CAD/CAM sustave u odjevnoj tehnologiji

Primjena elektroničkih računala i složenih sustava kojima ona upravljaju u odjevnoj industriji toliko je uznapredovala da ih je moguće koristiti od faza dizajniranja odjevnih predmeta pa sve do iskrojavanja krojnih naslaga, a uz to su razvijeni programi povezivanja više proizvodnih faza istovremeno. Više je tvrtki razvilo cjelovitu koncepciju primjene računalnih CAD/CAM sustava namijenjenih odjevnoj industriji tako da su, što je moguće više pokrivene potrebe konstrukcijske pripreme odjevne industrije i potrebe tehnološkog procesa krojenja

odjeće [40]. Opisani tijekom računalne potpore s primjerenim programskim paketima razvilo je više svjetskih proizvođača CAD sustava, među kojima se kao najznačajniji mogu istaknuti: Lectra Systemes, Gerber Technology, OptiTex, PAD System, Human Solutions Group, Maya Cloth, Syflex system.



Lectra CAD/CAM sustav

Programski paketi tvrtke Lectra Systemes:

MODARIS – za digitalizaciju, konstrukciju, modeliranje i gradiranje krojnih dijelova

MODARIS 3D FIT – za 3D simulaciju i vizualizaciju odjevnog predmeta

DIAMINO – za izradu krojnih slika

KALEDO – za dizajniranje pletiva, tkanina, pripreme za tekstilni tisak te dizajn kolekcija odjeće.



Gerber tehnologija

Dugogodišnji američki proizvođač CAD/CAM sustava za odjevnu industriju, koncern Gerber Technology, razvio je također cjelokupnu paletu strojne i programske opreme, od koje se za proces oblikovanja virtualne odjeće može istaknuti APDS-3D kao modul konstrukcijskog programskog paketa AccuMark [40].

APDS-3D program omogućuje odabir uzoraka iz datoteke biblioteka, mijenja ih u dvije ili tri dimenzije kako bi točno pristajale tjelesnim mjerama. Postupak se može ponavljati više puta, dok se ne odabere željeni uzorak i dimenzije uzorka. Virtualna pista se može okretati kako bi se omogućilo promatranje odjeće iz bilo kojeg kuta. Također se avatar može prilagoditi tjelesnim mjerama, kako bi se odjevni predmet mogao vizualizirati u bilo kojoj odjevnoj veličini. Sve promjene koje su izvedene na 3D kroju automatski se prevode u 2D kroj, i obrnuto. Skenirana ili digitalno obrađena fotografija se može prikazati na površini tkanine i odjevnog predmeta, te tako dati realniji prikaz boja i teksture dizajna [14]. Mehanička svojstva tkanina su bitna za drapiranje, tako da će tkanina od svile i tkanina od pamuka dati potpuno drugačiji izgled za identični odjevni predmet. Uneseni podaci iz KES-FB sustava pridonose vjerodostojnijem simuliranju pada tkanine, odnosno drapiranja, te tako daje relativno točnu vizualizaciju gotovog uzorka.

 PAD sustav

PAD sustav nudi sljedeća dva 3D CAD programska sustava:

1) 3D virtualni dizajn koji korisnicima omogućuje vizualizaciju svih izmjena na uzorku u realnom vremenu. Program ima sljedeće značajke:

- mapu tekstura i boja,
- krojeve jednostavnih odjevnih predmeta i postavke linije šivanja,
- automatski link na temeljni kroj,
- brzu transformaciju između 3D slike i 2D uzorka,
- 2D tehničke skice iz 3D simulacija,
- alate za 3D postavke, preklapanje i pozicioniranje dijelova,
- trenutni prikaz stilova s uzorcima i bojom,
- novu mapu uzoraka koja prikazuje sve kombinacije boja dostupnih za stil te
- prilagodba odjevnog predmeta prema individualnim mjerama.

2) 3D program Visoke mode

Program ima sljedeće značajke:

- mapu tekstura i boja,
- krojeve jednostavnih odjevnih predmeta i postavke linije šivanja,
- automatski link na temeljni kroj,
- brzu transformaciju između 3D slike i 2D uzorka,
- 2D tehničke skice iz 3D simulacija,
- alate za 3D postavke, preklapanje i pozicioniranje dijelova,
- prikaz stilova s uzorcima i bojom,
- novu knjižnicu uzoraka koja prikazuje sve kombinacije boja dostupnih za stil te
- prilagodbu odjevnog predmeta prema individualnim mjerama.

 Maya Cloth

Maya Cloth je program dizajniran za filmsku industriju [21]. 3D drapiranje odjeće se lako može modificirati mijenjanjem uzoraka i vrste materijala koji se koriste. Svojstva tkanina kao što su debljina, masa, elastičnost i krutost se mogu mijenjati u relativnoj skali kako bi se promijenio efekt drapiranja.



Syflex sistem

Syflex sistem je razvijen od Syflex LCC i PAD sustav Inc za tržište 3D animacije [21]. Proizvođač ističe superiornost sustava s aspekta brzine, stabilnosti, simulacije i jednostavnosti korištenja. Svojstva tkanina se mogu mijenjati čime se stvaraju kartice materijala. Simulacija se prilagođava svakom pokretu koji likovi izvode, na primjer, trčanje ili ples, što omogućuje dizajneru animirati bilo kakve odjevne predmete, kao što su majice, hlače, suknje i jakne. Također pruža mogućnost modeliranja i odabira materijala kao što su pamuk, svila, ili koža.

2.5.1. Razvoj računalnih simulacija tekstilnog plošnog proizvoda

Razvoj 3D simulacijskih paketa CAD sustava počeo je u kasnim 70-im i ranim 80-im godinama prošlog stoljeća, paralelno s povećanjem snage i dostupnosti osobnih računala [41]. Mnogi proizvođači tkanina su investirali u sustave, međutim oni su relativno brzo postali neiskorišteni ili zastarjeli: ponekad zbog gubitka stručnog osoblja, ili zato što sustav nije u cijelosti omogućavao niz funkcionalnosti, iskoristivosti i točnosti koje su bile potrebne. Od najranijih faza, jedan od zahtjeva proizvodnih tvrtki je bio taj da bude uključena simulacija pređa. Sustav je razvijen pomoću 2D simulacija tkanina, tako da su se pređe skenirale ili su bile oslikane na površini simulirane strukture tkanine. Tadašnji razvoj sustava bio je polazna točka razvoju CAD sustavima za 3D simulaciju [41].

Cilj je bio napraviti računalni model koji će precizno simulirati fleksibilan vlaknasti snop, kao što je pređa, u 3D obliku i koji će imati dovoljnu mehaničku točnost kako bi se omogućilo točno uvođenje parametara pletenih i tkanih materijala [40]. Bilo je potrebno stvoriti 3D oblik koji će predstavljati nit s konstantnom linearnom gustoćom i konstantnom vlačnom silom duž cijele njegove duljine. Tako simulirani oblik u poprečnom presjeku će biti isti u cijeloj svojoj duljini, a središnje linije će se nitima održavati na stalnoj udaljenosti od središta vrtnje pređe. Svako vlakno u pređi slijedi spiralni put duž osi pređe u skladu s utvrđenim geometrijskim modelom.

2.6. OptiTex CAD sustav

Optitex je specijaliziran za razvoj inovativnih CAD/CAM rješenja za odjevnu industriju te drugih industrija gdje se njegove mogućnosti mogu aplicirati. U fokusu razvoja programa je 3D simulacija odjeće i animacija modela, pri čemu se omogućuje izvođenje vrlo realistične 3D simulacije odjavnog predmeta i ponašanja tkanine [31]. OptiTex u sklopu palete

programske ponude PDS (Pattern Design System – programski paket za konstrukciju krojeva) i Modulate (Made to Measure – izrada odjeće po mjeri), nudi i aplikaciju Runway Designer koja omogućuje realističan prikaz virtualne odjeće na parametriziranom ljudskom modelu.

Suvremenim proizvođačima tekstila i odjeće već duže vrijeme na raspolaganju je široki spektar konvencionalnih CAD/CAM sustava, a koji u sprezi s tehnologijom virtualne realnosti i uslugama Interneta omogućuju poboljšanje konkurentnog položaja proizvođača odjeće uvođenjem nove ponude elektronskog poslovanja [22]. S obzirom da je za provedbu eksperimentalnog dijela rada korišten CAD sustav Optitex, u nastavku rada detaljnije su opisani programi CAD sustava i njihove mogućnosti.

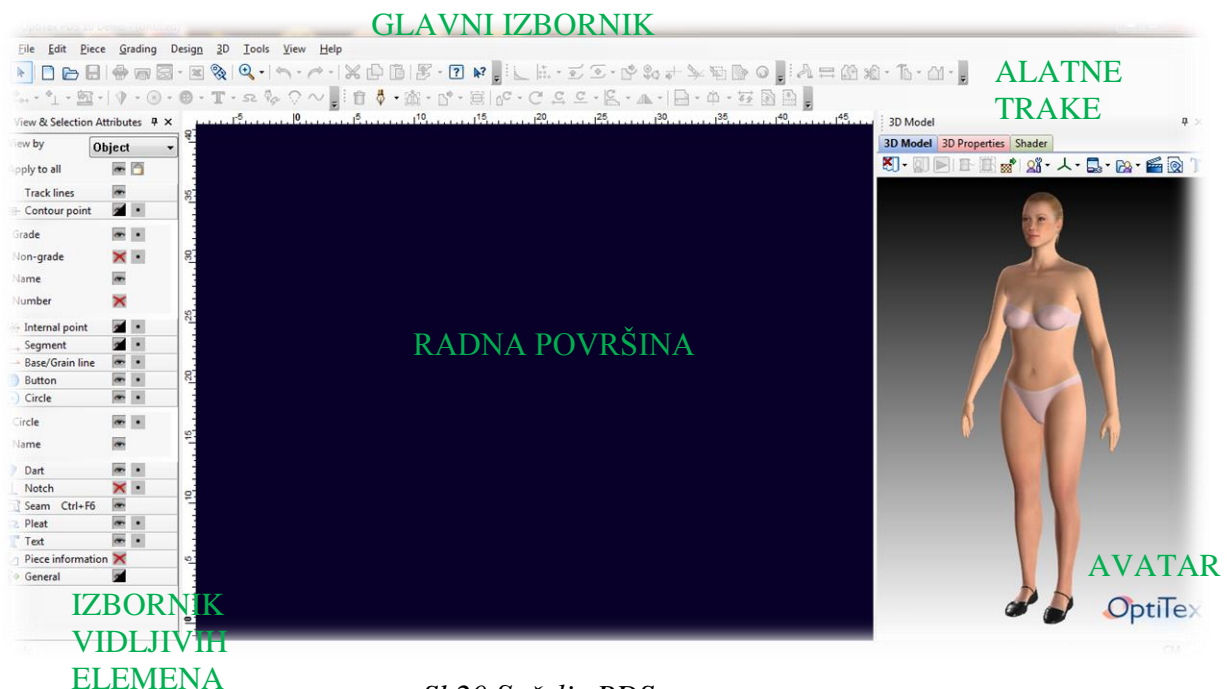
Programi su osmišljeni tako da maksimalno olakšavaju računalni razvoj novih modela, smanjuju troškove proizvodnje te skraćuju vrijeme izrade odjevnog predmeta ili kolekcije u sklopu konstrukcijske pripreme. Programi omogućuju računalnu konstrukciju krojeva, modeliranje, gradiranje, vizualizaciju prototipova modela kroz 3D simulaciju, dizajn kolekcija uz aplikaciju tekstura te uklapanje krojnih slika.

- PDS & Grade – Pattern Design System and Sizing Solutions – program za digitalizaciju, konstrukciju, modeliranje, gradiranje, izradu stila, pripremu krojnih slika,
- Marker Maker – program za izradu krojnih slika,
- Modulate – program za izradu krojnih dijelova prema individualnim mjerama,
- Runway Designer – 3D Drapping Simulation Extension –program za 3D simulaciju odjeće,
- Nest ++2 – Automatic Nesting – Enhanced Nesting Algoritm – program za automatsko uklapanje krojnih slika,
- Match ++ – Pattern Making – program za automatsko uklapanje krojnih dijelova s kompleksnim uzorcima materijala,
- Converters – a Unique CAD/CAM File Conversion – računalni programi koji omogućuju konvertiranje datoteka različitih CAD sustava poput Lectra, Gerber, Investronica, Mycrodinamics u format zapisa kojeg podržava OptiTex,
- 3D Digitizer – program koji omogućuje digitalizaciju novih krojnih dijelova na 3D simuliranom modelu,

- 3D Flattening – program koji omogućuje 3D konstrukciju na računalnom modelu tijela i transformaciju u 2D krojne dijelove

2.6.1. PDS – Pattern Design System

PDS (engl. Pattern Design System) je CAD program tvrtke Optitex koji omogućuje digitalizaciju, konstrukciju, modeliranje, gradiranje te kreiranje stila modela. Može se koristiti za dizajniranje svih vrsta tekstilnih proizvoda od odjevnog tekstila, tekstila za tapeciranje namještaja i tekstila za automobilsku industriju. Ikone i alati u programu raspoređeni su prema funkcionalnosti. Pomične alatne trake i izbornici omogućuju korisniku kreiranje vlastitog radnog okruženja, sl. 20.

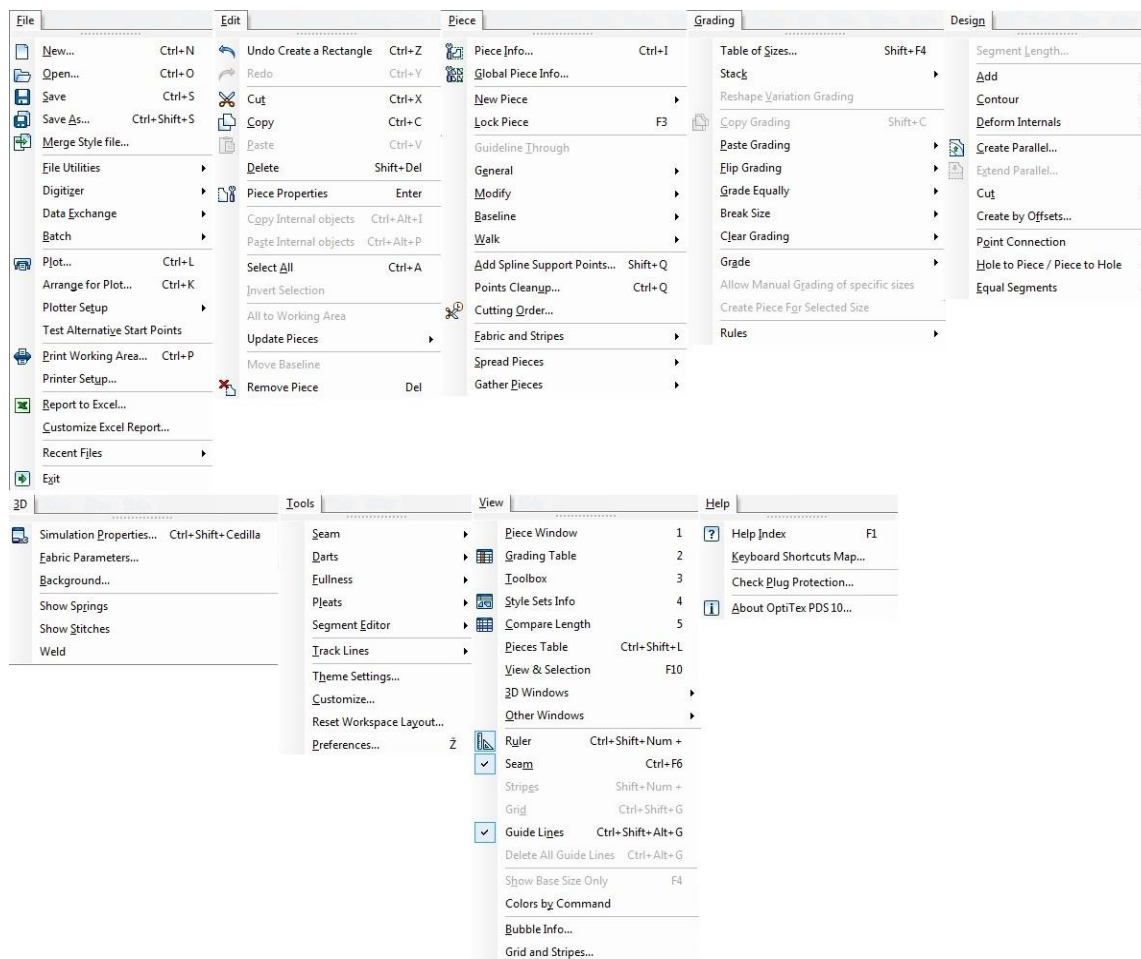


Sl.20 Sučelje PDS programa

Korisnik prema individualnom osjećaju ima mogućnost uređivanja izgleda radne površine, krojnih dijelova, 3D modela tijela i njegove pozadine, fontova i sl., kako bi se što bolje snalazio u programu tijekom rada. Svi izbornici su pomični te omogućuju kreiranje osobnog radnog okruženja. U programu su ikone i alati organizirani prema funkcionalnosti. Na sl. 20 prikazan je izgled sučelja programa.

Na glavnoj alatnoj traci se nalaze izbornici koji sadrže sve operacije koje su potrebne za konstrukciju i modeliranje, uređivanje, pohranjivanje i 3D simulaciju krojnih dijelova odjevnog predmeta, sl. 21. Ispod glavnog izbornika nalaze se slikovne ikone alatnih traka koje

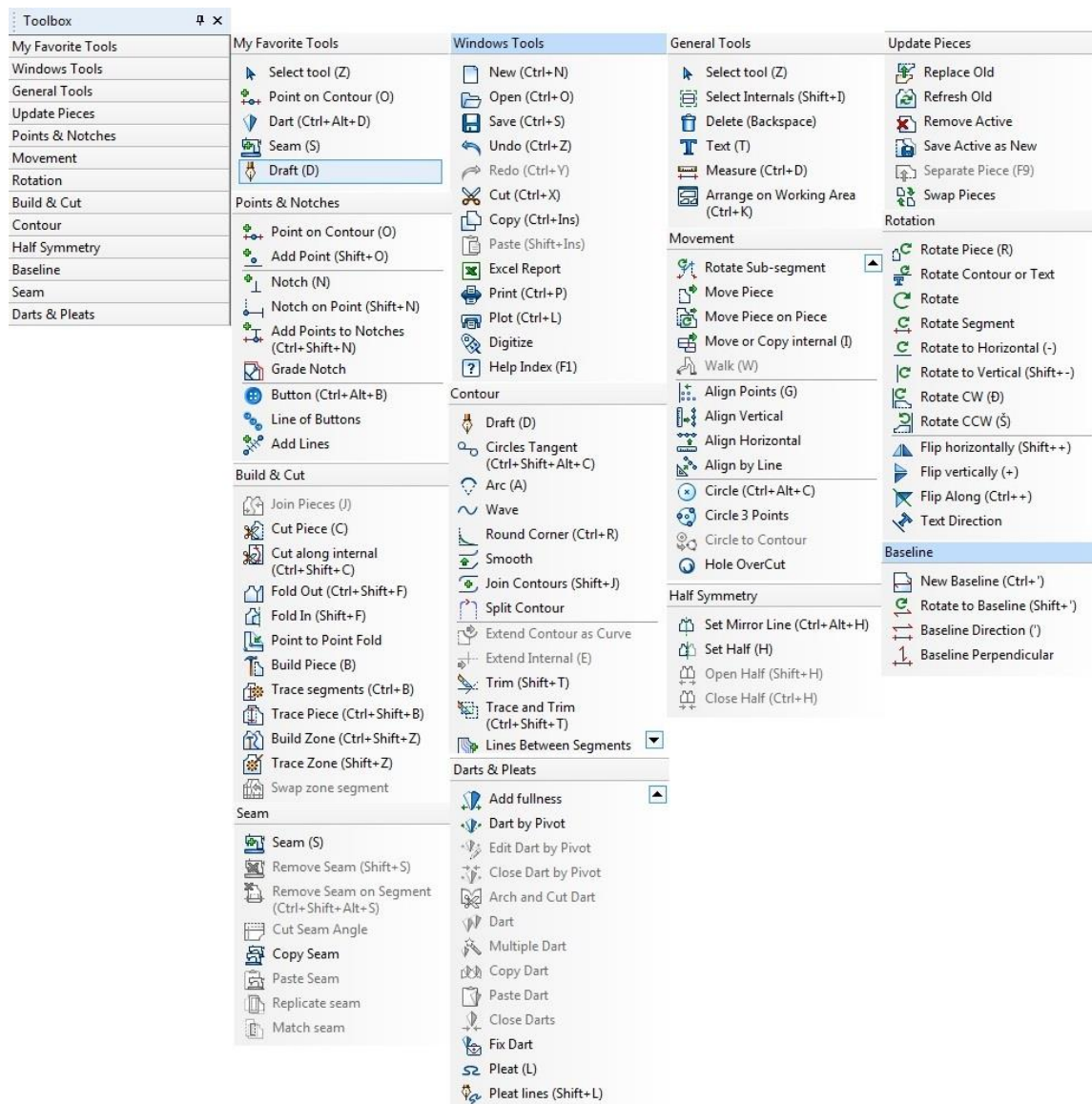
su organizirane kako bi omogućile lakše snalaženje u programu. Korisnik prema želji i potrebama mijenja položaje tih ikona na alatnoj traci.



Sl.21 Padajući izbornici glavnog izbornika

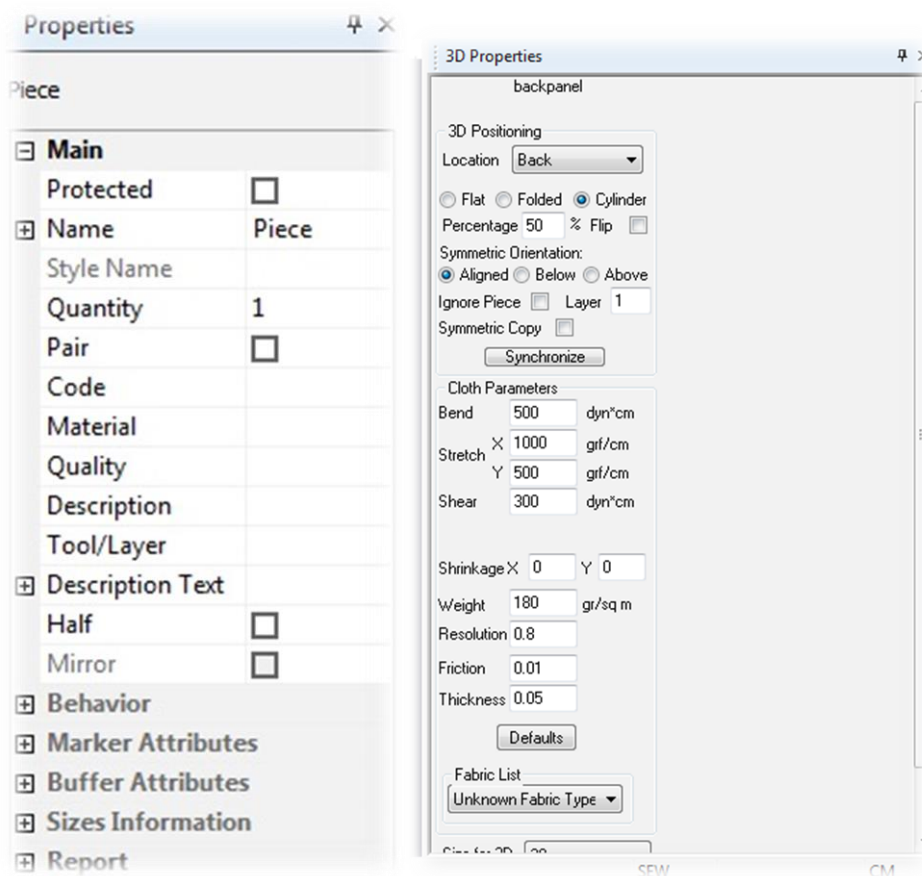
2.6.2. Konstrukcija, modeliranje i gradiranje krojnih dijelova primjenom PDS programa

PDS nudi niz sofisticiranih alata i funkcija koje omogućuju konstruiranje i modeliranje krojnih dijelova modela odjevnog predmeta, na način kako bi se što brže, bolje i kvalitetnije ispunili zahtjevi konstrukcijske pripreme, sl. 22. Svi potrebni alati grupirani su u posebne skupine prema funkcionalnosti, tako da su grupirane sve funkcije za rad s točkama, urezima, ušicama, naborima, konturom kroja, simetrijom, linijom osnove, šavovima, rotacijom, mjerenjima te gradiranjem krojnih dijelova.



Sl.22 Izbornik s alatima za konstrukciju i modeliranje

Prozor karakteristika dopušta korisniku promjenu karakteristika svakog krojnog dijela, točke, ureza ili unutrašnjeg elementa. U njemu je moguće promijeniti ime i karakteristike selektiranog elementa.



a)

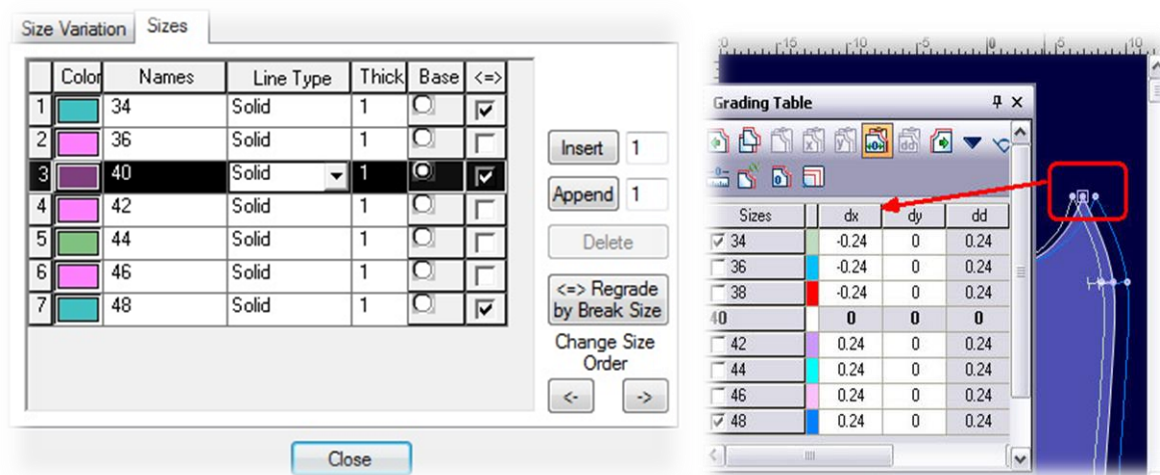
b)

Sl.23 a) 2D svojstva krojnih dijelova, b) 3D svojstva krojnih dijelova

Prozor modela odjevnog predmeta omogućava definiranje kvantitete i izrade svakog krojnog dijela, što je korisno u slučaju kada je određeni krojni dio potrebno više puta iskrojiti iz različitih tkanina, te omogućava selektiranje željenih krojnih dijelova radi kreiranja posebnog seta modela, sl. 23.

Gradiranje (povećavanje i smanjivanje) krojeva odjeće predstavlja postupak izrade niza veličina potrebnih za serijsku proizvodnju odjeće. Povećavanjem i smanjivanjem izrađuju se krojni dijelovi u svim veličinama za sve uzraste i razvijenosti tijela, te za sve vrste materijala koje su potrebne za izradu nekog odjevnog predmeta, koje su definirane u zadanom radnom nalogu za proizvodnju. Povećavanjem i smanjivanjem krojnih dijelova dobivaju se gradirani nizovi pojedinih krojnih dijelova koji služe kao osnova za izradu krojeva gradiranih veličina. Prije gradiranja je potrebno konstruirati temeljni kroj odjevnog predmeta, napraviti modeliranje, dodati šavne dodatke i porube, a po potrebi i konstruirati krojne dijelove za pomoćne materijale te izvršiti završnu kontrolu krojnih dijelova bazne odjevne veličine.

Gradiranje u PDS-u se izvodi metodom bazne veličine i razlike mjera. Nakon konstrukcije bazne odjevne veličine, ostale veličine se dobivaju mjerenjem odgovarajućih iznosa, koji ovise o odstupanjima u mjerama između određenih veličina na karakterističnim gradirnim točkama. Definirana pravila gradiranja se unose u tablicu gradiranja u smjeru x i y osi. Na sl. 24 prikazan je postupak gradiranja. U tablici veličina upisuje se željeni slijed gradiranih veličina, te se određuju bazna, najmanja i najveća veličina.



a)

b)

Sl.24 a) Tablica veličina, b) Tablica gradiranja

U glavnim točkama segmenata krojnih dijelova bazne veličine upisuju se pravila gradiranja po x i y osi, za svaku od gradirnih veličina. PDS nudi niz alata i funkcija koje nude brojna rješenja za gradiranje i korisniku olakšavaju rad s gradiranjem krojnog dijela odjevnog predmeta.

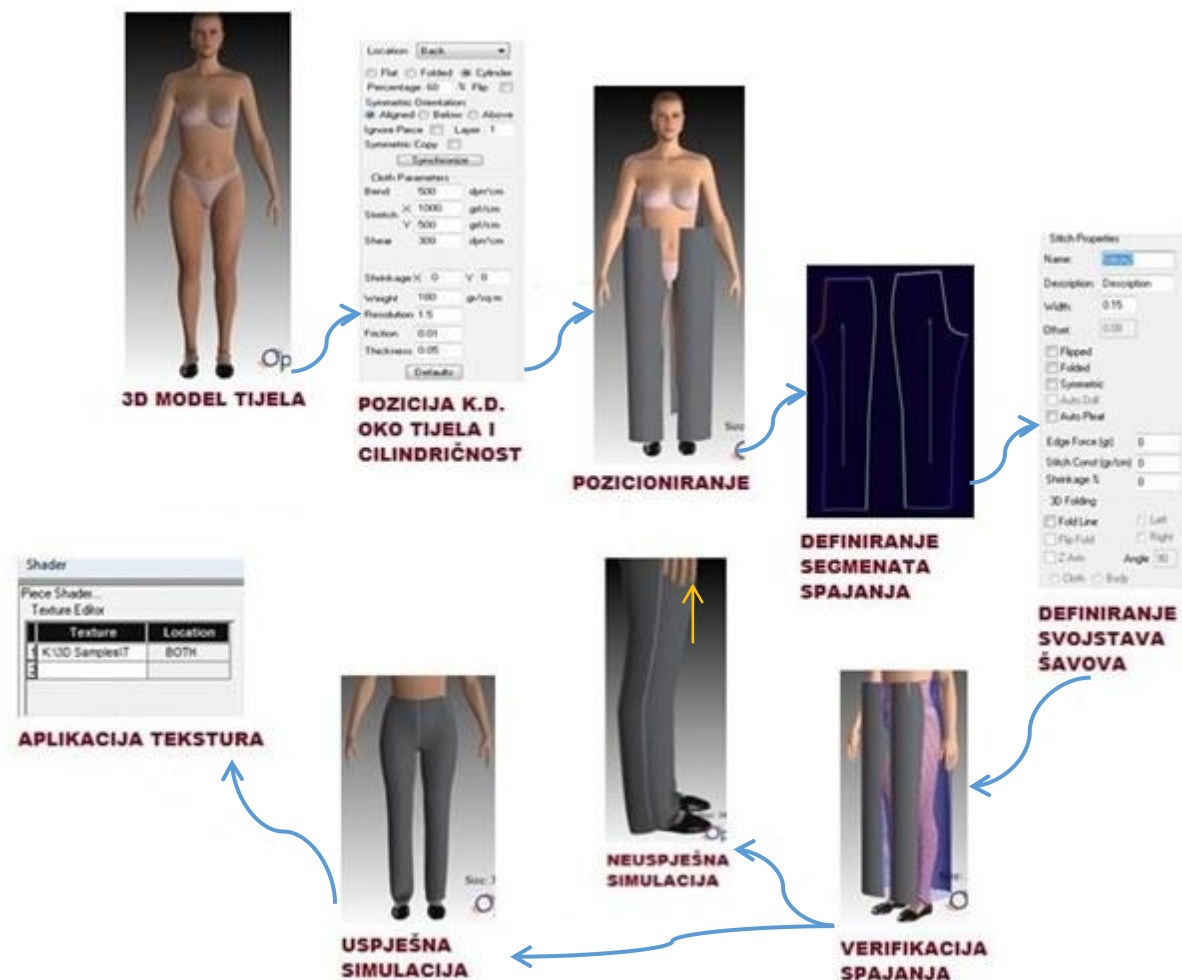
2.6.3. 3D Runway – program za 3D simulaciju odjeće

Interes za 3D simulacijom virtualnih odjevnih predmeta raste diljem svijeta, zbog sve veće želje za individualiziranim i prilagođenim modnim proizvodima i od strane proizvođača i od strane kupaca [42]. 3D Runway aplikacija služi za simulaciju spajanja krojnih dijelova i prikaz modela odjevnog predmeta u 3D obliku. 3D simulacija odjevnog predmeta omogućava vizualizaciju prototipa odjevnog predmeta te se na virtualnom 3D modelu tijela testira pristajalost odjevnog predmeta na tijelu. Prema dobivenim rezultatima, 2D kroj se može korigirati ili prihvatiti kao gotov model, za koji je uglavnom dovoljno izraditi jedan realni

prototip, sa svrhom verifikacije razvijenog računalnog prototipa, a prije početka serijske proizvodnje modela odjevnog predmeta.

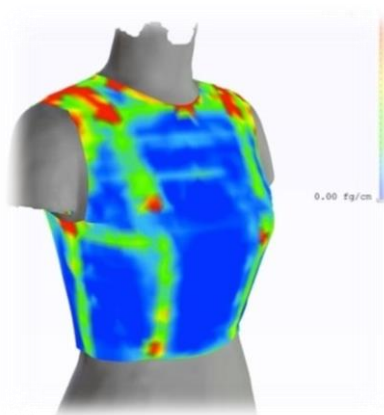
Kreiranje 3D prikaza modela iz 2D krojeva zahtijeva unos računalnog 3D modela tijela, te određivanje dodatnih informacija o krojnom dijelu kao što su podaci o šavovima, definiranje fizikalnih i mehaničkih svojstava materijala i tekstura, boja, uzoraka, širina šavova i sl. 2D krojevi se koriste za simulaciju te mogu biti konstruirani u programu ili uneseni iz nekog drugog CAD programa.

Na 2D kroju je potrebno dodati ureze, smjer linije osnove, definirati tip materijala i teksturu. U 3D svojstvima potrebno je odrediti poziciju krojnog dijela spram tijela, simetričnost, cilindričnost. Nakon određivanja navedenih podataka otvara se 3D model gdje se kroj odjevnog predmeta pozicionira naspram 3D modela tijela i provjerava položaj svakog krojnog dijela s obzirom na druge krojne dijelove i s obzirom na tijelo. Kada su krojni dijelovi pravilno pozicionirani može započeti 3D simulacija, čime se postiže vizualizacija kroja odjevnog predmeta na virtualnom 3D modelu tijela, sl. 25. Na taj način konstruktor može prilagođavati kroj ponavljanjem simulacije dok ne postigne željeni rezultat. Kako bi simulacija bila uspješna, potrebno je označiti koji će segmenti konture krojnog dijela biti spojeni zajedno, od prve do posljednje točke u smjeru kretanja kazaljke na satu. Nakon spajanja svih potrebnih segmenata, potrebno je provjeriti označene povezane šavove i započeti simulaciju.



Sl.25 Procesni krug 3D simulacije

Nakon izvedene 3D simulacije modela, sa svrhom analize pristajalosti i provjere komocije kroja, može se koristiti jedna od tzv. mapa napreznanja ili istezanja (*eng. Tension map*), sl. 26.

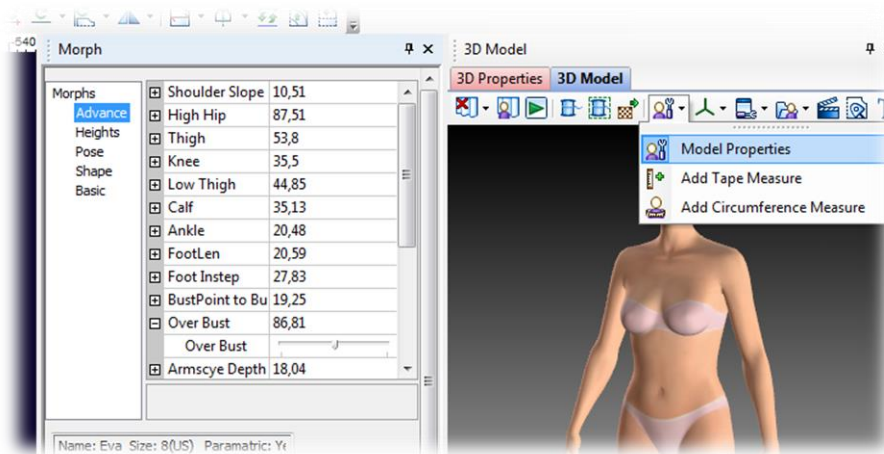


Sl.26 Prikaz simuliranog odjevnog predmeta u "TensionMap" prikazu

Koristeći mapu naprežanja moguće je vidjeti na kojim mjestima odjevni predmet pravilno pristaje uz tijelo i pruža osjećaj udobnosti, a gdje je prevelik pritisak na tijelo i gdje bi mogao otežavati kretanje.

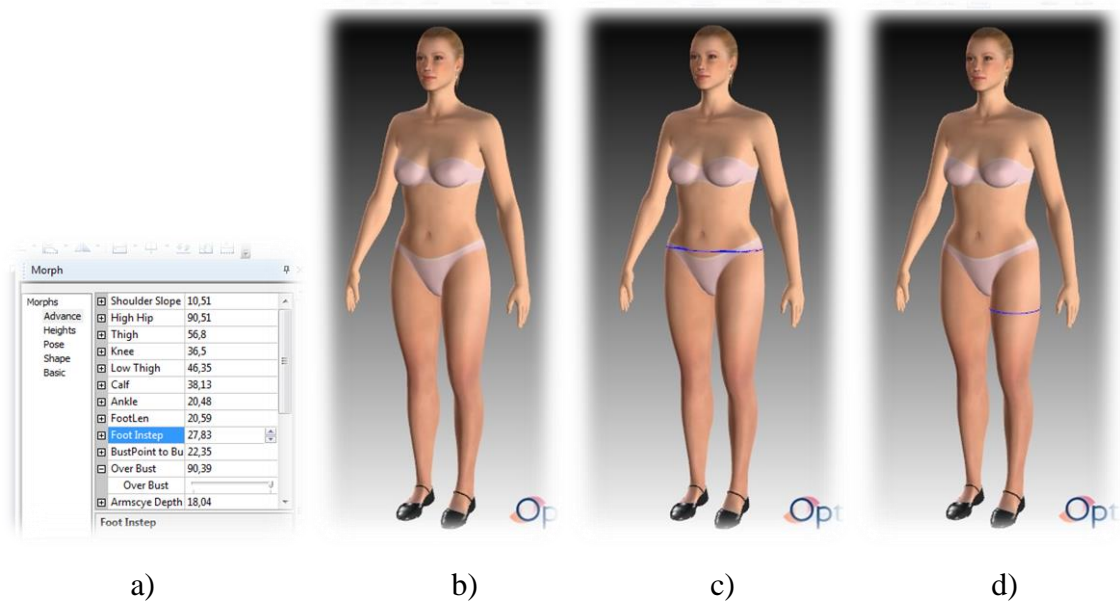
2.6.3.1. Računalni parametarski model tijela

3D Runway se koristi za virtualno prikazivanje 3D modela odjevnih predmeta na 3D parametarskom modelu ljudskog tijela koji se u prozoru karakteristika tjelesnih mjera može prilagoditi prema željenim tjelesnim mjerama. Otvaranjem izbornika "Model properties" i izbornika "Morphs" nude se segmenti tijela koji se mogu mijenjati na avataru, sl. 27.



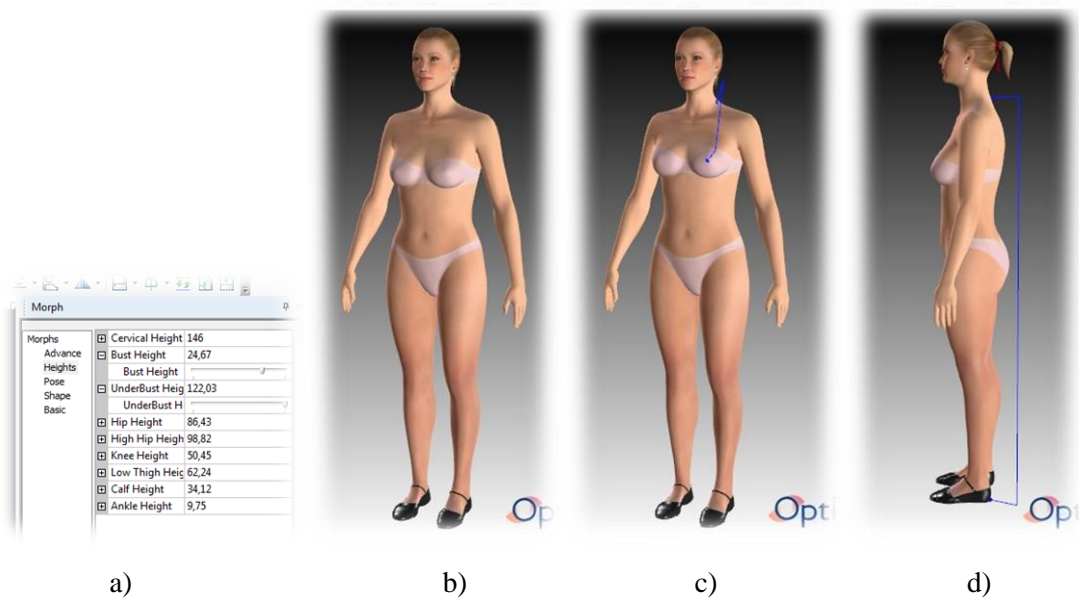
Sl.27 Prikaz izbornika "Model Properties"

CAD sustav sadrži parametarske modele dječjeg, muškog i ženskog tijela koji se mogu prilagođavati prema setovima mjera koje su sustavno organizirane u nekoliko skupina: osnovne mjere, izvedene mjere i mjere karakterističnih duljina. Uz navedene mjere moguće je odrediti držanje i položaj tijela te dodatne detalje na modelu tijela kao što su obuća, okolina i dr. Izbornik "Advance" nudi prilagodbu tijela prema željenim segmentima, npr.: nagib ramena, visina bokova, debljina bedra, sl. 28 i 29.



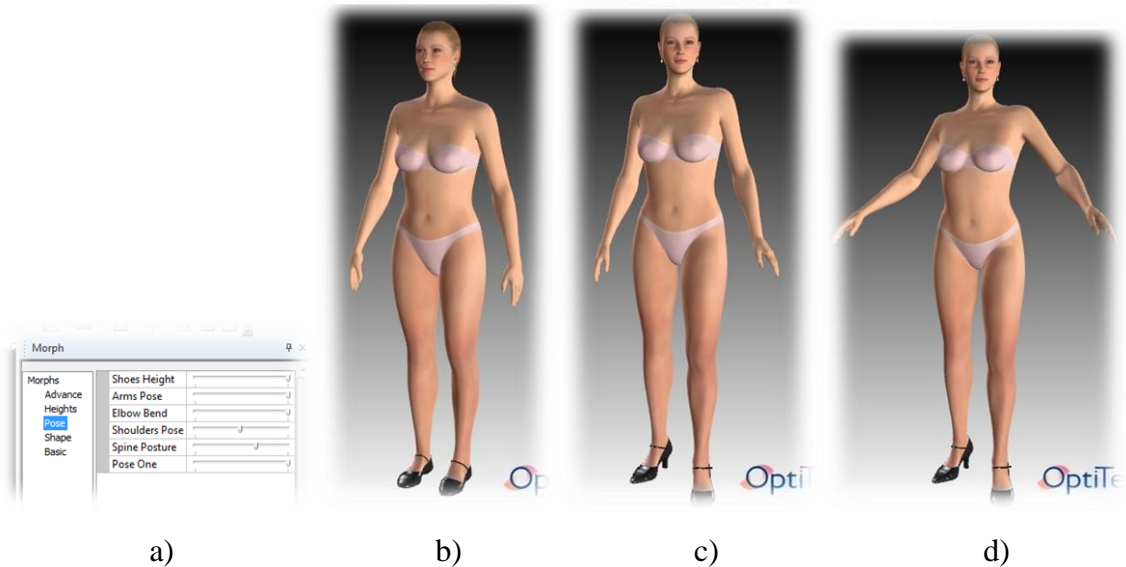
Sl.28 a) Prikaz izbornika "Advance" b) prikaz avatara sa nepromijenjenim mjerama, c) prikaz avatara sa promijenjenim opsegom niskog struka i d) prikaz avatara sa promijenjenim opsegom na liniji bedara

Izbornik "Heights" nudi prilagodbu po segmentima visina vrata, visina grudi, visina bokova.



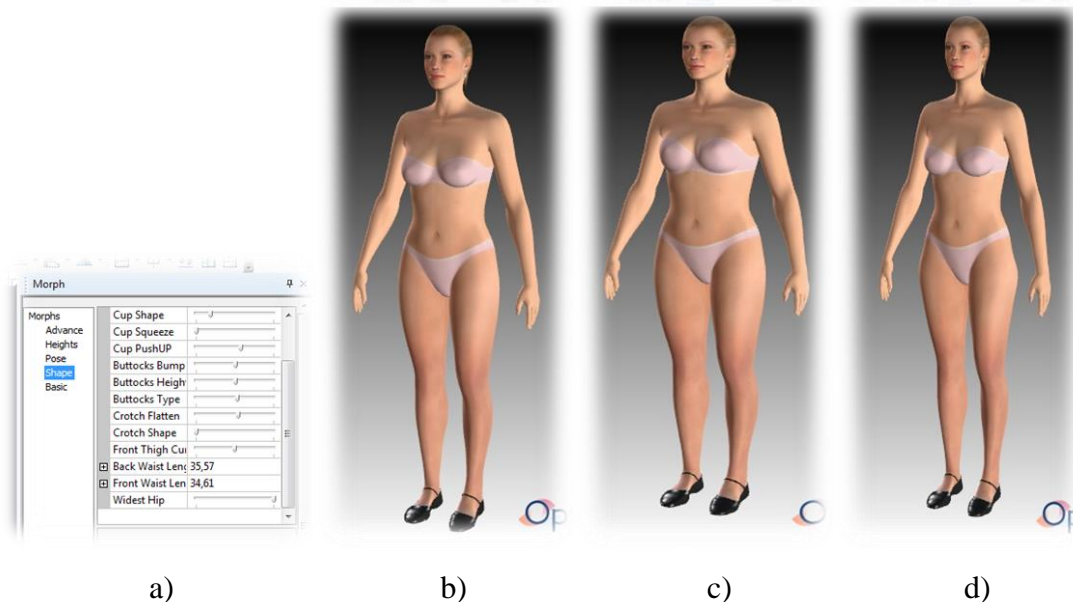
Sl.29 a) Prikaz izbornika "Heights", b) prikaz avatara sa nepromijenjenim mjerama, c) prikaz avatara sa promijenjenom visinom grudi i d) prikaz avatara sa promijenjenom visinom sedmog vratnog kralješka

Izbornik "Pose" nudi izbor odgovarajućih položaja za svaki dio tijela zasebno, visina potpetice, pozicija ruke, pozicija podlaktice i sl., sl. 30.



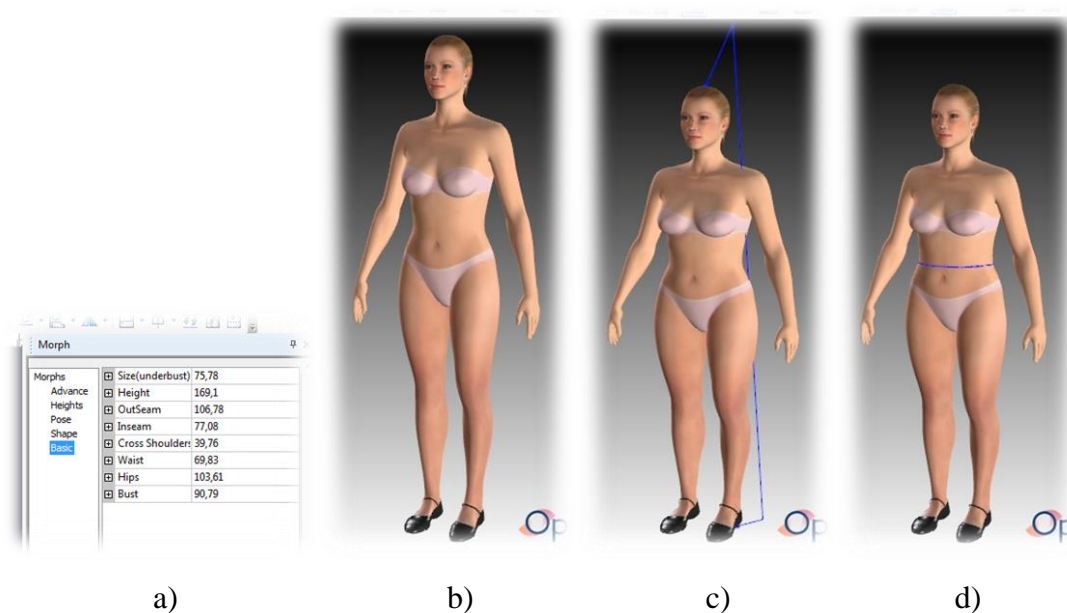
Sl.30 a) Prikaz izbornika "Pose", b) prikaz avatara u standardnom položaju, c)) prikaz avatara u iskoraku i d) prikaz avatara u iskoraku s podignutim podlakticama

Izbornik "Shape" nudi izbor oblika određenih segmenata tijela, kao što su oblik grudi, oblik stražnjice, oblik duljine struka i sl., sl. 31.



Sl.31 a) Prikaz izbornika "Shape", b) prikaz avatara sa nepromijenjenim mjerama, c) prikaz avatara sa promijenjenim oblikom grudi, opsegom bokova i d) prikaz avatara sa promijenjenim oblikom grudi, opsegom bokova i oblikom prepona

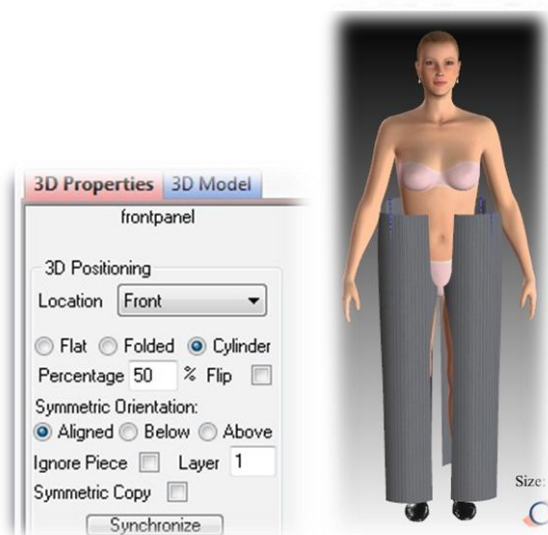
Izbornik "Basic" nudi promjenu parametara kao što su: tjelesna visina, duljina koraka, širina ramena, opseg grudi, opseg struka, opseg bokova, itd., sl. 32.



Sl.32 a) Prikaz izbornika "Basic", b) prikaz avatara sa nepromijenjenim mjerama, c) prikaz avatara sa promijenjenom tjelesnom visinom i d) prikaz avatara sa promijenjenim opsegom struka

2.6.3.2. Parametri krojnih dijelova i pozicioniranje

3D pozicioniranje je postupak postavljanja krojnih dijelova u virtualnom prostoru naspram 3D modela tijela. Za svaki krojni dio potrebno je definirati parametre 3D pozicioniranja u prozoru 3D karakteristika, sl. 33. Za svaki krojni dio određuje se postotak savijanja krojnog dijela, odnosno cilindričnost (u %) ili ima pregib (u %), orijentacija simetrije, redni broj sloja u odnosu na tijelo kada postoji podstava i međupodstava, džepovi i slični dodaci.



a)

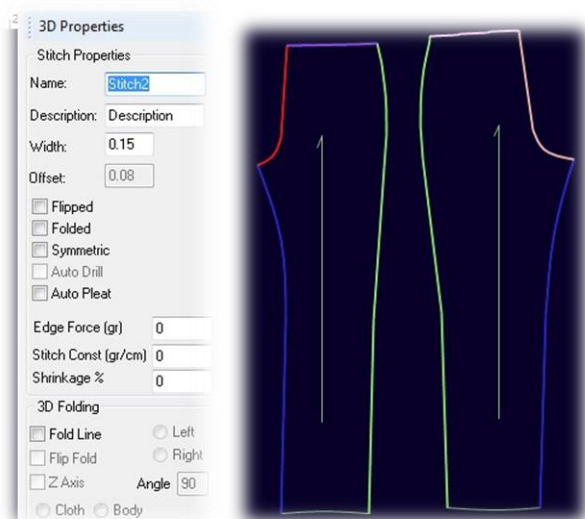
b)

Sl.33 a) Prikaz izbornika "3D Properties", b) pozicioniranje krojnih dijelova oko avatara

Određeni parametri uvelike utječu na uspješnost simulacije iz 2D krojnih dijelova u gotov 3D model odjevnog predmeta. Nakon definiranja parametara i pozicioniranja krojnih dijelova spram tijela, simulacija može započeti.

2.6.3.3. Parametri segmenata koji se spajaju

Nakon definiranih segmenata kontura krojnih dijelova koji se spajaju, označavanjem svakog šava prikazuje se njegov "par" kod 3D simulacije odjevnog predmeta u programu 3D Runway. Prije pokretanja procesa simulacije, potrebno je izvršiti provjeru definiranih spojenih segmenata krojnih dijelova, kako ne bi došlo do križanja šavova pri spajanju, sl 34 i 35. U prozoru 3D karakteristika, za svaki označeni šav je moguće mijenjati njegove karakteristike i parametre. Pod karakteristikama šava upisuje se ime šava, kratak opis i širina šava (pri tome treba uzeti u obzir da automatski zadana širina iznosi 0,15 cm u programu), smjer šava, definiranje šava kao prijevoj, što se koristi za označavanje šavova poput nabora, zaglačanih linija ili ga se može odrediti kao simetričnog.



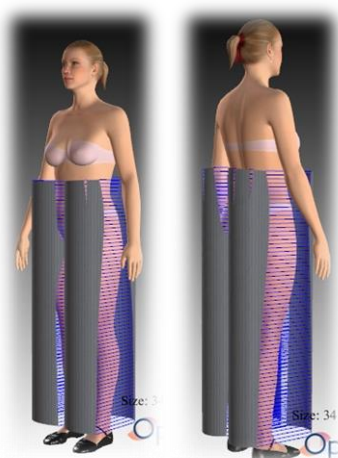
a)

b)

Sl.34 a) Prikaz izbornika "Stitch Properties", b) krojni dijelovi s označenim segmentima spajanja

Vrijednost granične sile označava silu koja djeluje na materijal u smjeru osnove (g). Direktno je povezana s mehaničkim svojstvima materijala kao što su savojna krutost, a njena promjena utječe na simulaciju. Što je veća vrijednost savojne krutosti, raste vrijednost granične sile, čiji raspon se kreće od 0 do 5.

Konstanta šava (g/cm) označava vrijednost koja je namijenjena održavanju originalne duljine šava. Što je vrijednost veća, to je šav manje rastezljiv tijekom simulacije. Raspon vrijednosti se zadaje u ovisnosti o istežljivosti materijala, a kreće se od 0 do 400. Skupljanje šava označava iznos skupljanja duljine šava (%).



Sl.35 Prikaz pravilno označenih segmenata spajanja krojnih dijelova

2.6.3.4. Parametri mehaničkih svojstava materijala

Parametri mehaničkih svojstava materijala sadrže informacije o ponašanju materijala odnosno vrijednostima karakteristika tkanine kojima se definira svaki pojedinačni materijal. U bazi podataka CAD sustava postoji gotov popis različitih tkanina koje se mogu primijeniti na krojnim dijelovima, gdje svaki materijal sadrži svoj set vrijednosti parametara mehaničkih svojstava. Ukoliko zadane vrijednosti ne odgovaraju željenom materijalu, vrijednosti je moguće ručno upisati i prilagoditi u prozoru uređivanja materijala ili 3D karakteristikama krojnih dijelova, sl. 36.

Parametri mehaničkih svojstava koji se upisuju:

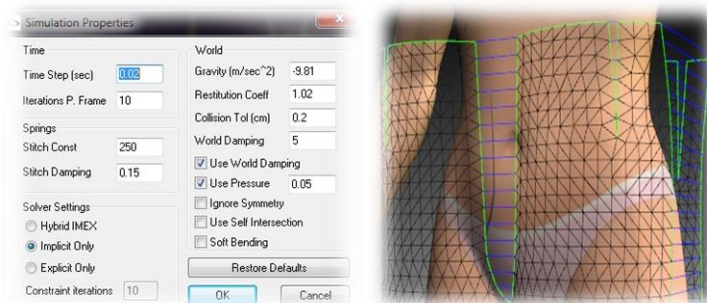
- 1) savojna krutost / bend
- 2) istezanje materijala / stretch
- 3) smična krutost / shear
- 4) skupljanje materijala / shrinkage
- 5) rastezljivost / resolution
- 6) plošna masa materijala / weight
- 7) debljina tkanine / thickness
- 8) površinsko trenje / friction



Sl.36 Prikaz izbornika "Cloth Parameters"

2.6.3.5. Karakteristike poligonalnog 3D modela odjevnog predmeta

3D prikaz krojnog dijela sastavljen je od mreže poligona. Ona je sačinjena od međusobno povezanih trokuta koji definiraju površinu krojnih dijelova pri 3D simulaciji. Broj trokuta od kojih se sastoji mreža poligona definira se u polju rezolucije u prozoru 3D karakteristika. Rezolucija određuje veličinu stranica trokuta u cm. Kod visoke vrijednosti rezolucije mreža poligona je gušća te je prema tome veća točnost prikaza kompleksnih zakrivljenih linija i nabora na krojnim dijelovima, sl. 37. Manja vrijednost rezolucije se može definirati kod jednostavnijih krojnih dijelova koji prate liniju tijela. Veća rezolucija simulirani materijal vizualno čini laganim te ima ljepši pad, a smanjenjem vrijednosti materijal se doima krućim. Većinom je rezolucija od 0.4-2.0 dovoljna za kvalitetnu simulaciju.



a)

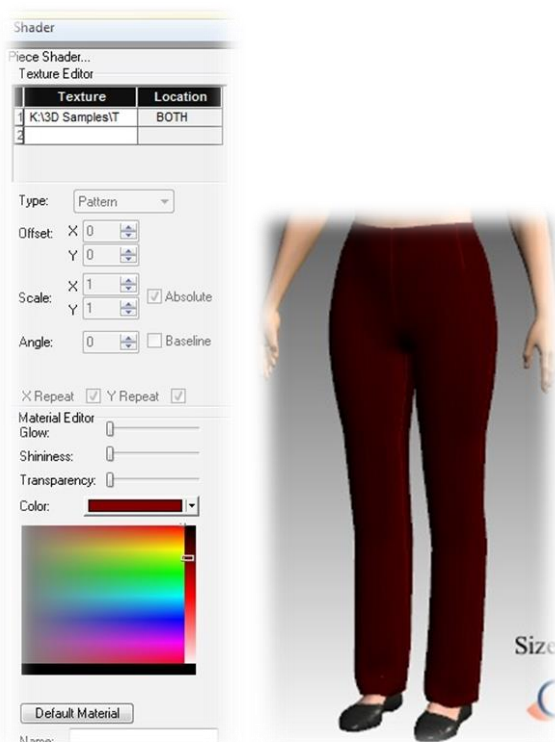
b)

Sl.37 a) Prikaz izbornika "Simulation Properties", b) Prikaz mreže poligona na krojnom dijelu

2.6.3.6. Aplikacija boja i tekstura materijala te šavova na krojne dijelove

Optitex 3D Runway program pruža mogućnost dodavanja tekstura i boja na materijale i šavove krojnih dijelova. Tako se dobiva realističniji izgled gotovog odjevnog predmeta.

U 3D prozoru Shader može se unijeti željena tekstura na materijal i pozicionirati ju preko krojnog dijela. Također se može odabrati jednobojan materijal. Isto tako je moguće promijeniti boju šavova krojnih dijelova. Također, podešava se sjaj i transparentnost željenog intenziteta, sl. 38.



Sl.38 Prikaz izbornika "Shader"

2.6.4. Analiza pristajalosti računalnog prototipa odjevnog predmeta

Nakon izvedenih koraka do 3D simulacije, te nakon uspješno izvedene simulacije, sl. 38, može se nastaviti računalna analiza pristajalosti krojnih dijelova i odjevnog predmeta na avataru prema standardnim ili prilagođenim mjerama.

2.6.4.1. Utvrđivanje komocije metodom presijecanja poprečnim ravninama

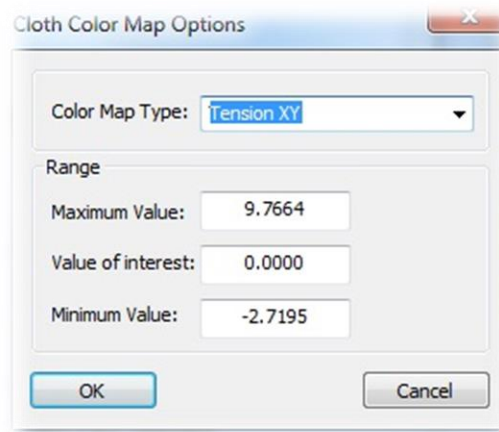
Alatom "Add Circumference Measure", dostupni su podaci o vrijednostima opsega tijela i opsega simuliranog modela odjevnog predmeta oko tijela na određenom poprečnom presjeku na modelu. Mjeriti se može na bilo kojem mjestu na tijelu, jednostavnim pomicanjem ravnina koje presijecaju model kako bi se izračunao vanjski i unutarnji opseg, sl. 39.



Sl.39 Prikaz alata "Circumference measure" na 3D modelu

2.6.4.2. Analiza naprezanja računalnog prototipa primjenom alata Tension xy

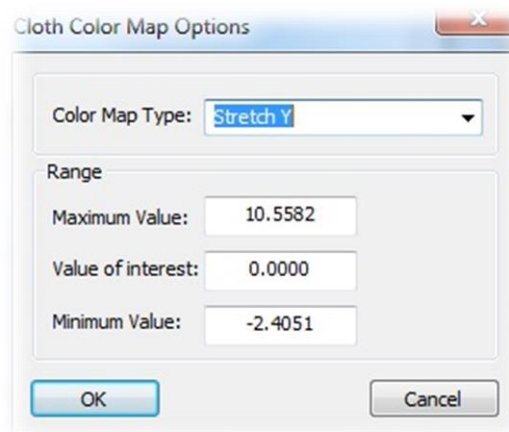
Primjenom alata "Tension xy" analizira se naprezanje tkanine u smjeru osnove i/ili potke, sl. 40.



Sl.40 Prikaz izbornika alata naprezanja

2.6.4.3. Analiza istežanja računalnog prototipa modela primjenom alata Stretch (y)

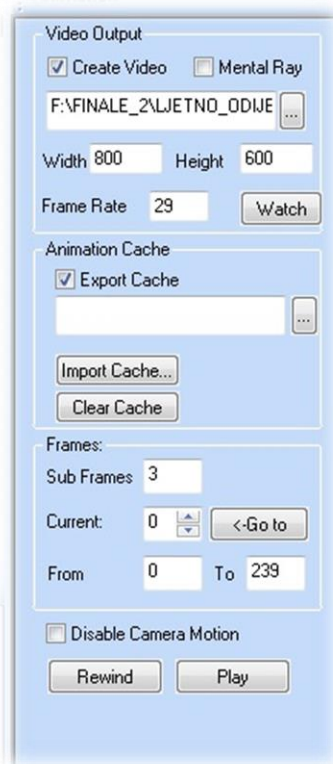
Primjenom alata "Stretch" analizira se istežanje tkanine na računalnom prototipu odjevnog predmeta simuliranog na avataru ili 3D skeniranom modelu tijela. Analizira se istežanje u smjeru osnove ili potke, sl. 41.



Sl.41 Prikaz izbornika alata istežanja

2.6.4.4. Animacija 3D modela tijela i prototipa modela odjevnog predmeta

Odabirom odgovarajućeg animiranog avatara, pokreće se video koji je podijeljen na segmente, te ima mogućnost zaustavljanja pokreta u odabranom segmentu pokreta. Izbornik za definiranje parametara i pokretanje animacije modela prikazan je na sl. 42.



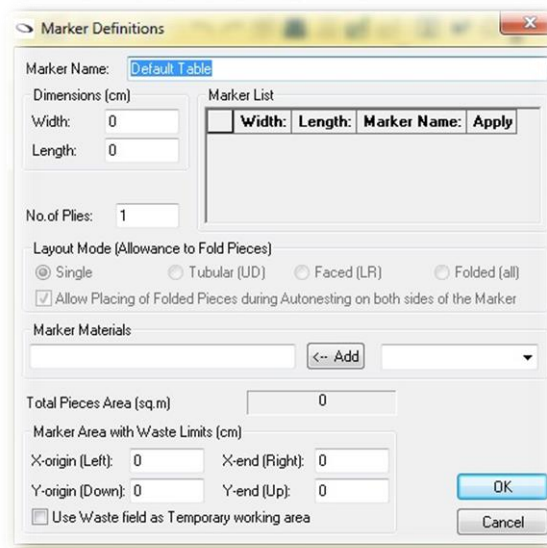
Sl.42 Prikaz izbornika za pokretanje animacije modela

2.6.5. Marker maker – program za izradu krojnih slika

Krojna slika je skup krojnih dijelova racionalno uklopljenih na papiru ili tkanini, odnosno u računalnom programu za uklapanje krojnih slika. Izrada krojnih slika u programu Marker Maker CAD sustava Optitex izvodi se pozivanjem modeliranih i gradiranih krojnih dijelova modela odjevnog predmeta iz programa PDS ili parametarskih modela prilagođenih po mjeri iz Modulate programa. Kod računalnog kreiranja i uklapanja krojnih slika bitno je ispuniti načelo optimalnog iskorištenja materijala i načelo smjera polaganja krojnih dijelova. Širina krojne slike ovisi o širini materijala, a duljina je ovisna o modelu, rasporedu krojnih dijelova, uvjetima uklapanja. U programu je potrebno definirati parametre krojne slike i svojstva krojnih dijelova koji se uklapaju.

2.6.5.1. Parametri krojne slike

Parametri krojne slike obuhvaćaju ime krojne slike, dimenzije (širinu i maksimalnu duljinu u cm), broj slojeva u krojnoj slici, tip krojne slike, materijal na kojem se iskrojava te međukrojni gubitak materijala, sl. 43.



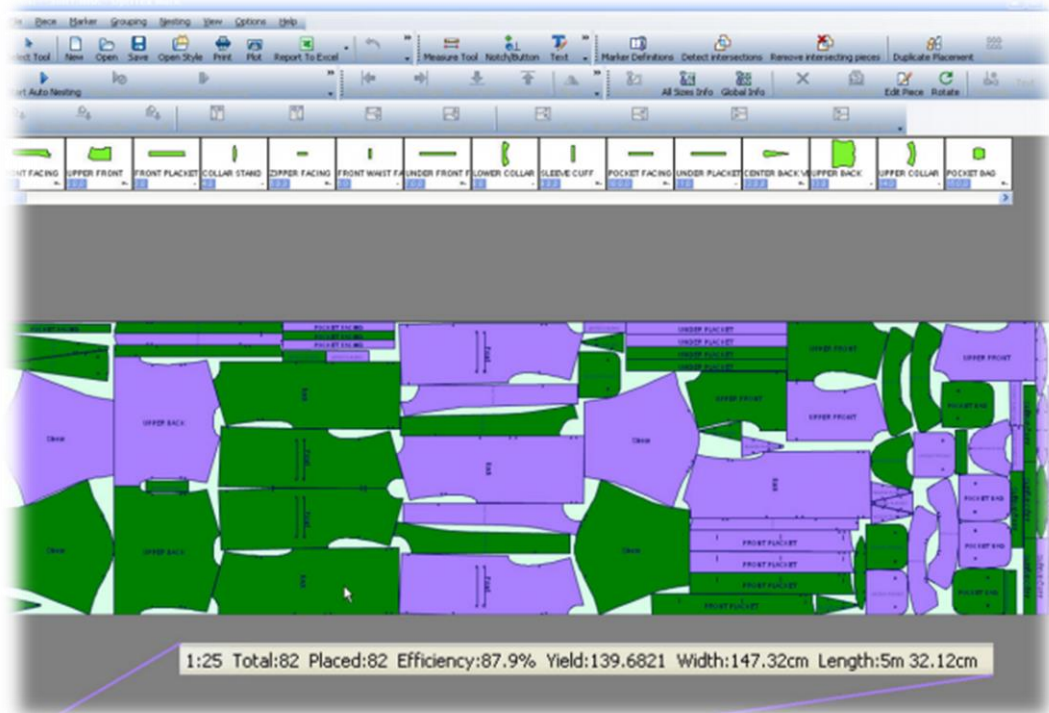
Sl.43 Prikaz izbornika "Marker Definitions"

2.6.5.2. Svojstva krojnih dijelova

Svojstva krojnih dijelova kao što su kod, materijal, količina, suprotnost i rotacija svakog krojnog dijela moguće je odrediti u programu PDS. Bitan parametar kod uklapanja krojne slike je sigurnosni razmak, koji se koristi za održavanje praznog prostora između svakog krojnog dijela kako bi se omogućilo lakše i kvalitetnije iskrojavanje krojne slike.

2.6.5.3. Grafički proces uklapanja krojne slike

Nakon definiranja parametara krojne slike i svojstava krojnih dijelova, slijedi grafički proces uklapanja krojne slike, sl. 44. On se izvodi interaktivno ili automatski u programu. Za uklapanje je bitno definirati duljinu i širinu krojne slike te kod automatskog uklapanja vrijeme uklapanja krojne slike. Nakon izvršenog uklapanja bitno je provjeriti iskoristivost krojne slike, kako bi se međukrojni gubitak sveo na minimum i postiglo optimalno iskorištenje materijala.



Sl.44 Krojna slika u programu Optitex Marker Maker

3. METODIKA RADA

Opći cilj ovog rada je istražiti mogućnosti računalne analize i ponašanja tekstilnih materijala različitih fizikalnih i mehaničkih svojstava, s aspekta naprezanja i istežanja na 3D prototipu modela u dinamičkim uvjetima, primjenom CAD sustava Optitex. Također, cilj je istražiti mogućnosti računalnog vrednovanja pritiska modela odjevnog tijela na tijelo u dinamičkim položajima tijela, sa svrhom procjene funkcionalnosti modela odjevnog predmeta, prije izrade realnog prototipa modela.

Kako bi se ostvarili ciljevi rada, nužno je provesti niz sustavno organiziranih aktivnosti:

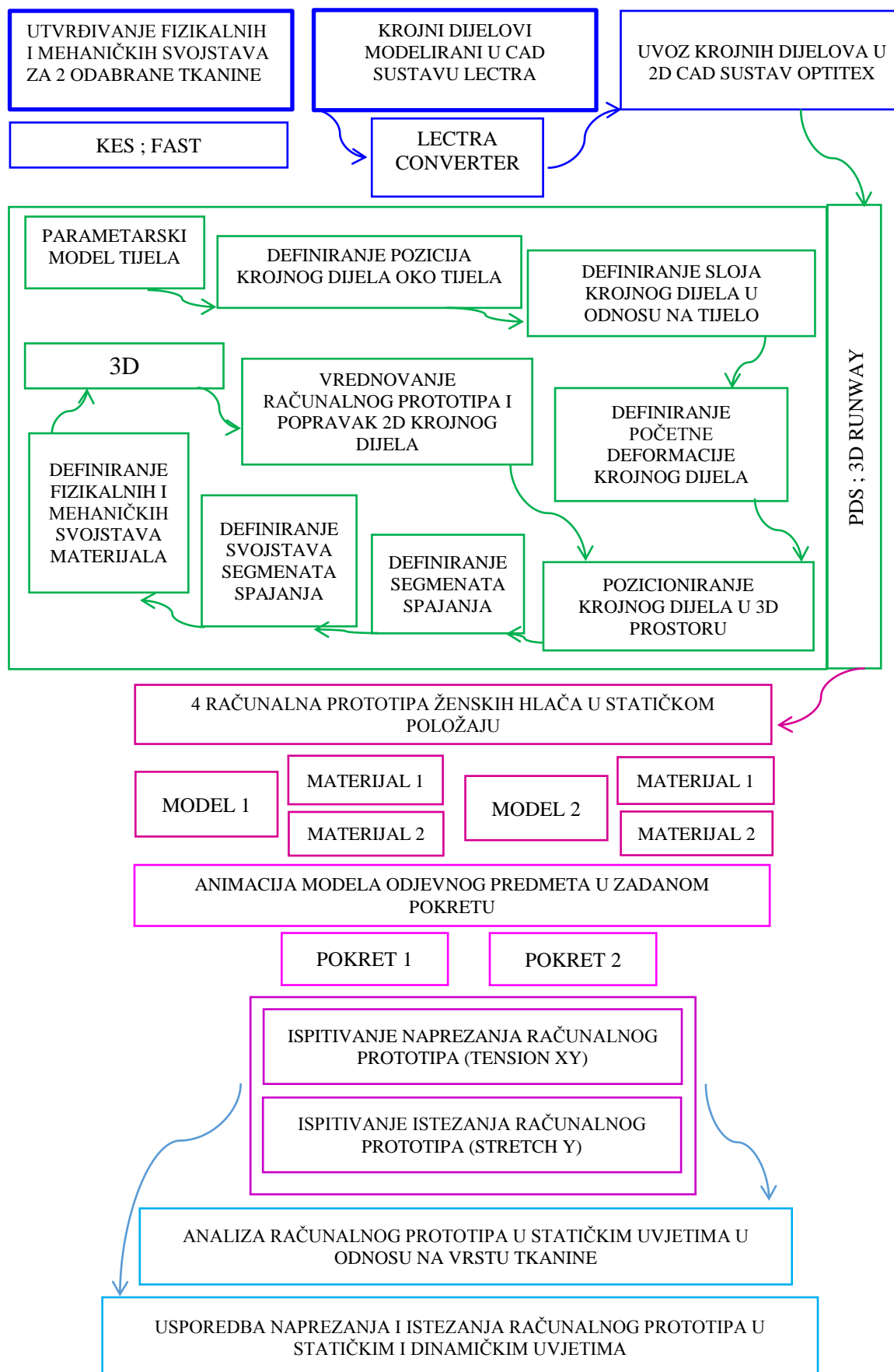
- Utvrđivanje fizikalnih i mehaničkih svojstava za dvije vrste materijala primjenom KES i FAST sustava za objektivno vrednovanje tekstila,
- Konvertiranje kroja modela ženskih hlača modeliranog u CAD sustavu Lectra u format zapisa primjeren za rad u CAD sustavu Optitex,
- Odabir i prilagodba parametarskog modela tijela za odabranu odjevnu veličinu ženske odjeće,
- Definiranje parametara krojnih dijelova i parametara 3D simulacije prototipa modela,
- Izvođenje računalne 3D simulacije modela,
- Analiza pristajalosti vizualiziranog 3D modela ženskih hlača s aspekta konstrukcije kroja i vrednovanja komocije u statičkom položaju tijela,
- Definiranje dinamičkih položaja tijela za analizu ponašanja tkanine i procjenu funkcionalnosti modela hlača,
- Animacija modela tijela i 3D modela odjevnog predmeta u definirane položaje tijela,
- Analiza pristajalosti računalnog prototipa, na temelju analize naprezanja (*Tension xy*) i istežanja (*Stretch y*) u određenim pokretima
- Analiza pristajalosti računalnog prototipa modela hlača na temelju analize pritiska (*Pressure*) u statičkom i dinamičkim uvjetima,
- Analiza pristajalosti realnog prototipa, na temelju analize pritiska (*Pressure*) u statičkom i dinamičkim uvjetima.

U skladu s navedenim segmentima procesa rada, na sl. 45. je prikazan cjelovit dijagram tijeka eksperimentalnog dijela rada.

Hipoteze istraživanja:

1. Računalnim mjerenjem naprezanja i istezanja simuliranog tekstilnog materijala na tijelu u statičkim i dinamičkim uvjetima, moguće je procijeniti funkcionalnost modela odjevnog predmeta s aspekta potrebne komocije kroja za odabrani tekstilni materijal.
2. Računalnim mjerenjem pritiska simuliranog 3D prototipa modela ženskih hlača na tijelo, moguće je objektivno procijeniti funkcionalnost modela ženskih hlača u dinamičkim položajima tijela, prije izrade realnog prototipa modela.

U skladu s prethodno navedenim aktivnostima i postavljenim hipotezama istraživanja, u sljedećoj točki je prikazan detaljan plan rada.



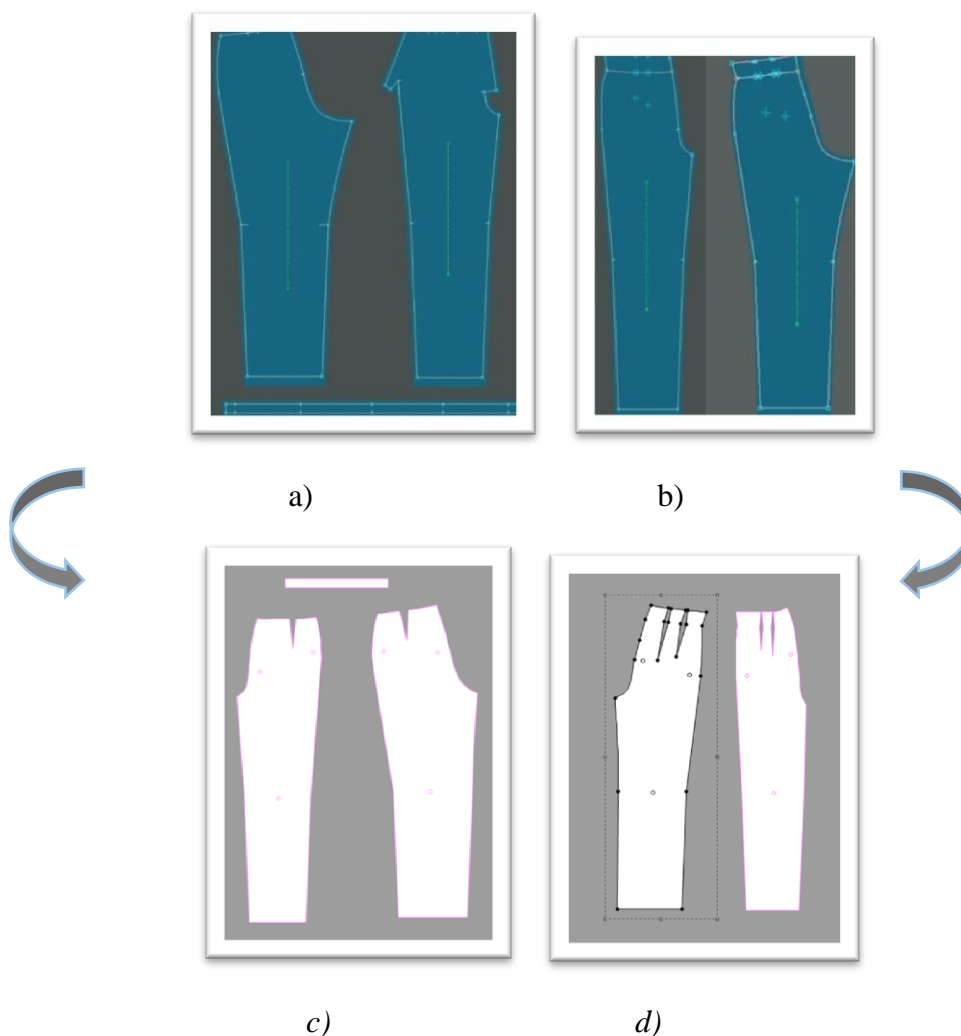
Sl.45 Dijagram tijeka eksperimentalnog dijela rada

4.EKSPERIMENTALNI DIO

4.1. Konvertiranje i uvoz kroja ženskih hlača iz CAD sustava Lectra u CAD sustav Optitex

Modelirani krojni dijelovi preuzeti su iz završnog rada *Modeliranje kolekcije ženskih hlača primjenom CAD sustava konstrukcijske pripreme* [43]. Uvoz 2D krojnih dijelova iz CAD sustava Lectra u CAD sustava Optitex, ostvaren je primjenom Lectra Convertora, pomoću kojeg je dokument konvertiran u format zapisa koji se može učitati u program Pattern Design System - PDS [31], sl. 46.

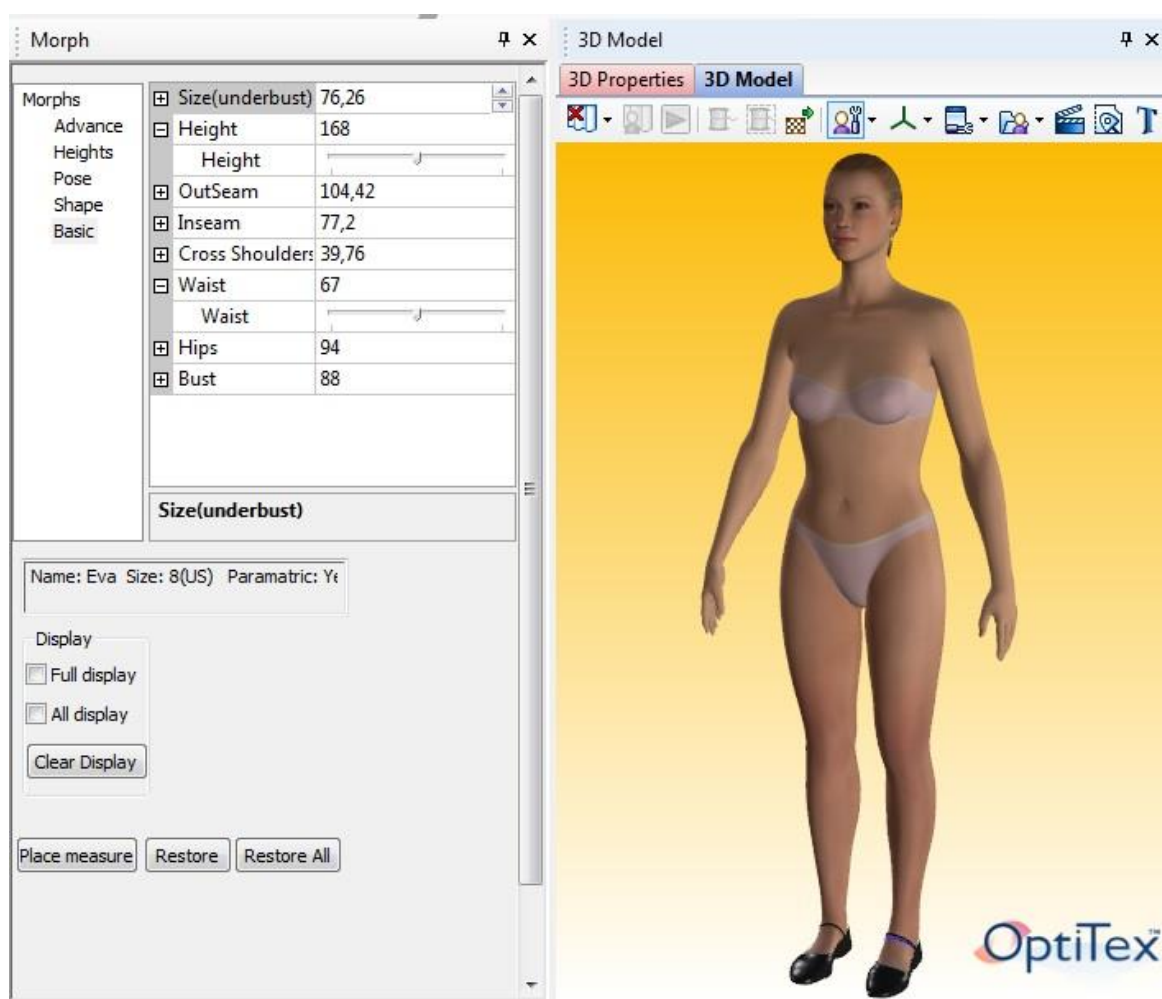
Nakon odabira potrebnih krojnih dijelova, provedena je kontrola prethodno izvedenog modeliranja te su pomoću alata u PDS programu krojni dijelovi dodatno korigirani, prikazanih u poglavlju 2.6.2.



Sl. 46 a) Kroj hlača 1 u Lectra CAD sustavu, b) kroj hlača 2 u Lectra CAD sustavu, c) kroj hlača 1 u PDS programu, d) kroj hlača 2 u PDS programu

4.2. Prilagodba parametarskog modela tijela za odabranu odjevnu veličinu

Kako bi se kroj modela odjevnog predmeta mogao računalno simulirati u 3D prototip modela, potrebno je na parametarskom modelu tijela koji je osnova za izvođenje 3D simulacije, prilagoditi tjelesne mjere za odabranu odjevnu veličinu ili prema individualnim mjerama osobe. Postavke za prilagodbu parametarskog modela tijela nalaze se u 3D izborniku programa PDS, pod izbornikom Model properties, sl. 47. Prilagodba parametarskog modela tijela ili avatara izvedena je prema mjerama za odjevnu veličinu 38.



Sl.47 Parametarski model ženskog tijela prilagođen za odjevnu veličinu 38

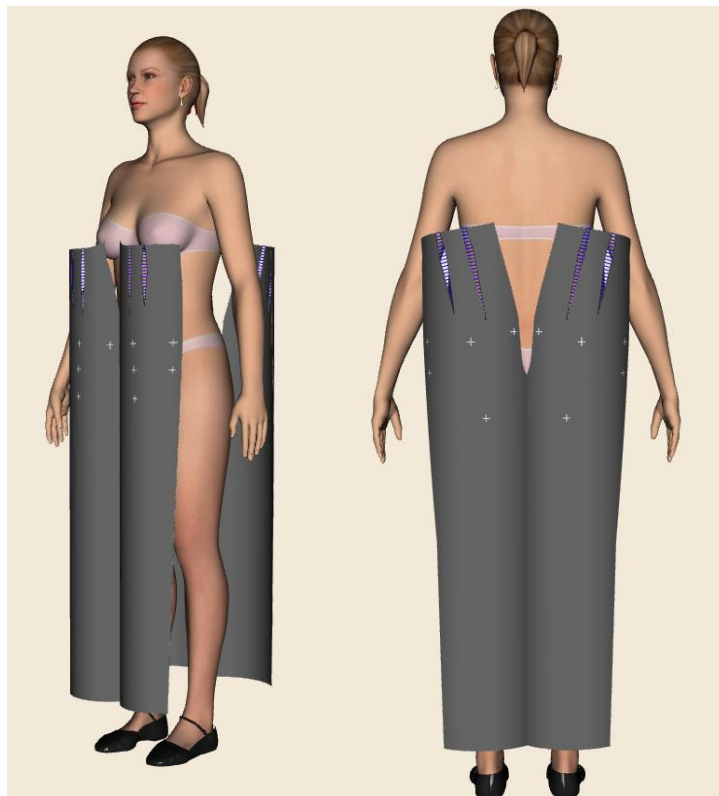
Program 3D Runway koristi četrdeset različitih tjelesnih mjera koje se mogu prilagođavati i međusobno kombinirati. Prilagođavanje mjera organizirano je po skupinama koje određuju osnovne mjere, izvedene mjere i mjere karakterističnih duljina. Model se također može prilagoditi prema načinu držanja tijela te prema određenom položaju tijela.

4.2.1. Utvrđivanje svih potrebnih parametara i izvođenje 3D simulacija modela ženskih hlača

Na svakom krojnom dijelu potrebno je definirati vrijednosti parametara potrebnih za izvođenje 3D simulacija modela hlača. Također je potrebno odrediti parametre materijala za koje se želi analizirati naprezanje i istezanje u statičkim i dinamičkim uvjetima na 3D simuliranom modelu. Potrebni parametri krojnog dijela i materijala prikazani su u poglavlju 2 pod točkom 2.6.3., a tijekom izvođenja 3D simulacije prikazan je na sl. 26.

4.2.2. Definiranje parametara krojnog dijela, početne deformacije i 3D pozicioniranje

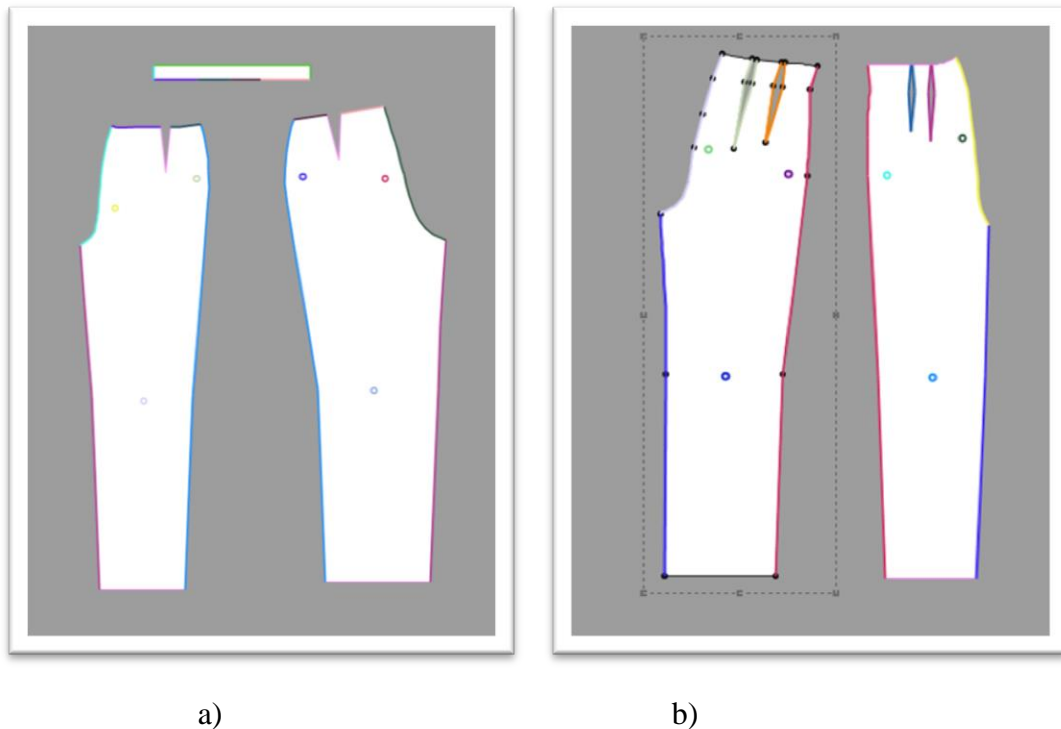
Svaki krojni dio ima određena svojstva u odnosu na poziciju na tijelu. Kod definiranja parametara krojnog dijela definira se pozicija krojnog dijela u odnosu na tijelo (Front, Back, Left, Right, Top, Bottom, ovisno o krojnom dijelu), te simetričnost. Potrebno je definirati postotak savijanja 2D krojnog dijela oko tijela tijekom računalne simulacije, odnosno za koji postotni iznos će se 2D krojni dio savinuti u cilindrični oblik, u izborniku prikazanom u poglavlju 2 pod točkom 2.6.3.2. Prije početka simulacije potrebno je odabrati prethodno ispitana mehanička svojstva materijala.



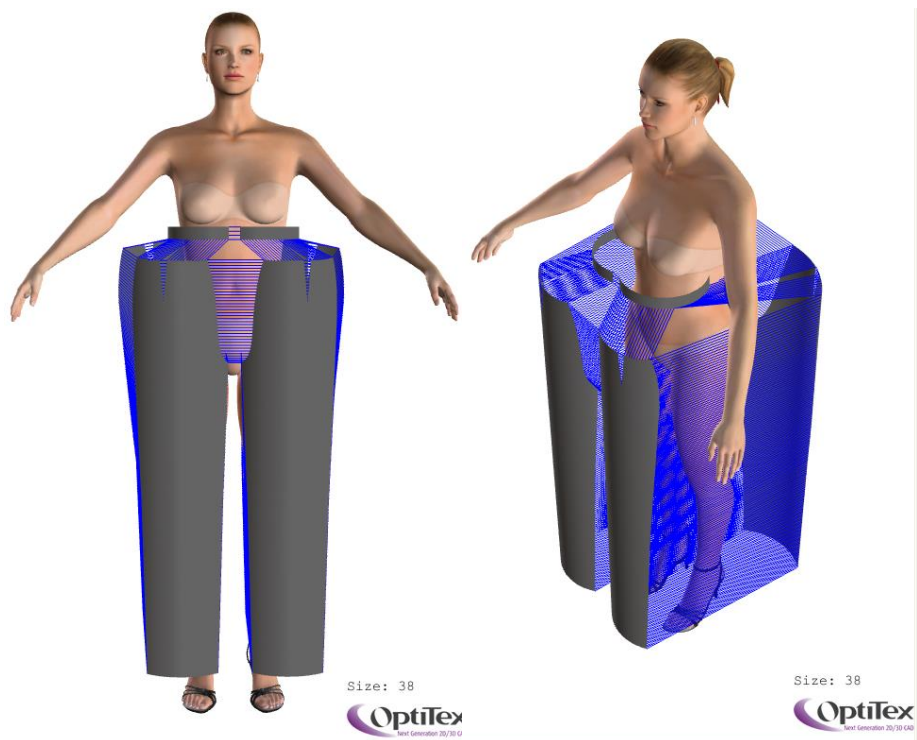
Sl.48 Pozicioniranje krojnih dijelova oko 3D modela tijela

4.2.3. Definiranje segmenata spajanja i njihovih svojstava

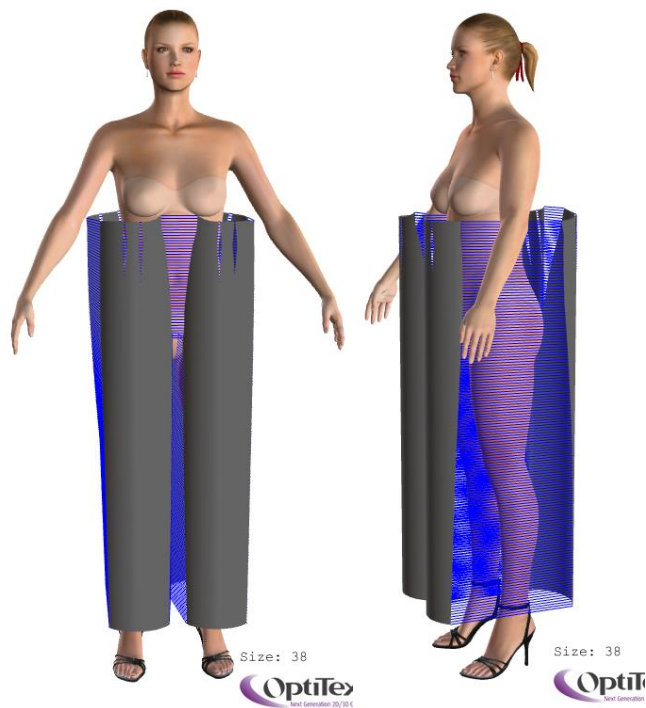
Postupak definiranja segmenata spajanja opisan je u poglavlju 2 pod točkom 2.6.3.3. Nakon definiranih segmenata kontura krojnih dijelova koji se spajaju, označavanjem svakog šava prikazuje se njegov "par" kod 3D simulacije, sl. 47. Prije pokretanja procesa simulacije, potrebno je izvršiti provjeru definiranih spojenih segmenata krojnih dijelova, sl. 49, 50 i 51. U prozoru 3D karakteristika, za svaki označeni šav je moguće mijenjati njegove karakteristike i parametre.



Sl.49 Segmenti spajanja na krojnim dijelovima: a)modela 1 ženskih hlača, b)modela 2 ženskih hlača



Sl.50 Verifikacija spajanja modela 1 odjevnog predmeta



Sl.51 Verifikacija spajanja modela 2 odjevnog predmeta

4.2.4. Definiranje parametara fizikalnih i mehaničkih svojstava tkanina

Prva tkanina odabrana za simulaciju je prema sirovinskom sastavu izrađena od 65% poliesterskog vlakna, 31% pamuka i 4% elastanskog vlakna. Objektivno vrednovanje tkanine izvedeno je primjenom FAST mjernog sustava. Karakteristična svojstva materijala su: savojna svojstva $B-1$ [μNm]10,9/ $B-2$ [μNm]5,9, vlačna svojstva $E100-1$ [%]3,5/ $E100-2$ [%]11,1, smična svojstva G [%] 41, kompresijska svojstva ST [mm] 0,12, površinska masa W [g/cm^2] 2,78, sl. 52.

Fabric Parameters	
Fabric List	C:\Program Files (x86)\OptiTex 11.5\Fabrics\m...
Select Fabric	Unknown Fabric Type
Bending	1090; 590 dyn*cm
X	1090
Y	590
Stretch	1098.9; 346.5 grf/cm
X	1098.9
Y	346.5
Shear	1230 grf/cm
Friction	0.01
Thickness	0.1 cm
Weight	278 gr/m^2
Shrinkage	0; 0 %
Pressure	0 psi
Cloth Volume	Calculate
Set Defaults	Defaults

Sl.52 Parametri tkanine 1

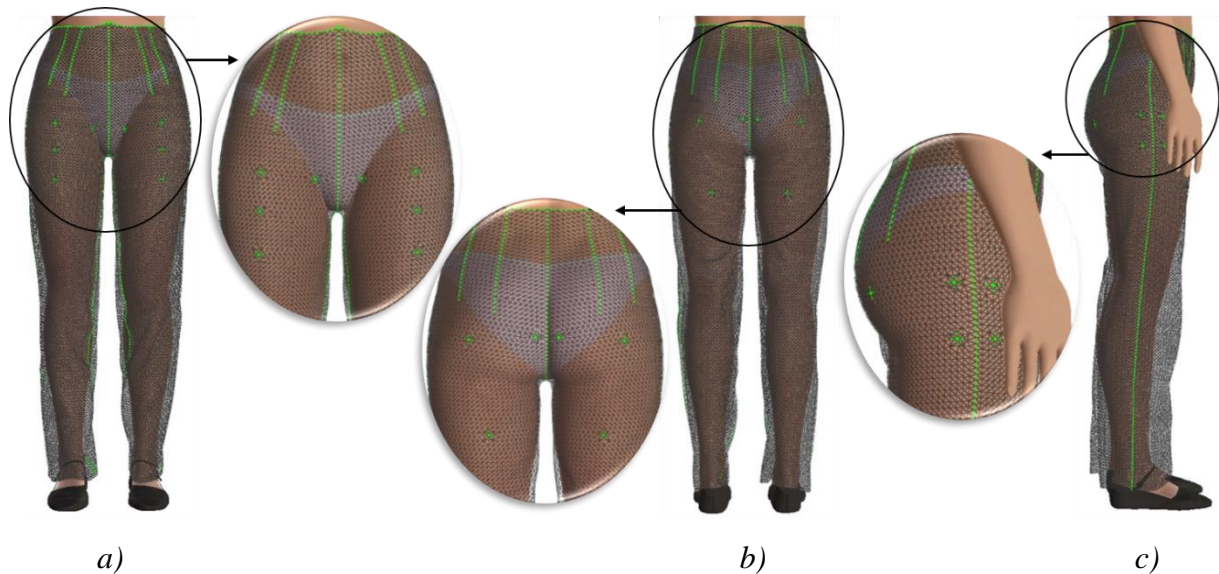
Druga tkanina odabrana za simulaciju je prema sirovinskom sastavu izrađena od 31% poliesterskog vlakna, 65% pamuka i 4% elastanskog vlakna. Karakteristična svojstva tkanine su: savojna svojstva $B-1$ [μNm]32,1/ $B-2$ [μNm]10,3, vlačna svojstva $E100-1$ [%]1,6/ $E100-2$ [%]10,6, smična svojstva G [%]60, kompresijska svojstva ST [mm] 0,23, površinska masa W [g/cm^2] 2,53, sl. 53.

Fabric Parameters	
Fabric List	C:\Program Files (x86)\OptiTex 11.5\Fabrics\m...
Select Fabric	Unknown Fabric Type
Bending	3210; 1030 dyn*cm
X	3210
Y	1030
Stretch	2401.84; 362.84 grf/cm
X	2401.84
Y	362.84
Shear	1800 grf/cm
Friction	0.02
Thickness	0.1 cm
Weight	253 gr/m^2
Shrinkage	0; 0 %
Pressure	0 psi
Cloth Volume	Calculate
Set Defaults	Defaults

Sl.53 Parametri tkanine 2

4.2.5. Izvođenje 3D simulacija i verifikacija računalnih prototipova utvrđivanjem komocije kroja modela odjevnog predmeta

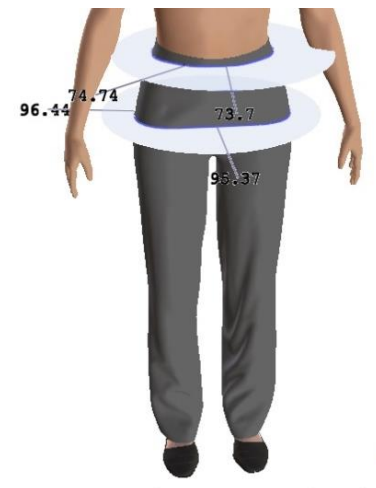
Za bolji prikaz 3D simulacije odjevnog predmeta, odabire se poligonalni prikaz krojnih dijelova na modelu, kako bi se istaknuo ljepši pad te uvidjele konstrukcijske pogreške, ako ih ima. Na sl. 54 dat je prikaz poligonalnih modela ženskih hlača.



Sl. 54 Poligonalni prikaz modela ženskih hlača s označenim mjernim točkama: a) prednja strana, b) stražnja strana i c) bočna strana

4.2.5.1. Utvrđivanje komocije kroja modela 1 odjevnog predmeta

Alati za utvrđivanje komocije prikazani su u poglavlju 2 pod točkom 2.6.4.1. Komocija je utvrđena prema izrazu: $Opseg\ odjevnog\ predmeta - Opseg\ tijela = Komocija$. Komocija na području struka iznosi 1cm, komocija na području Ob iznosi 1,07cm, sl. 55.

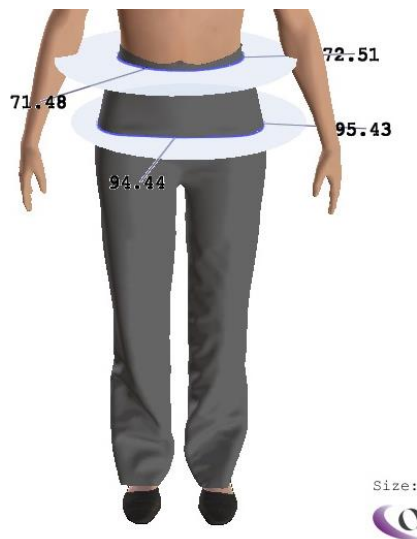


Sl.55 Prikaz utvrđivanja komocije na 3D modelu ženskih hlača 1

4.2.5.2. Utvrđivanje komocije kroja modela 2 odjevnog predmeta

Komocija je utvrđena prema izrazu: $Opseg\ odjevnog\ predmeta - Opseg\ tijela = Komocija$.

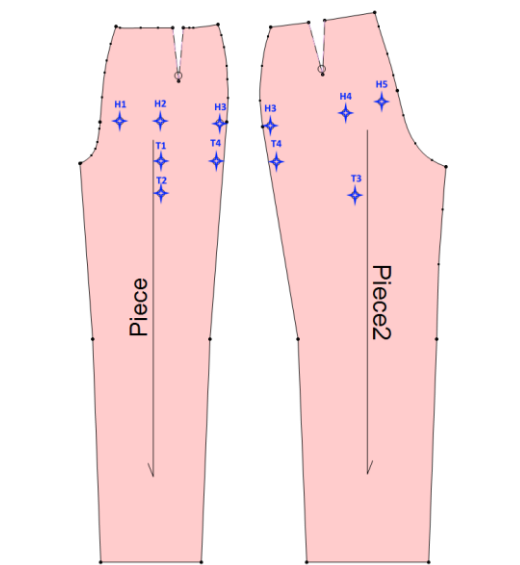
Komocija na području struka iznosi 1,03cm, komocija na području Ob iznosi 1cm, sl. 56.



Sl. 56 Prikaz utvrđivanja komocije na 3D modelu hlača 2

4.2.6. Definiranje mjernih točaka i pozicija markera za mjerenje napreznja i istežanja odjevnog predmeta na parametarskom modelu tijela

Za analizu pristajalosti, potrebno je definirati pozicije markera na kroju, sl. 57. U okviru eksperimentalnog dijela rada provedeno je računalno utvrđivanje vrijednosti napreznja i istežanja simuliranih tkanina na 3D modelu hlača, kako bi se mogla analizirati pristajalost modela u statičkom i dva dinamička položaja tijela. Pri tome je analiza napreznja i istežanja tkanine izvedena na pozicijama markera na tijelu u pokretu.



Sl.57 Pozicije markera na krojnim dijelovima

Tab. 8. Pozicije oznaka markera

OZNAKA MARKERA	POZICIJA NA KROJU/TIJELU
H1	PREDNJA SREDINA
H2	TROHANter
H3	BOČNI ŠAV
H4	GLUTEUSI
H5	STRAŽNJA SREDINA
T1	SREDINA BEDRA NA NAJVEĆEM Ob
T2	VRH BEDRENOG MIŠIĆA NA LINIJI OPSEGA BEDRA SPRIJEDA
T3	SREDINA BEDRENOG MIŠIĆA NA LINIJI OPSEGA BEDRA STRAGA
T4	BOČNI ŠAV

4.2.7. Definiranje položaja tijela za analizu napreznja i istežanja simulirane tkanine na računalnim prototipovima u statičkim i dinamičkim uvjetima

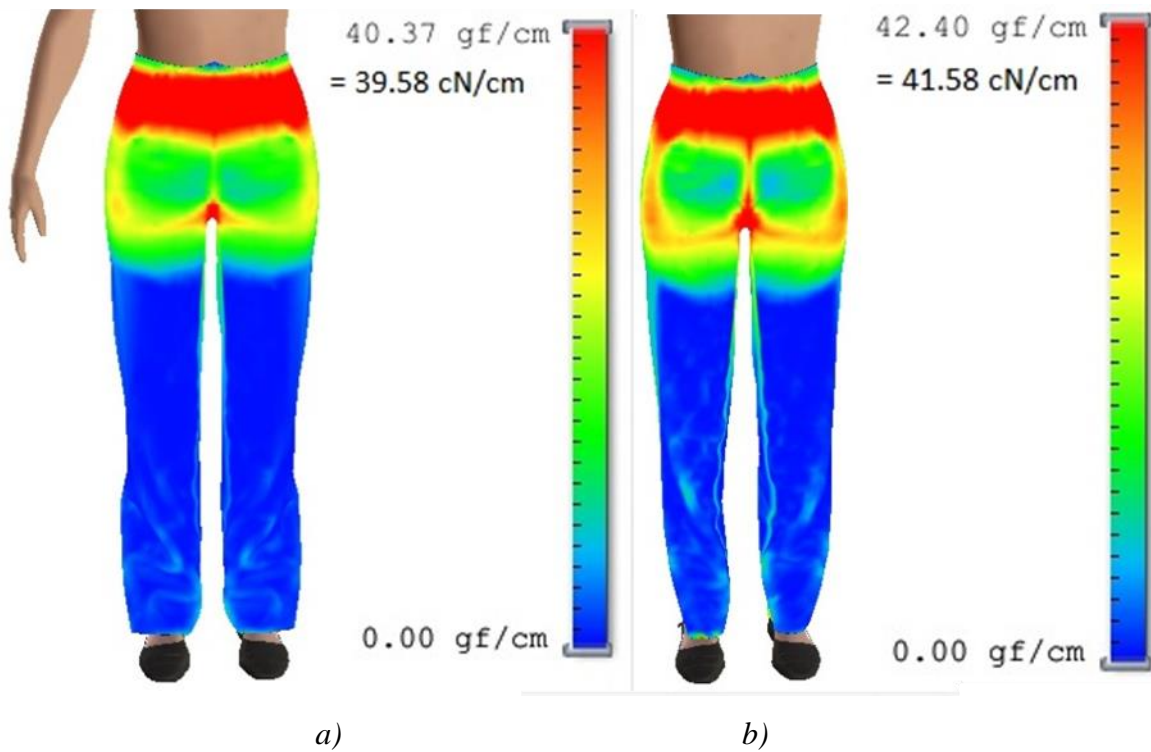
Na sl. 58 prikazani su položaji tijela u kojima je izvedeno utvrđivanje vrijednosti napreznja i istežanja simulirane tkanine na 3D modelima hlača.



Sl. 58 Položaji tijela u kojima je izvedeno utvrđivanje vrijednosti naprezanja i istezanja simulirane tkanine na modelima hlača: a) statički položaj, b) dinamički položaj tijela 1, c) dinamički položaj tijela 2

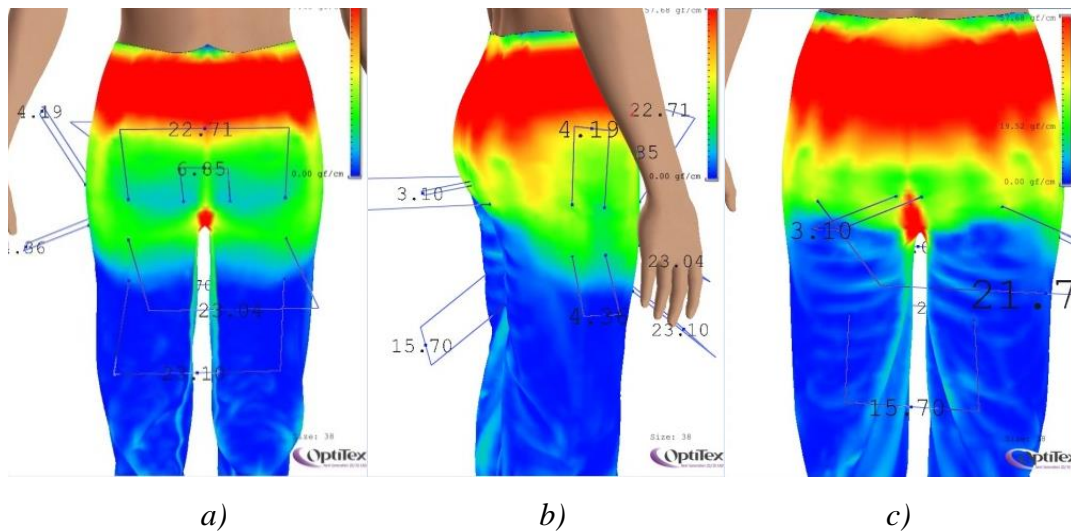
4.3. Analiza naprezanja računalnog prototipa (*Tension xy*) na tijelu u statičkom položaju

Računalna analiza naprezanja u smjeru osnove i potke provodi se alatom *Tension map*, u čijim se postavkama odabere svojstvo i smjer ispitivanja tkanine. Na sl. 59 prikazane su zone naprezanja na 3D modelu hlača u statičkom položaju tijela, uz aplikaciju fizikanih i mehaničkih svojstava tkanina.



Sl. 59 Prikaz zona naprezanja simulirane tkanine na 3D modelu hlača 2: a) tkanina 1 b) tkanina 2

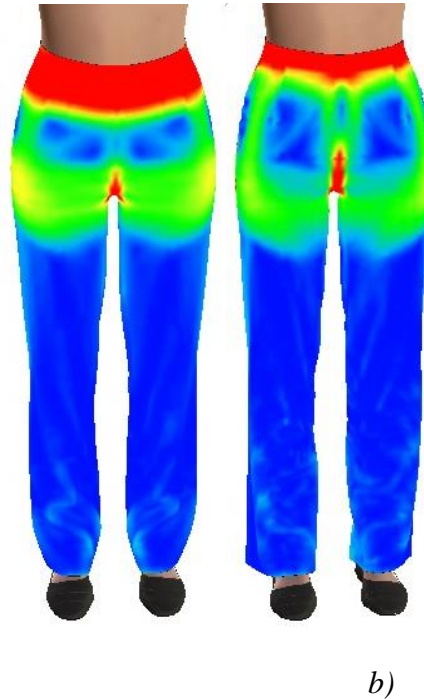
Na sl. 60 označene su pozicije markera na kojima je izvedno očitavanje utvrđenih vrijednosti naprezanja na računalnom 3D modelu hlača.



Sl. 60 Pozicije očitavanja vrijednosti naprezanja simulirane tkanine: a) prednja strana, b) bočna strana, c) stražnja strana

4.3.1. Analiza naprezanja računalnog prototipa na tijelu u statičkom položaju – model 1

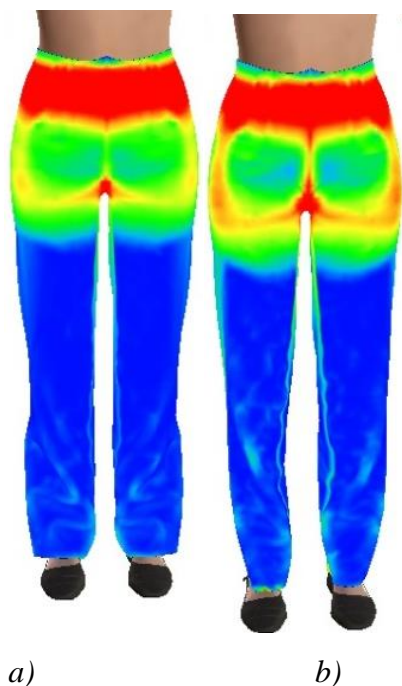
Na sl. 61 prikazane su zone naprezanja na 3D modelu hlača 1 u statičkom položaju tijela, uz aplikciju fizikanih i mehaničkih svojstava za tkaninu 1 i tkaninu 2.



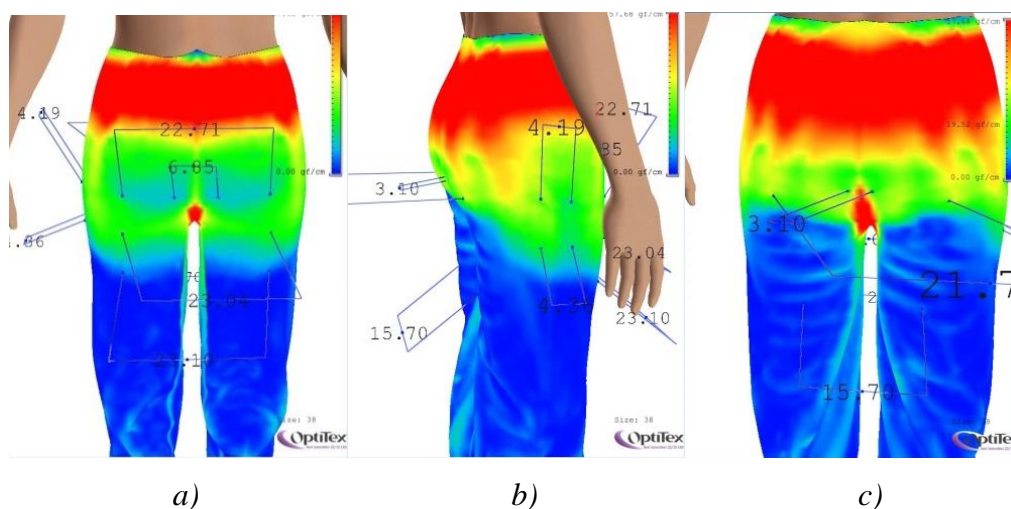
Sl.61 Prikaz naprezanja simulirane tkanine na 3D modelu 1: a) tkanina 1 b) tkanina 2

4.3.2. Analiza naprezanja računalnog prototipa na tijelu u statičkom položaju – model 2

Na sl. 62 prikazane su zone naprezanja na 3D modelu hlača 2 u statičkom položaju tijela, uz aplikciju fizikanih i mehaničkih svojstava za tkaninu 1 i tkaninu 2.



Sl.62 Prikaz naprežanja simulirane tkanine na 3D modelu 2: a) tkanina 1 b) tkanina 2
 Na sl. 63 označene su pozicije markera na kojima je izvedno očitavanje utvrđenih vrijednosti naprežanja na oba modela i za obje tkanine.



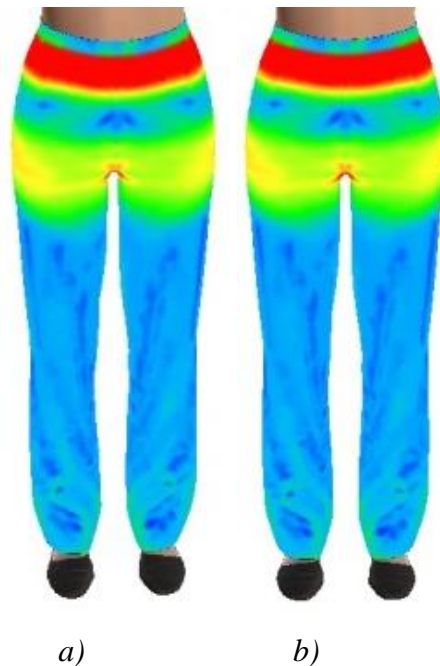
Sl.63 Pozicije očitavanja vrijednosti naprežanja i istezanja, a) prednja strana, b) bočna strana, c) stražnja strana

4.4. Analiza istezanja računalnih prototipova (*Stretch y*) na tijelu u statičkom položaju

Ispitivanje istezanja u smjeru osnove izvedeno je primjenom alata *Tension map*.

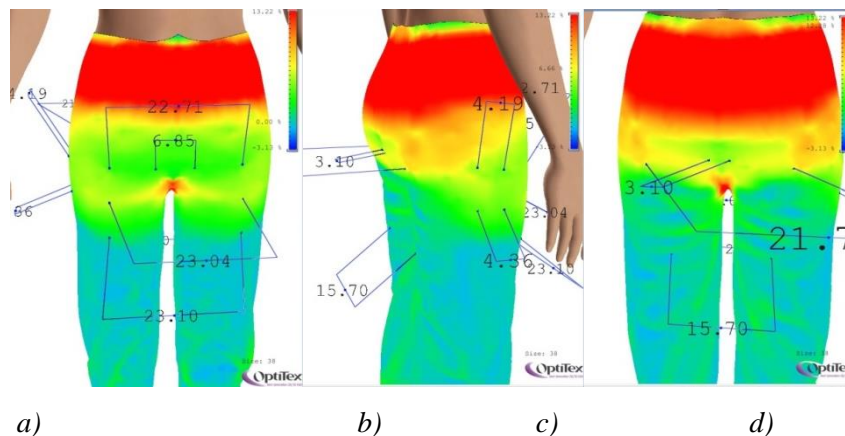
4.4.1. Analiza istežanja računalnih prototipova na tijelu u statičkom položaju – model 1

Na sl. 64 prikazane su zone istežanja na 3D modelu hlača 1 u statičkom položaju tijela, uz aplikaciju fizikanih i mehaničkih svojstava za tkaninu 1 i tkaninu 2.



Sl.64 Prikaz istežanja simulirane tkanine na 3D modelu 1: a) tkanina 1 b) tkanina 2

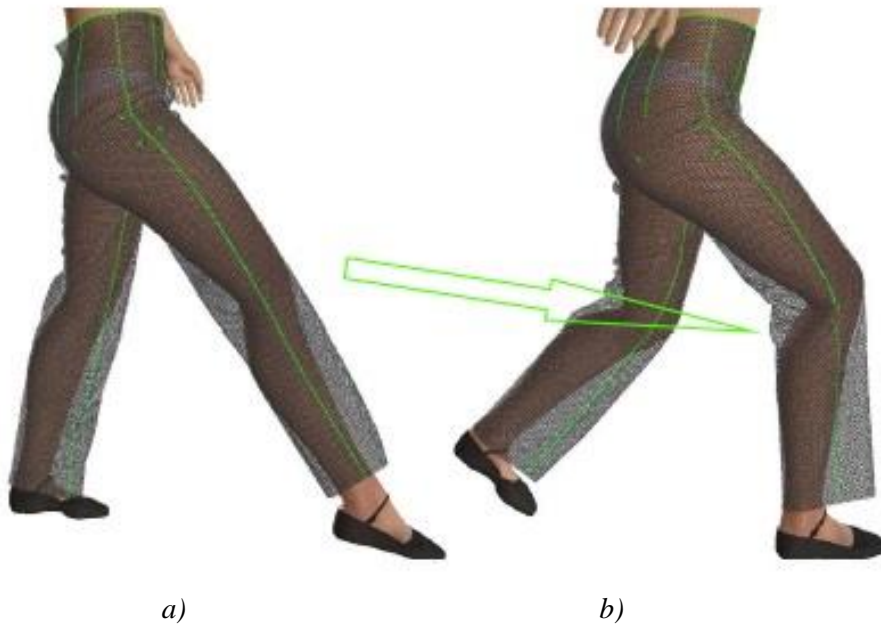
4.4.2. Analiza istežanja računalnih prototipova na tijelu u statičkom položaju – model 2



Sl. 65 a) Prikaz zona istežanja na 3D modelu, b) pozicije markera na prednjem dijelu, c) pozicije markera na bočnom dijelu, d) pozicije markera na stražnjem dijelu

4.5. Animacija modela odjevnog predmeta i analiza pristajalosti u dinamičkim položajima tijela

Animacija modela odjevnog predmeta pokreće se u izborniku prikazanom u poglavlju 2 pod točkom 2.6.4.4. Za potrebe eksperimentalnog dijela ovog rada izvedena je analiza pristajalosti odjevnog predmeta u dva dinamička položaja tijela, u definiranim fazama jednog cjelovitog pokreta, sl. 66.



Sl.66 Prikaz: a) dinamičkog položaja 1 b) dinamičkog položaja 2

4.5.1. Analiza naprezanja računalnog prototipa na tijelu u dinamičkom položaju (*Tension xy*)

U sljedećim točkama rada prikazana je analiza naprezanja po zonama na računalnim 3D modelima hlača 1 i 2, uz aplikciju fizikanih i mehaničkih svojstava za tkaninu 1 i tkaninu 2.

4.5.1.1. Analiza naprezanja računalnog prototipa na tijelu u dinamičkom položaju - model 1

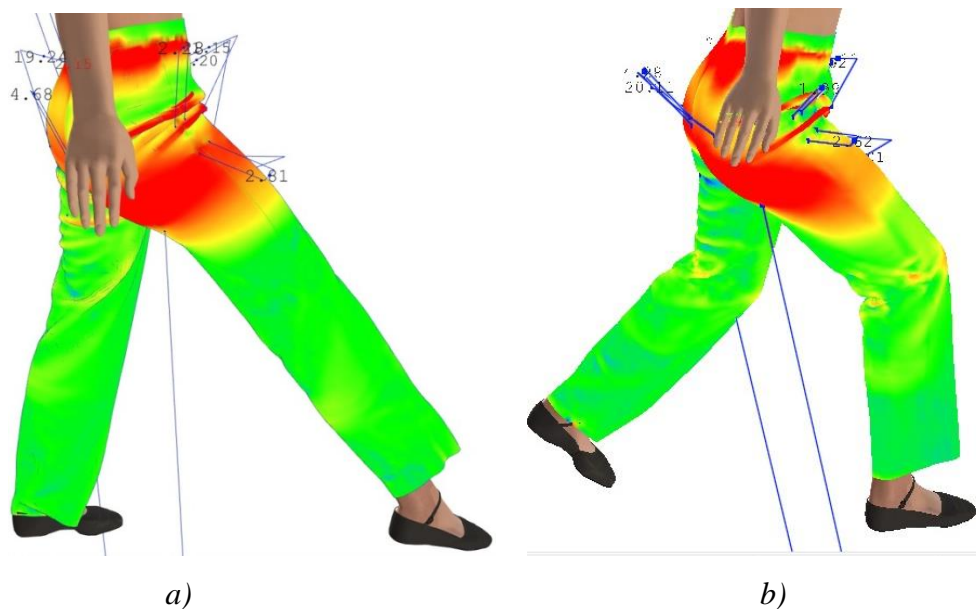
U nastavku rada prikazana je analiza naprezanja simulirane tkanine na tijelu u dva dinamička položaja tijela po zonama na računalnom 3D modelu hlača. Na sl. 67 prikazane su zone naprezanja na 3D modelu hlača 1 u dinamičkom položaju tijela 1 i u dinamičkom položaju tijela 2, uz prikaz pozicija markera na kojima je izvedeno mjerenje vrijednosti naprezanja simulirane tkanine. Analiza je provedena uz aplikciju fizikanih i mehaničkih svojstava za tkaninu 1 i za tkaninu 2.

4.5.2. Analiza istežanja računalnog prototipa na tijelu u dinamičkom položaju (*Stretch y*)

Dalje je izvedena analiza istežanja po zonama na računalnom 3D modelu hlača.

4.5.2.1. Analiza istežanja računalnog prototipa na tijelu u dinamičkom položaju - model 1

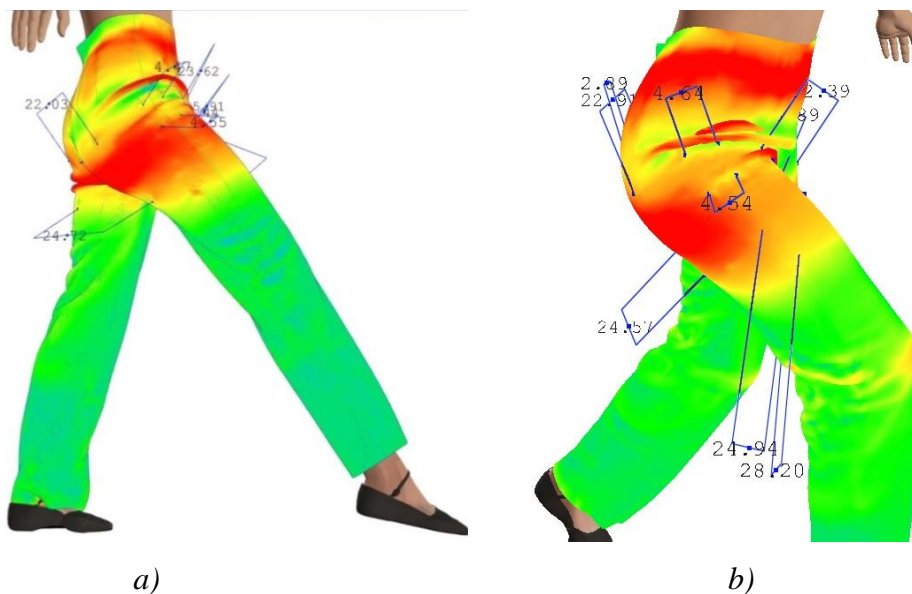
Na sl. 69 prikazane su zone istežanja na 3D modelu hlača 1 u dinamičkom položaju tijela 1 i u dinamičkom položaju tijela 2, uz prikaz pozicija markera na kojima je izvedeno mjerenje vrijednosti istežanja simulirane tkanine. Analiza je provedena uz aplikciju fizikanih i mehaničkih svojstava za tkaninu 1 i za tkaninu 2.



Sl.69 Prikaz istežanja simulirane tkanine na 3D modelu hlača1: a) u dinamičkom položaju tijela 1, b) u dinamičkom položaju tijela 2

4.5.2.2. Analiza istežanja računalnog prototipa na tijelu u dinamičkom položaju - model 2

Na sl. 70 prikazane su zone istežanja na 3D modelu hlača 1 u dinamičkom položaju tijela 1 i u dinamičkom položaju tijela 2, uz prikaz pozicija markera na kojima je izvedeno mjerenje vrijednosti istežanja simulirane tkanine. Analiza je provedena uz aplikciju fizikanih i mehaničkih svojstava za tkaninu 1 i za tkaninu 2.



Sl.70 Prikaz istežanja simulirane tkanine na 3D modelu hlača2: a) u dinamičkom položaju tijela 1, b) u dinamičkom položaju tijela 2

4.6. Usporedba naprežanja i istežanja simuliranih tkanina na računalnim prototipovima u statičkim i dinamičkim uvjetima

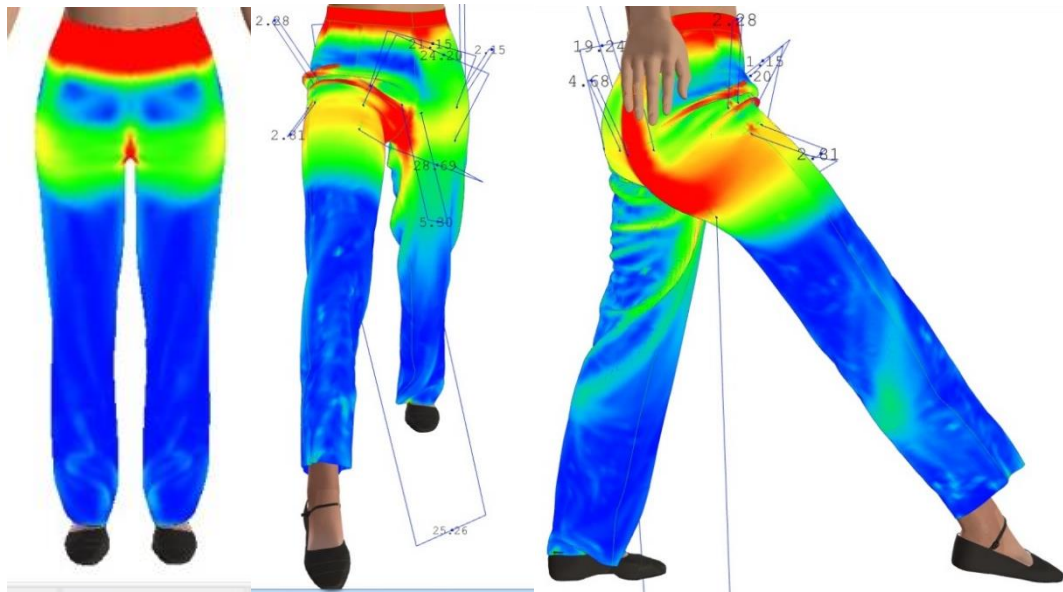
Na sl. 71 prikazani su položaji u kojima je izvedeno utvrđivanje vrijednosti naprežanja i istežanja simulirane tkanine na 3D modelima hlača.



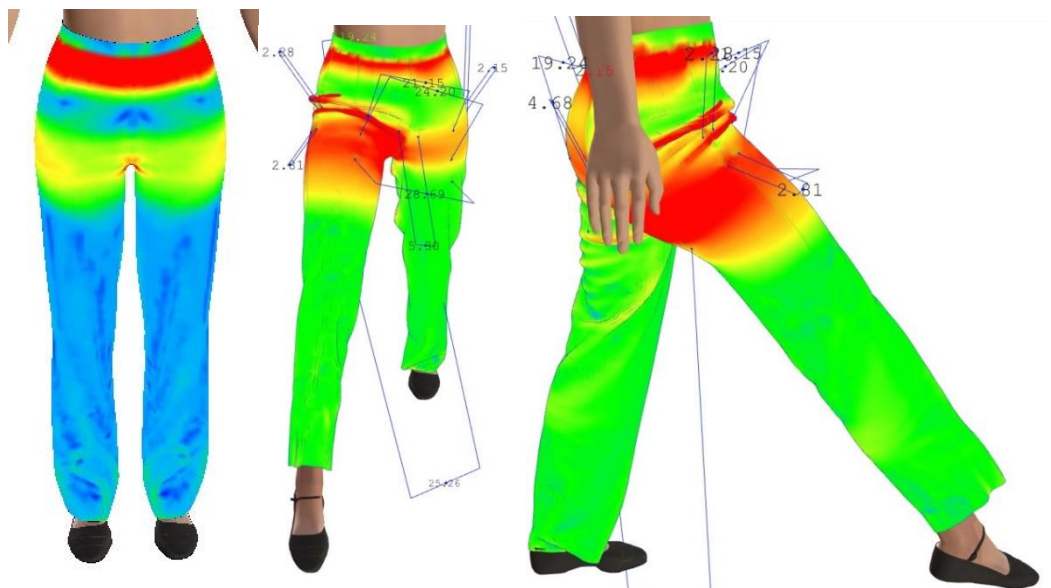
Sl. 71 Položaji tijela u kojima je izvedeno utvrđivanje vrijednosti naprežanja i istežanja simulirane tkanine na modelima hlača: a) statički položaj, b) dinamički položaj tijela 1, c) dinamički položaj tijela 2

4.6.1. Usporedba ponašanja računalnog 3D prototipa modela hlača u statičkom položaju i kod dinamičkog položaja tijela 1

Na sl. 72 i 73 prikazane su zone napreznjenja i istežanja simulirane tkanine na 3D modelu hlača u statičkom položaju te u dinamičkom položaju tijela 1. Na slici se mogu uočiti promjene u napreznjenju odnosno istežnju tkanine po zaonama modela do kojih dolazi pri iskoraku, odnosno pri pomaku noge iz statičkog položaja tijela u dinamički položaj tijela 1.



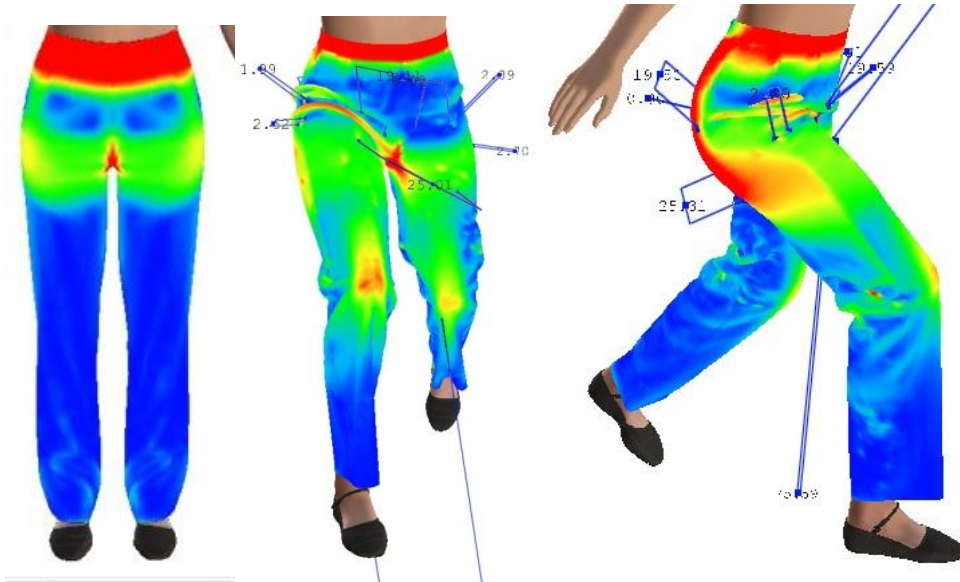
Sl.72 Prikaz promjena u napreznjenju simulirane tkanine na 3D modelu hlača pri prijelazu iz statičkog položaja tijela u dinamički položaj tijela 1



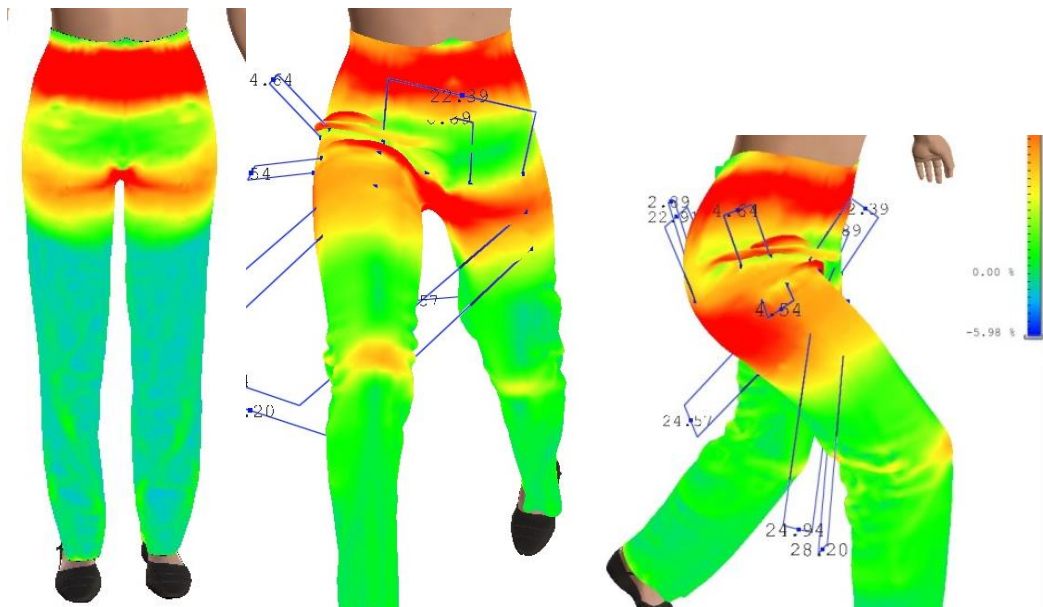
Sl.73 Prikaz promjena u istežanju simulirane tkanine na 3D modelu hlača pri prijelazu iz statičkog položaja tijela u dinamički položaj tijela 1

4.6.2. Usporedba ponašanja računalnog 3D prototipa modela hlača u statičkom položaju i kod dinamičkog položaja tijela 2

Na sl. 74 i 75 prikazane su zone naprezanja i istežanja simulirane tkanine na 3D modelu hlača u statičkom položaju te u dinamičkom položaju tijela 2. Na slici se mogu uočiti promjene u naprezanju odnosno istežnju tkanine po zonama modela do kojih dolazi pri iskoraku, odnosno pri pomaku noge iz statičkog položaja tijela u dinamički položaj tijela 2.



Sl.74 Prikaz promjena u naprezanju simulirane tkanine na 3D modelu hlača pri prijelazu iz statičkog položaja tijela u dinamički položaj tijela 2

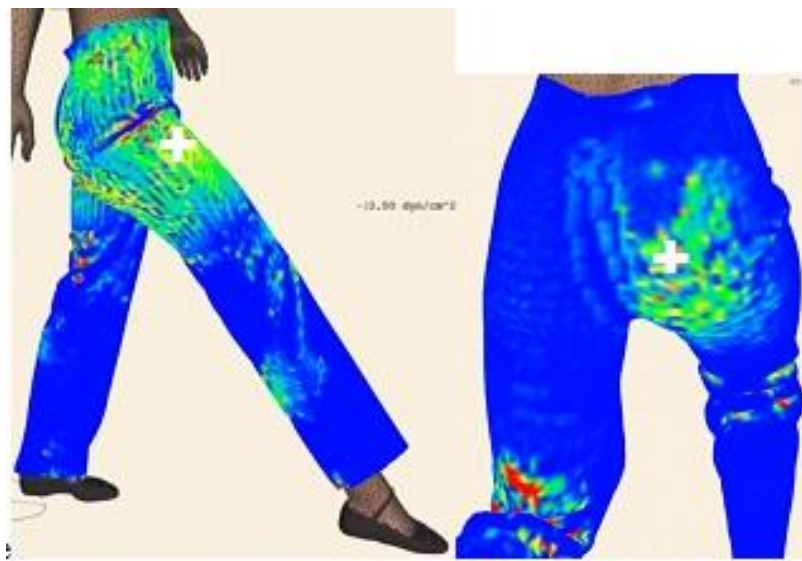


Sl.75 Prikaz promjena u istežanju simulirane tkanine na 3D modelu hlača pri prijelazu iz statičkog položaja tijela u dinamički položaj tijela 2

4.7. Analiza pritiska (*Normal Collision Pressure*) računalnog prototipa na tijelu u statičkom položaju

Analiza pritiska mjeri se jednom od opcija alata Tension Map, na simuliranom modelu odjevnog predmeta s odabranim parametrima ispitivane tkanine. Obzirom da mjerni uređaj PicoPress ima senzor promjera 2.6 cm, na računalnom prototipu je mjereno 5 točaka u krugu 2.6 cm, te se kao konačni rezultat uzela srednja vrijednost rezultata mjerenja. Rezultati mjerenja pritiska u mjernim točkama prikazani su u tablici 17.

4.8. Animacija modela odjevnog predmeta i analiza pritiska na tijelu u dinamičkim položajima tijela



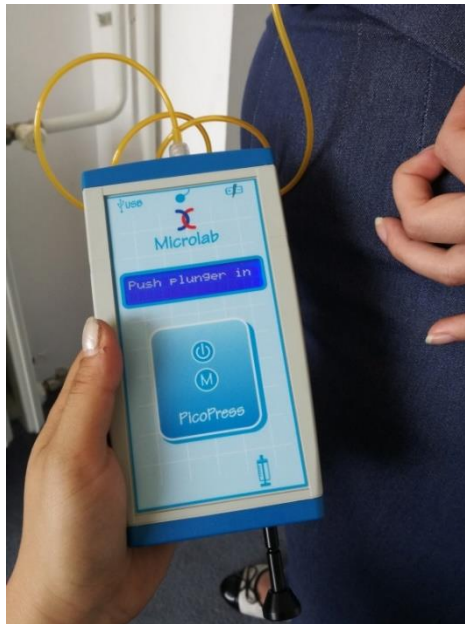
a)

b)

Sika 76 Prikaz mjernih točaka za utvrđivanje vrijednosti pritiska: a) u dinamičkom položaju tijela 1 b) u dinamičkom položaju tijela 2

4.9. Mjerenje pritiska (*Normal Collision Pressure*) realnog prototipa na tijelu u statičkom položaju te u dinamičkim položajima tijela

Kako bi se verificirala računalna metoda određivanja pritiska simuliranog modela hlača na model tijela, provedeno je mjerenje pritiska i na realnom modelu odjevnog predmeta. Realni prototip modela ženskih hlača izrađen je iz druge ispitivane tkanine. Ispitivanje pritiska izvedeno je primjenom mjernog uređaj PicoPress, koji je opisan u točki 2.3.2.6. i prikazan na sl. 77, a postupak mjerenja pritiska na tijelu prikazan je na sl. 78. Realni prototip modela u definiranim položajima tijela prikazan je na sl. 79 i 80.



Sl. 77 Mjerni uređaj Picopress-a za mjerenje pritiska tkanine na tijelo



a)

b)

Sl. 78 Prikaz postupka mjerenja PicoPress mjernim uređajem: a) prikaz senzora b) pozicioniranje senzora na definiranu poziciju mjerenja, između tijela i odjevnog predmeta



a)

b)

c)

Sl. 79 Prikaz realnog prototipa modela hlača u statičkom položaju tijela: a) prednja strana, b) stražnja strana i c) bočna strana



a)

b)

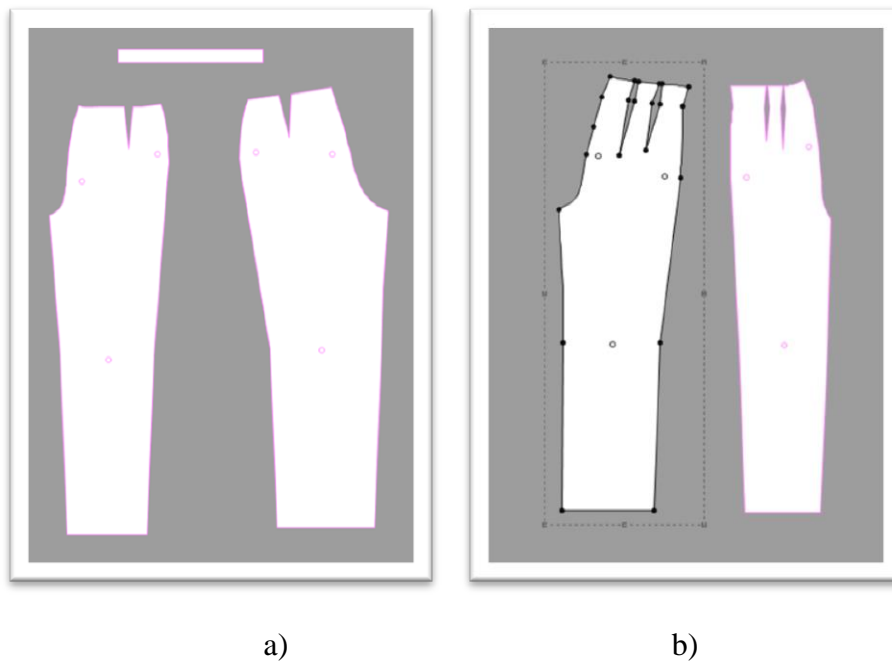
Sl. 80 Prikaz realnog prototipa modela hlača: a) u dinamičkom položaju tijela 1, b) u dinamičkom položaju tijela 2

5. REZULTATI

Nakon provedenog eksperimentalnog dijela rada u kojem su računalno analizirana dva 3D modela hlača, uz simulaciju fizikalnih i mehaničkih svojstava za dvije različite tkanine, utvrđene su vrijednosti naprezanja i istežanja simuliranih tkanina na definiranim pozicijama markera na kroju, za svaki model hlača i za obje tkanine u statičkom položaju tijela te u dva definirana dinamička položaja tijela. Realni prototip modela hlača izrađen je iz ispitivane TKANINE 2, koja se pokazala bolja u 3D računalnim simulacijama modela ženskih hlača, s aspekta naprezanja i istežanja u kritičnim točkama na tijelu tijekom izmjena položaja tijela. Ispitivanja mjerenja pritiska na tijelu provedena su PicroPress mjernim uređajem. U sljedećim točkama rada prikazani su rezultati utvrđeni po segmentima provedbe eksperimentalnog dijela rada.

5.1. Rezultati konvertiranja i uvoza kroja ženskih hlača iz CAD sustava Lectra u CAD sustav Optitex

Prema postupku opisanom u poglavlju 4, pod točkom 4.1. modeli ženskih hlača preuzeti su iz CAD sustava Lectra i konvertirani su u .pds format zapisa koji podržava program Pattern Design System CAD sustava Optitex. Konvertirani krojni dijelovi modela hlača prikazani na sl.81, te su se kao takvi nastavili koristiti u daljnjem eksperimentalnom dijelu rada.



Sl.81 Konvertirani krojevi a) kroj hlača 1 u PDS programu, b) kroj hlača 2 u PDS programu

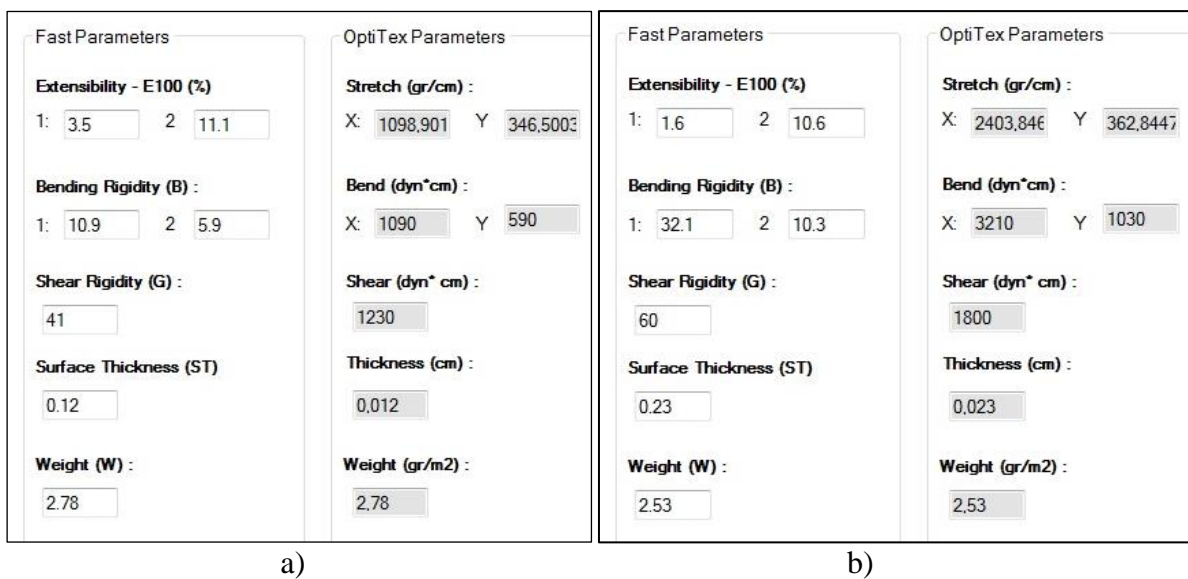
5.2. Rezultati utvrđivanja vrijednosti fizikalnih i mehaničkih svojstava odabranih tkanina te konvertiranja podataka

U tab. 9 prikazane su vrijednosti odabranih fizikalnih i mehaničkih svojstava tkanina, utvrđenih mjerenjem pomoću FAST mjernog sustava za objektivno vrednovanje tekstila.

Tab. 9 Rezultati utvrđivanja vrijednosti parametara fizikalnih i mehaničkih svojstava tkanina korištenih za 3D simulacije

Parametri fizikalnih i mehaničkih svojstava	Tkanina 1	Tkanina 2
Vlačna svojstva		
<i>E100-1 [%]</i>	3,5	1,6
<i>E100-2 [%]</i>	11,1	10,6
Savojna svojstva		
<i>B-1 [μNm]</i>	10,9	32,1
<i>B-2 [μNm]</i>	5,9	10,3
Smična svojstva		
<i>G [%]</i>	41	60
Kompresijska svojstva		
<i>ST [mm]</i>	0,12	0,23
Plošna masa		
<i>W [g/cm^2]</i>	2,78	2,53

Kako bi se rezultati mjerenja fizikalnih i mehaničkih svojstava odabranih tkanina mogli koristiti za 3D simulaciju u CAD sustavu Optitex, provedeno je konvertiranje podataka, odnosno preračunavanje vrijednosti utvrđenih pomoću FAST mjernog sustava, u mjerne jedinice koje podržava CAD sustav Optitex. Na sl. 82 prikazan je prozor konvertora Fabric Editor s prikazom vrijednosti definiranih svojstava TKANINE 1 I TKANINE 2.



Sl. 82 Prikaz konvertora Fabric Editor za: a) TKANINU 1, b) TKANINU 2

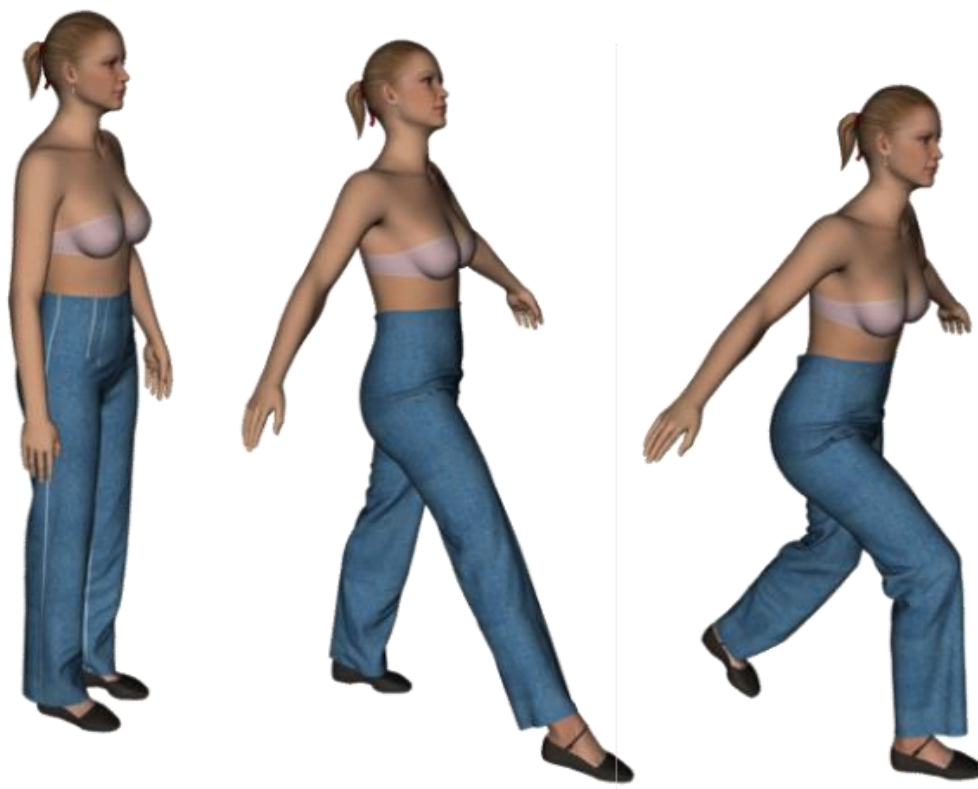
5.3. Rezultati 3D simulacije prototipa modela ženskih hlača s aplikacijom teksture tkanine

Na sl. 83 prikazan je računalni prototip modela ženskih hlača, s apliciranom teksturom odabrane tkanine, kao rezultat 3D simulacije modela u statičkom položaju tijela.



Sl. 83 Prikaz 3D modela hlača na parametarskom modelu tijela s aplikacijom teksture

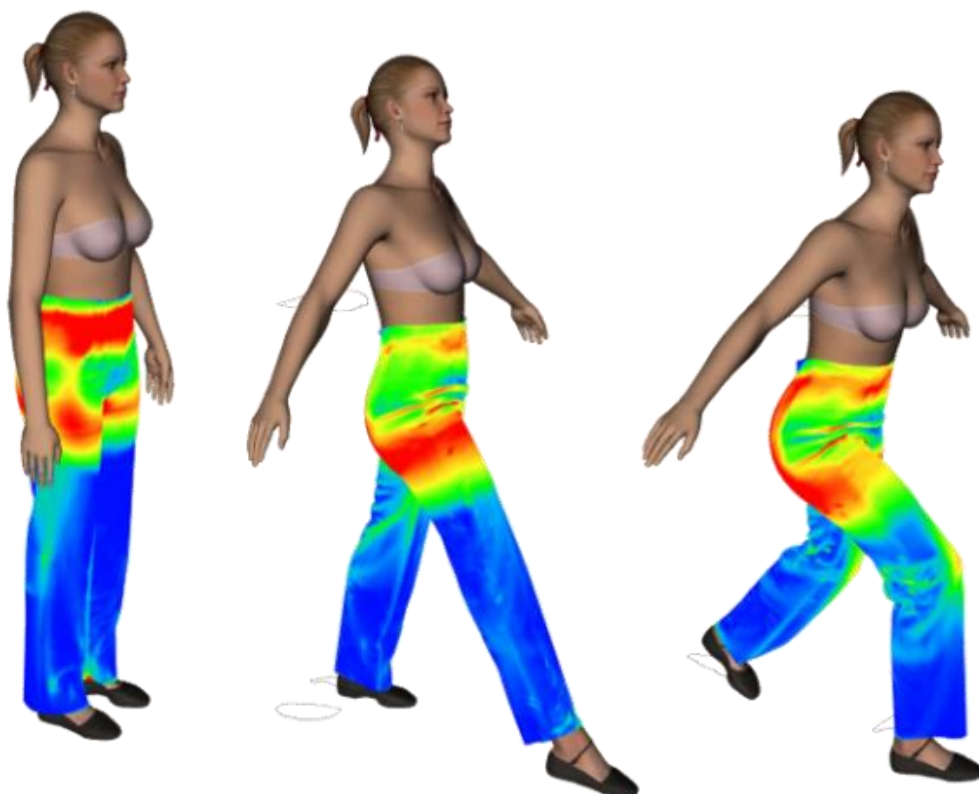
Na sl. 84 prikazan je računalni prototip modela ženskih hlača, s apliciranom teksturom odabrane tkanine, kao rezultat 3D simulacije modela u statičkom i dinamičkim položajima tijela.



Sl. 84 Prikaz 3D modela hlača na parametarskom modelu tijela s aplikacijom teksture u statičkom i dinamičkim položajima tijela

5.4. Rezultati utvrđivanja vrijednosti naprežanja i istežanja na 3D modelu hlača u statičkom položaju tijela

Na sl. 85 prikazan je parametarski model tijela s prikazom zona naprežanja na 3D modelu hlača u statičkom i definiranim dinamičkim položajima tijela.



Sl. 85 Prikaz 3D modela hlača na parametarskom modelu tijela u statičkom i dinamičkim položajima tijela s prikazom mape naprezanja

Tab.10 Utvrđene vrijednosti naprezanja simulirane tkanine na 3D modelu hlača u statičkom položaju tijela

POZICIJA MARKERA	NAPREZANJE (<i>TENSION X,Y</i>) [cN/cm]			
	MODEL 1		MODEL 2	
	TKANINA 1	TKANINA 2	TKANINA 1	TKANINA 2
PREDNJA SREDINA	5,11	10,79	9,40	10,23
TROHANTER	2,54	3,77	11,51	12,15
BOČNI ŠAV	14,70	16,27	18,21	27,71
GLUTEUSI	22,24	27,99	27,15	27,46
STRAŽNJA SREDINA	13,18	25,07	13,18	25,07
SREDINA BEDRA NA NAJVEĆEM OPSEGU BOKOVA	11,05	13,02	20,20	21,30
VRH BEDRENOG MIŠIĆA NA LINIJI OPSEGA BEDRA SPRIJEDA	1,81	10,68	7,34	12,54
VRH BEDRENOG MIŠIĆA NA LINIJI OPSEGA BEDRA STRAGA	0,70	3,43	1,45	2,12
BEDRO – BOČNI ŠAV	14,09	16,35	15,29	19,77

Rezultati utvrđivanja vrijednosti naprezanja u statičkom položaju tijela pokazali su veće vrijednosti naprezanja kod TKANINE 2, što je u skladu s izmjerenim realnim parametrima fizikalnih i mehaničkih svojstava, gdje su kod TKANINE 2 izmjerene niže vrijednosti istezanja, veća savojna i smična krutost te veća debljina tkanine u odnosu na TKANINU 1.

Kod obje tkanine, najveće vrijednosti naprezanja utvrđene su na područjima stražnjice, stražnje sredine te bočnog šava u sjedalnoj zoni odjevnog predmeta, te na nogavicama na području najvećeg opsega bedra.

Tab.11 Utvrđene vrijednosti istezanja simulirane tkanine na 3D modelu hlača u statičkom položaju tijela

POZICIJA MARKERA	ISTEZANJE (<i>STRETCH Y</i>) [%]			
	MODEL 1		MODEL 2	
	TKANINA 1	TKANINA 2	TKANINA 1	TKANINA 2
PREDNJA SREDINA	1,17	2,20	3,68	2,78
TROHANTER	0,57	0,53	4,47	3,70
BOČNI ŠAV	2,04	3,42	5,05	4,92
GLUTEUSI	5,08	5,12	6,90	6,77
STRAŽNJA SREDINA	4,06	4,10	5,04	3,16
SREDINA BEDRA NA NAJVEĆEM OPSEGU BOKOVA	6,11	5,48	6,11	5,48
VRH BEDRENOG MIŠIĆA NA LINIJI OPSEGA BEDRA SPRIJEDA	2,16	3,99	1,75	1,43
VRH BEDRENOG MIŠIĆA NA LINIJI OPSEGA BEDRA STRAGA	0,40	0,75	5,33	4,77
BEDRO – BOČNI ŠAV	3,49	4,88	5,60	4,21

Rezultati utvrđivanja vrijednosti istezanja u statičkom položaju tijela pokazali su veće vrijednosti istezanja kod TKANINE 1, što je u skladu s izmjerenim realnim parametrima fizikalnih i mehaničkih svojstava, gdje su kod TKANINE 1 izmjerene veće vrijednosti istezanja, manja savojna i smična krutost te manja debljina tkanine u odnosu na TKANINU 2. Kod obje tkanine, najveće vrijednosti istezanja utvrđene su na područjima stražnjice, bočnog šava te na području najvećeg opsega bedra. Rezultati utvrđivanja vrijednosti istezanja u mjernim točkama koreliraju s utvrđenim vrijednostima naprezanja u istim točkama.

5.5. Rezultati utvrđivanja vrijednosti naprezanja i istežanja na 3D modelu hlača u dinamičkim položajima tijela

U tab 12. dan je prikaz rezultata naprezanja simulirane tkanine na 3D modelu hlača u dinamičkim položajima tijela. U tab 13. je dan prikaz rezultata istežanja simulirane tkanine na 3D modelu hlača u istim dinamičkim položajima tijela.

Tab.12 Utvrđene vrijednosti naprezanja simulirane tkanine na 3D modelu hlača u dinamičkim položajima tijela (P1 i P2)

NAPREZANJE (<i>TENSION X,Y</i>) [cN/cm]					
POZICIJA MARKERA	TKANINA	MODEL 1		MODEL 2	
		P1	P2	P1	P2
PREDNJA SREDINA	1	20,52	5,34	7,87	21,34
	2	44,95	19,62	5,78	32,65
TROHANTER	1	4,65	12,56	11,20	34,05
	2	35,85	11,43	8,91	34,97
BOČNI ŠAV	1	12,45	11,88	21,80	26,79
	2	36,30	27,88	23,20	32,57
GLUTEUSI	1	22,11	39,85	25,88	53,19
	2	30,60	61,04	28,43	56,18
STRAŽNJA SREDINA	1	18,58	55,06	17,89	65,01
	2	71,64	54,15	16,55	76,47
SREDINA BEDRA NA NAJVEĆEM OPSEGU BOKOVA	1	11,77	48,83	18,70	52,13
	2	44,86	56,43	21,28	62,43
VRH BEDRENOG MIŠIĆA NA	1	8,59	25,42	11,22	39,72
LINIJI OPSEGA BEDRA SPRIJEDA	2	34,01	28,14	17,71	40,08
VRH BEDRENOG MIŠIĆA NA	1	1,50	55,06	2,54	44,15
LINIJI OPSEGA BEDRA STRAGA	2	63,48	76,69	2,10	47,52
BEDRO – BOČNI ŠAV	1	16,96	30,02	20,57	41,64
	2	34,57	35,95	27,92	45,77

Rezultati utvrđivanja vrijednosti naprezanja u dinamičkim položajima pokazali su najveće naprežanje u POLOŽAJU 1 na području bočnog šava i stražnjice kod obje tkanine, a u

POLOŽAJU 2 kod obje tkanine na području stražnjice i opsega bedra na najvećem opsegu bokova.

Najmanje vrijednosti naprezanja u POLOŽAJU 1 utvrđene su na poziciji vrha bedrenog mišića na liniji opsega bedra straga kod obje tkanine, a u POLOŽAJU 2 su obje tkanine najmanje naprezanje pokazale na području prednje sredine i bočnog šava. Takvo ponašanje tkanina opravdano je dinamikom pokreta tijela gdje se uslijed podizanja noge koja je u iskoraku, tkanina na nogavici nabire i podiže, te tako dolazi do manjih vrijednosti naprezanja na području bedra noge koja je u iskoraku.

Tab.13 Utvrđene vrijednosti istezanja simulirane tkanine na 3D modelu hlača u dinamičkim položajima tijela (P1 i P2)

ISTEZANJE (STRETCH Y) [%]					
POZICIJA MARKERA	TKANINA	MODEL 1		MODEL 2	
		P1	P2	P1	P2
PREDNJA SREDINA	1	1,44	3,44	1,34	5,98
	2	7,99	3,47	1,47	7,91
TROHANter	1	1,36	4,14	0,50	3,89
	2	7,98	4,71	2,42	8,93
BOČNI ŠAV	1	3,03	3,52	2,69	7,80
	2	9,13	3,63	5,06	7,23
GLUTEUSI	1	5,30	6,35	6,75	10,37
	2	7,02	8,55	6,84	12,73
STRAŽNJA SREDINA	1	4,0	8,88	4,86	10,31
	2	6,76	11,11	4,43	11,76
SREDINA BEDRA NA NAJVEĆEM OPSEGU BOKOVA	1	3,30	5,03	3,54	14,38
	2	10,36	7,76	5,56	16,81
VRH BEDRENOG MIŠIĆA NA LINIJI OPSEGA BEDRA SPRIJEDA	1	2,25	7,38	2,96	11,66
	2	10,54	6,53	4,79	10,87
VRH BEDRENOG MIŠIĆA NA LINIJI OPSEGA BEDRA STRAGA	1	6,24	7,75	0,35	8,70
	2	9,38	13,09	0,54	9,14
BEDRO – BOČNI ŠAV	1	3,64	7,34	4,37	12,55
	2	5,93	1,92	6,00	8,93

Rezultati utvrđivanja vrijednosti istežanja u dinamičkim položajima tijela pokazuju najveće vrijednosti istežanja u dinamičkom POLOŽAJU 1 koje se može očitati na području stražnjice kod obje tkanine, a u POLOŽAJU 2 na poziciji sredine bedra na najvećem opsegu bokova. Najmanje vrijednosti istežanja u POLOŽAJU 1 prikazuju se na poziciji mjerenja vrha bedrenog mišića na liniji opsega bedra straga i poziciji trohantera kod obje tkanine. U POLOŽAJU 2 najmanje istežanje je na poziciji prednje sredine.

5.6. Rezultati usporedbe naprežanja i istežanja računalnih prototipova u statičkim i dinamičkim uvjetima

Tab.14 Utvrđene vrijednosti naprežanja simulirane tkanine na 3D modelu hlača u statičkom (STAT) i dinamičkim položajima tijela (P1 i P2)

NAPREZANJE (TENSION XY) [cN/cm]							
POZICIJA MARKERA	MAT	MODEL 1			MODEL 2		
		STAT	P1	P2	STAT	P1	P2
PREDNJA SREDINA	1	5,11	20,52	5,34	9,40	7,87	21,34
	2	10,79	44,95	19,62	10,23	5,78	32,65
TROHANTER	1	2,54	4,65	12,56	11,51	11,20	34,05
	2	3,77	35,85	11,43	12,15	8,91	34,97
BOČNI ŠAV	1	14,70	12,45	11,88	18,21	21,80	26,79
	2	16,27	36,30	27,88	27,71	23,20	32,57
GLUTEUSI	1	22,24	22,11	39,85	27,15	25,88	53,19
	2	27,99	30,60	61,04	27,46	28,43	56,18
STRAŽNJA SREDINA	1	13,18	18,58	55,06	13,18	17,89	65,01
	2	25,07	71,64	54,15	25,07	16,55	76,47
SREDINA BEDRA NA NAJVEĆEM OPSEGU BOKOVA	1	11,05	11,77	48,83	21,30	18,70	52,13
	2	13,02	44,86	56,43	20,20	21,28	62,43
VRH BEDRENOG MIŠIĆA NA LINIJI OPSEGA BEDRA SPRIJEDA	1	1,81	8,59	25,42	12,54	11,22	39,72
	2	10,68	34,01	28,14	7,34	17,71	40,08
VRH BEDRENOG MIŠIĆA NA LINIJI OPSEGA BEDRA STRAGA	1	0,70	1,50	55,06	2,12	2,54	44,15
	2	3,43	63,48	76,69	1,45	2,10	47,52

BEDRO – BOČNI ŠAV	1	14,09	16,96	30,02	19,77	20,57	41,64
	2	16,35	34,57	35,95	15,29	27,92	45,77

Utvrđene vrijednosti naprezanja simulirane tkanine na 3D modelu hlača u statičkom i dinamičkim položajima tijela pokazuju najveće naprezanje za obje tkanine u statičkom položaju na pozicijama stražnjice i bočnih šavova, a u POLOŽAJU 1 na poziciji stražnjice te u POLOŽAJU 2 na poziciji stražnjice i bedra. Najmanje naprezanje za obje tkanine u statičkom položaju utvrđeno je na poziciji bedrenog mišića straga, u POLOŽAJU 1 na poziciji trohantera i bedrenog mišića straga te u POLOŽAJU 2 na poziciji trohantera.

Tab.15 Utvrđene vrijednosti istežanja simulirane tkanine na 3D modelu hlača u statičkom (STAT) i dinamičkim položajima tijela (P1 i P2)

ISTEZANJE (STRETCH Y) [%]							
POZICIJA MARKERA	MAT	MODEL 1			MODEL 2		
		STAT	P1	P2	STAT	P1	P2
PREDNJA SREDINA	1	1,17	1,44	3,44	3,68	1,34	5,98
	2	2,20	7,99	3,47	2,78	1,47	7,91
TROHANTER	1	0,57	1,36	4,14	4,47	0,50	3,89
	2	0,53	7,98	4,71	3,70	2,42	8,93
BOČNI ŠAV	1	2,04	3,03	3,52	5,05	2,69	7,80
	2	3,42	9,13	3,63	4,92	5,06	7,23
GLUTEUSI	1	5,08	5,30	6,35	6,90	6,75	10,37
	2	5,12	7,02	8,55	6,77	6,84	12,73
STRAŽNJA SREDINA	1	4,06	4,0	8,88	3,16	4,86	10,31
	2	4,10	6,76	11,11	5,04	4,43	11,76
SREDINA BEDRA NA NAJVEĆEM OPSEGU BOKOVA	1	3,10	3,30	5,03	6,11	3,54	14,38
	2	3,58	10,36	7,76	5,48	5,56	16,81
VRH BEDRENOG MIŠIĆA NA LINIJI OPSEGA BEDRA SPRIJEDA	1	2,16	2,25	7,38	1,75	2,96	11,66
	2	3,99	10,54	6,53	1,43	4,79	10,87
VRH BEDRENOG MIŠIĆA NA LINIJI OPSEGA BEDRA	1	0,40	6,24	7,75	5,33	0,35	8,70
	2	0,75	9,38	13,09	0,77	0,54	9,14

STRAGA							
BEDRO – BOČNI ŠAV	1	3,49	3,64	7,34	5,60	4,37	12,55
	2	4,88	5,93	1,92	4,21	6,00	8,93

Utvrđene vrijednosti istezanja simulirane tkanine 1 i 2 na 3D modelima hlača u statičkom i dinamičkim položajima tijela pokazuju najveće istezanje u statičkom položaju na pozicijama stražnjice i bedra na najvećem opsegu bokova, u POLOŽAJU 1 na poziciji stražnjice, u POLOŽAJU 2 istezanje se povećava na pozicijama stražnjice i bedara na najvećem opsegu bokova i opsegu bedra sprijeda.

Najmanje vrijednosti istezanja u statičkom položaju očitavaju se na poziciji vrha bedrenog mišića na liniji opsega bedra sprijeda. U POLOŽAJU 1 na poziciji vrha bedrenog mišića na liniji opsega bedra straga te u POLOŽAJU 2 na poziciji prednje sredine se očitava najmanja vrijednost istezanja kod obje tkanine.

5.7. Rezultati utvrđivanja vrijednosti pritiska na računalnom 3D prototipu i realnom prototipu modela hlača u statičkom položaju

Tab. 16 Utvrđene vrijednosti pritiska simulirane tkanine na 3D modelu hlača i odabrane TKANINE 2 na realnom prototipu u statičkom položaju tijela

PRITISAK (<i>Normal Collision Pressure</i>) [N/m ²]		
POZICIJA MARKERA	Simulirani prototip	Realni prototip
PREDNJA SREDINA	40,54	133,33
BOČNI ŠAV	572,50	400,00
GLUTEUSI	666,78	533,33
STRAŽNJA SREDINA	37,59	133,33
MAKS. OB NAPRIJED	350,27	400,00
BEDRO, BOČNI ŠAV	350,27	400,00
MAKS. OPSEG TRBUHA	718,94	666,66

Rezultati utvrđivanja vrijednosti pritiska TKANINE 2 na 3D računalnom prototipu u statičkom položaju tijela pokazuju da je najveći pritisak izmjeren na području maksimalnog

opsega trbuha, stražnjice te bočnog šava, što je i potvrđeno mjerenjima na realnom prototipu. Obzirom na konstrukciju kroja hlača, rezultati nisu iznenađujući, jer su hlače visokog struka sa patentnim kopčanjem sa strane te u području struka i bokova moraju čvršće prianjati uz tijelo, kako tijekom kretanja ne bi klizale prema dolje. Najmanje vrijednosti pritiska utvrđene su na pozicijama prednje i stražnje sredine sjedalnog šava.

5.8. Rezultati utvrđivanja vrijednosti pritiska na računalnom 3D prototipu i realnom prototipu modela hlača u dinamičkim položajima

Tab. 17 Utvrđene vrijednosti pritiska simulirane tkanine na 3D modelu hlača i realnog prototipa u dinamičkim položajima tijela (P1 i P2)

PRITISAK (Normal Collision Pressure) [N/m²]				
POZICIJA MARKERA	Simulirani prototip		Realni prototip	
	POLOŽAJ 1 – P1	POLOŽAJ 2 – P2	POLOŽAJ 1 – P1	POLOŽAJ 2 – P2
PREDNJA SREDINA	185,91	221,47	133,33	133,33
BOČNI ŠAV	634,39	1557,34	400,00	933,33
GLUTEUSI	712,24	1776,40	666,66	1200,00
STRAŽNJA SREDINA	317,27	507,60	400,00	666,66
MAKS. OB NAPRIJED	418,91	1990,53	533,33	1333,33
BEDRO, BOČNI ŠAV	458,04	634,59	533,33	800,00
MAKS. OPSEG TRBUHA	372,70	361,96	400,00	400,00

Rezultati ispitivanja pritiska na računalnom i realnom prototipu pokazali su u većini mjernih točaka porast vrijednosti s obzirom na promjenu položaja tijela u pokretu. Najznačajnije promjene u vrijednostima pritiska uočene su na mjernim točkama maksimalnog opsega bedra naprijed, na stražnjici te bočnom šavu. Na području maksimalnog opsega trbuha, na prednjoj sredini sjedalnog šava, uočeno je opadanje vrijednosti pritiska što se može objasniti nabiranjem i odvajanjem tkanine od tijela u tom području pri izvođenju zadanih pokreta, dok se u skladu s tim vrijednost pritiska na stražnjoj sredini sjedalnog šava povećava s obzirom na pokrete i zadani pomak noge prema naprijed.

S obzirom da mjerni uređaj PicoPress mjeri vrijednosti pritiska u jedinicama mmHg, porast vrijednosti za 1 mmHg pokriva puno veći raspon vrijednosti u jedinicama N/m², koje podržava

CAD sustav te iz tog razloga dolazi do odstupanja u vrijednostima pritiska izmjerenim na računalnom i realnom prototipu.

Tako na primjer na računalnom prototipu hlača vrijednost pritiska u točki maksimalnog opsega trbuha raste u dinamičkim položajima 1 i 2, no vrijednosti porasta pritiska nisu značajno velike. Kod mjerenja realnog prototipa primjenom PicoPress uređaja nisu izmjerene promjene u vrijednostima pritiska s obzirom na dinamičke položaje 1 i 2, zbog toga što izmjerene vrijednost pritiska u mmHg pokrivaju veći raspon mjernih vrijednosti koje se dobivaju računalnom metodom u N/m^2 .

6. RASPRAVA

Svrha ovog rada je istraživanje ponašanja tkanine na tijelu u pokretu, metodom računalne analize naprezanja i istežanja te analizom pritiska simulirane tkanine na model tijela, što je provedeno na primjeru modela ženskih hlača. Po segmentima eksperimentalnog dijela rada izvedena su računalna mjerenja, primjenom programskog paketa za računalnu konstrukciju i modeliranje odjeće CAD sustava Optitex. Rasprava o rezultatima dobivenim u eksperimentalnom dijelu rada temelji se na analizi naprezanja i istežanja računalnih 3D prototipova u statičkom i dinamičkim položajima tijela te analizi pritiska računalnog 3D prototipa s odabranom apliciranom tkaninom. Analogno je provedena analiza mjernih rezultata dobivenih mjerenjem na realnom prototipu modela hlača, izrađenom iz odabrane simulirane TKANINE 2, u statičkom i dinamičkim položajima tijela.

Utvrđivanje svih potrebnih parametara i izvođenje 3D simulacije modela

Nakon modeliranja krojnih dijelova potrebno je svakom krojnom dijelu odrediti cilindričnost, orijentaciju i poziciju u odnosu na tijelo te ostale parametre 3D simulacije, što je opisano u metodici rada. Također, kako bi 3D simulacija bila uspješna, na 2D krojnim dijelovima označavaju se segmenti kroja koji se spajaju tijekom 3D simulacije u računalni 3D prototip modela odjevnog predmeta. Posebno treba paziti na smjer zadavanja šavova, jer zbog krivog smjera i krivo postavljenih šavova, 3D simulacija može biti neuspješna. Nakon uspješne 3D simulacije modela ženskih hlača, krojnim dijelovima se zadaju parametri odabranih materijala kako bi 3D simulacija bila što realističnije prikazana. 3D simulacija je složen proces, jer zahtijeva vrlo temeljitu pripremu 2D krojnih dijelova kojima prije početka pozicioniranja treba odrediti smjer osnove, simetričnost krojnih dijelova i parove krojnih dijelova. O pozicioniranju krojnih dijelova ovisi rezultat 3D simulacije.

Ispitivanje pristajalosti odjevnog predmeta u statičkom položaju

Pristajalost simuliranog 3D prototipa modela s aspekta naprezanja i istežanja simulirane tkanine analizirana je u statičkom položaju, pomoću mape naprezanja i mape istežanja CAD sustava. Rezultati ispitivanja pristajalosti odjevnog predmeta u statičkom položaju prikazani su u tablicama 8 i 9. Iz priloženih rezultata utvrđena su najveća naprezanja i istežanja modela na području stražnjice, bočnog šava i na području najvećeg opsega bedra. Takvi mjerni podaci su rezultat konstrukcije kroja modela ženskih hlača koji je visokog struka i pripijen uz tijelo

na području struka. Nogavice su ravne te od pozicije najvećeg opsega bokova nisu priljubljene uz tijelo.

Animacija modela odjevnog predmeta i ispitivanje pristajalosti u dinamičkim pokretima

Nakon ispitivanja pristajalosti modela u statičkom položaju, pokreće se računalna animacija modela koja se zaustavlja u dva karakteristična položaja. Vrijednosti naprezanja i istežanja materijala očitavane su u oba dinamička položaja tijela. Iz priložene tablice 10, rezultati utvrđivanja vrijednosti naprezanja u dinamičkim položajima pokazali su najveće naprezanje obje tkanine u POLOŽAJU 1 na području bočnog šava i stražnjice, a u POLOŽAJU 2 na području stražnjice i opsega bedra na najvećem opsegu bokova. Najmanje vrijednosti naprezanja kod obje tkanine, u POLOŽAJU 1 utvrđene su na poziciji vrha bedrenog mišića na liniji opsega bedra straga, a u POLOŽAJU 2 najmanje naprezanje pokazalo se na području prednje sredine i bočnog šava. Takvo ponašanje tkanina opravdano je dinamikom pokreta tijela gdje se uslijed podizanja noge koja je u iskoraku, tkanina na nogavici nabire i podiže u području trohantera, te tako dolazi do manjih vrijednosti naprezanja na području bedra noge koja je u iskoraku.

U tablici 11 rezultati utvrđivanja vrijednosti istežanja u dinamičkim položajima pokazuju najveće vrijednosti istežanja kod obje tkanine u dinamičkom POLOŽAJU 1 na području stražnjice, a u POLOŽAJU 2 na poziciji sredine bedra na najvećem opsegu bokova. Najmanje vrijednosti istežanja u POLOŽAJU 1 na poziciji mjerenja vrha bedrenog mišića na liniji opsega bedra straga i poziciji trohantera. Takav rezultat istežanja posljedica je mehaničkog ponašanja tkanine u odabranom modelu odjevnog predmeta. U području trohantera tkanina se podiže i skuplja te ni ne dolazi u dodir sa tijelom na mjernoj poziciji, a kod linije opsega bedra straga model hlača dopušta opuštanje tkanine od tijela te na toj mjernoj poziciji tkanina nije u dodiru s tijelom. U POLOŽAJU 2 najmanje istežanje očitano je na poziciji prednje sredine, gdje ne dolazi do istežanja, jer se taj dio tijela ne pomiče tijekom iskoraka.

Usporedba naprezanja i istežanja računalnih prototipova u statičkim i dinamičkim uvjetima

Nakon pojedinačno provedenih analiza ponašanja tkanina u statičkom i dinamičkim položajima tijela, u tablicama 8 i 9 skupno su prikazani ukupni rezultati analize naprezanja i

istezanja od statičkog položaja tijela prema dinamičkom položaju 2. U tablici 12, prikazane utvrđene vrijednosti naprezanja simulirane tkanine na 3D modelu hlača u statičkom i dinamičkim položajima tijela pokazuju najveće naprezanje obje tkanine za statički položaj na pozicijama stražnjice i bočnih šavova, a u POLOŽAJU 1 na poziciji stražnjice te u POLOŽAJU 2 na poziciji stražnjice i bedra. U tablici 13 utvrđene vrijednosti istežanja simulirane tkanine na 3D modelu hlača u statičkom i dinamičkim položajima tijela pokazuju najveće istežanje obje tkanine u statičkom položaju na pozicijama stražnjice i bedra na najvećem opsegu bokova, u POLOŽAJU 1 na poziciji stražnjice, a u POLOŽAJU 2 istežanje se povećava na pozicijama stražnjice i bedra na najvećem opsegu bokova i opsegu bedra sprijeda. Najmanje vrijednosti istežanja obje tkanine u statičkom položaju očitavaju se na poziciji vrha bedrenog mišića na liniji opsega bedra sprijeda. U POLOŽAJU 1 na poziciji vrha bedrenog mišića na liniji opsega bedra straga te u POLOŽAJU 2 na poziciji prednje sredine se očitava najmanja vrijednost istežanja kod obje tkanine.

Prikazani rezultati ponašanja tkanine uslijed pokreta opravdani su konstrukcijom kroja i parametrima materijala.

Utvrđivanja vrijednosti pritiska na računalnom 3D modelu hlača i realnom prototipu u statičkom položaju

U tablici 14 rezultati utvrđivanja vrijednosti pritiska simulirane TKANINE 2 na 3D računalnom prototipu u statičkom položaju tijela pokazuju da je najveći pritisak izmjeren na području maksimalnog opsega trbuha i stražnjice, dok je kod realnog prototipa najveći pritisak izmjeren na područjima maksimalnog opsega trbuha, i bočnih šavova. Obzirom na konstrukciju kroja hlača, rezultati nisu iznenađujući jer su hlače visokog struka sa patentnim kopčanjem sa strane, te u području struka i bokova moraju prijanjati uz tijelo kako tijekom kretanja tijela ne bi klizale prema dolje. Najmanje vrijednosti pritiska kod simuliranog 3D računalnog prototipa u statičkom položaju tijela izmjerene su na poziciji prednje i stražnje sredine, a kod realnog prototipa na pozicijama prednje i stražnje sredine, stražnjice i poziciji opsega bedra.

Usporedba realnog i računalnog prototipa u dinamičkim položajima

U tablici 15 prikazane su utvrđene vrijednosti istezanja simulirane tkanine na 3D modelu hlača u statičkom i dinamičkim položajima tijela, koje pokazuju najveće istezanje u statičkom položaju na pozicijama stražnjice i bedra na najvećem opsegu bokova, u POLOŽAJU 1 na poziciji stražnjice. U POLOŽAJU 2 istezanje se povećava na pozicijama stražnjice i bedara na najvećem opsegu bokova i opsegu bedra sprijeda. Najmanje vrijednosti istezanja u statičkom položaju očitavaju se na poziciji vrha bedrenog mišića na liniji opsega bedra sprijeda. U POLOŽAJU 1 na poziciji vrha bedrenog mišića na liniji opsega bedra straga te u POLOŽAJU 2 na poziciji prednje sredine se očitava najmanja vrijednost istezanja kod obje tkanine. Svaka promjena naprezanja i istezanja tkanine na tijelu tijekom kretanja, određena je dinamikom gibanja tijela i dinamikom ponašanja materijala, odnosno konstrukcijom modela odjevnog predmeta. Prikazani model ženskih hlača s aspekta dizajna i izrade modela treba imati čvršću formu u predjelu stuka, kako se tijekom nošenja na tom području ne bi formirali neželjeni poprečni nabori. Stoga je za prikazani model hlača izabrana TKANINA 2, koja je zbog utvrđenih vrijednosti parametara fizikanih i mehaničkih svojstava ocijenjena kao primjereniji izbor za konstruirani model hlača. TKANINA 2 je po svojim karakteristikama čvršća i manje elastična od uspoređene TKANINE 1 te time više odgovara zahtjevima koji definiraju željenu formu gotovog odjevnog predmeta. Povećana elastičnost tkanine koja je utvrđena za TKANINU 1, kod prikazanog modela hlača u tom smislu ne bi bila najbolji izbor.

7. ZAKLJUČAK

Cilj istraživanja u sklopu ovog rada bio je istražiti mogućnosti objektivne računalne analize i predviđanja ponašanja tkanine definiranih fizikalnih i mehaničkih svojstava s aspekta naprežanja i istežanja na računalnom, parametarskom modelu tijela, u statičkom i dinamičkim položajima tijela. Na temelju prikazanih rezultata istraživanja i provedene rasprave, mogu se istaknuti sljedeći zaključci:

- 2D/3D CAD sustavi omogućuju vizualizaciju modeliranog 2D kroja na 3D parametarskom modelu tijela odgovarajućih dimenzija odnosno odjevne veličine, čime se omogućuje analiza i verifikacija modela s aspekta dizajna i konstrukcije kroja.
- Eventualno uočeni nedostaci u konstrukciji na simuliranom 3D modelu odjavnog predmeta mogu se korigirati na 2D krojnim djelovima, te se postupkom ponovne simulacije može u potpunosti verificirati kroj.
- Uspješnost 3D simulacije prototipa modela ovisi o sustavno provedenom definiranju parametara simulacije i parametara krojnih dijelova.
- Kako bi se postigao realističan prikaz 3D modela odjavnog predmeta, u sustavu za 3D simulaciju moguće je definirati vrijednosti fizikalnih i mehaničkih svojstava materijala od kojih se odabrani odjevni predmet želi izraditi.
- 3D simulacijom prototipa modela odjavnog predmeta može se provjeriti usklađenost kroja sa svojstvima materijala, sukladno namjeni odjavnog predmeta.
- Vrijednosti naprežanja ili istežanja simuliranog materijala na određenoj zoni na modelu odjavnog predmeta prikazuju se grafički u određenoj skali boja, temeljem koje se mogu analizirati i predvidjeti zone najvećeg i najmanjeg naprežanja ili istežanja materijala na modelu odjavnog predmeta.
- Provedba analize naprežanja, istežanja i pritiska računalnog 3D prototipa modela značajna je s aspekta mogućnosti višekratnih korekcija kroja prije izvedbe realnog prototipa, čime se u velikoj mjeri mogu ostvariti uštede prilikom izrade probnih uzoraka modela.

- Izvedbom i mjerenjem vrijednosti pritiska realnog prototipa na tijelo može se zaključiti da se pozicije najvećeg pritiska materijala na tijelo podudaraju s računalnim ispitivanjem 3D modela, čime je računalna metoda verificirana.

S obzirom na izvedene zaključke, prikazana metoda računalne analize i procjene funkcionalnosti modela odjevnog predmeta, verificirana je kao jedna od mogućih metoda vrednovanja računalnog prototipa modela odjevnog predmeta.

Računalnim mjerenjem naprezanja i istežanja simuliranog tekstilnog materijala na tijelu u statičkom i dinamičkim uvjetima moguće je procijeniti funkcionalnost modela odjevnog predmeta s aspekta potrebne komocije kroja za odabrani tekstilni materijal, čime je potvrđena prva hipoteza istraživanja. 3D simulacija prototipa modela izvedena je uz primjenu utvrđenih vrijednosti fizikalnih i mehaničkih svojstava analiziranih tkanina te su uspješno utvrđene pozicije najvećih i najmanjih naprezanja i istežanja simulirane tkanine na modelu u definiranim mjernim točkama, što omogućuje predviđanje eventualno potrebnih modifikacija kroja modela, ovisno o željenoj komociji i funkcionalnosti modela odjevnog predmeta. Rezultati analize naprezanja i istežanja u mjernim točkama prikazuju najveće i najmanje vrijednosti u skladu s konstitucijom modela tijela i konstrukcijom odjevnog predmeta. Vrijednosti mjerenja na računalnom i realnom prototipu nisu u potpunosti identične, ali se računalnom analizom dovoljno točno može predvidjeti na kojim mjestima će doći do najvećih, a na kojim do najmanjih vrijednosti naprezanja i istežanja odjevnog predmeta na tijelu, u odabranim položajima tijela.

Računalnim mjerenjem pritiska simuliranog 3D prototipa modela ženskih hlača na tijelo moguće je objektivno procijeniti funkcionalnost modela ženskih hlača u dinamičkim položajima tijela, prije izrade realnog prototipa modela, čime je dokazana i druga postavljena hipoteza istraživanja. Računalno izmjerene vrijednosti pritiska u korelaciji su s vrijednostima izmjerenim na istim mjernim pozicijama na realnom prototipu te iako nisu u potpunosti identične, računalnim putem može se dovoljno točno procijeniti funkcionalnost modela odjevnog predmeta u smislu predviđanja pritiska tkanine na tijelo. Metoda omogućuje pouzdano predviđanje na kojim pozicijama na modelu će doći do većeg ili manjeg pritiska na tijelu tijekom nošenja realnog prototipa.

8. LITERATURA

- [1] Ujević D., Rogale D., Hrastinski M.: Tehnike konstruiranja i modeliranja odjeće, Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno – tehnološki fakultet, ISBN 953-96408-1-4, Zagreb 2000.
- [2] Petrova A. and Ashdown SP.: Comparison of garment sizing systems. *Clothing and Textiles Research Journal*. 2012; 30(4): 315-329
- [3] G. Song (2011): *Improving comfort in Clothing*, Woodhead Publishing Series in Textiles number 106 and The Textile Institute, ISBN 978-1-84569-539-2, Cambridge England
- [4] Simmons K, Istook C and Devarajan P. Female figure identification technique (FFIT) for apparel Part I: Describing female shapes. *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management* 2004; 4(1): 1-16
- [5] Vuruskan A. and Bulgun E. Identification of female body shapes based on numerical evaluations. *International Journal of Clothing Science and Technology* 2011; 23 (1): 46-60
- [6] Y.J. Wang, P.Y. Mok, Y. Li, Y.L.Kwok (2011): *Body measurements of Chinese males in dynamic postures and application*, Institute of Textiles and Clothing, The Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, Kowloon, Hong Kong, China, Applied Ergonomics, ISBN: 0-203-302-59-1
- [7] Geršak J.: *Objektivno vrednovanje plošnih tekstilija i odjeće*, Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno – tehnološki fakultet, ISBN 978-953-7105-42-6, Zagreb 2014
- [8] 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 Technologies / D'Apuzzo, N. (ur.)*. ISBN: 978-3-033-05981-8 Ascona, Switzerland : Hometrica Consulting, 2016. 302-313,
- [9] Zülch G, Koruca HI and Börkircher M. Simulation-supported change process for product customization – A case study in a garment company. *Computers in Industry* 2011; 62(6): 568-577
- [10] Wang J, Lu G, Chen L, Geng Y and Deng W. Customer participating 3D garment design for mass personalization. *Textile Research Journal* January 2011; 81:187-204 50

- [11] Dong B, Jia H, Li Z and Dong K.: Implementing Mass Customization in Garment Industry. *Systems Engineering Procedia* 2012; 3: 372–380
- [12] Chen CM.:Fit evaluation within the made-to-measure process. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2007; 19(2): 131-144
- [13] C. Fairhurst (2008): *Advances in apparel production*, Woodhead Publishing in textiles number 69 and The Textile Institute, ISBN: 978-1-84569-295-7, Cambridge England
- [14] Fan J., Yu W., Hunter L. (2004): “Clothing appearance and fit: Science and Technology“, Woodhead Publishing Limited and The Textile Institute, ISBN: 1-85573-745-0, Cambridge England
- [15] Rogale D., Polanović S.: Računalni sustavi konstrukcijske pripreme u odjevnoj industriji, Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno – tehnološki fakultet , ISBN 953-96183-9-8, Zagreb 1996.
- [16] D’Apuzzo, N., (2009): “Recent advances in 3D full body scanning with applications to fashion and apparel”, *Proceedings of 9th Conference on Optical 3D Measurement Techniques 2009*, Vienna, Austria
- [17] Chun, J., Oh, S., (2004): “3D Body Scanning Posture to Collect Anthropometric Data for Garment Making”, *Journal of Asian Regional, Association for Home Economics*, Vol.11, No.4, pp.301-307.
- [18] Simmons, K. and Istook, C., (2003): “Body measurement techniques: Comparing 3D body-scanning and anthropometric methods for apparel applications” *Journal of Fashion Marketing and Management*, Vol.7, No.3, pp.306-332.
- [19] Liu Chi and Richard Kennon (2006):” Body scanning of dynamic posture”, *International Journal of Clothing Science and Technology*, Vol.17, No.3, pp. 166-178
- [20] Kawabata S.:*The Standardization and Analysis of Hand Evaluation. Second Edition. – The Hand Evaluation and Standardization Committee: The Textile Machinery Society of Japan*, 1980
- [21] Boos, A., Tester, D. SiroFAST – A System for Fabric objective Measurement and its Application in Fabric and Garment Manufacture. Report No. WT97.02 CSIRO Australia 1994: 35 p.

- [22] Petrak, S., Rogale, D.; Industrijska unikatna proizvodnja odjeće na temelju 3D – CAD modela čovjeka, ISSN 0492-5882Tekstil, 48 (1999) No. 8, pp. 397-410,
- [23] Petrak S.; Jukl N.; Hursa Šajatović A.; Geršak J.: Research of the Motorcycle Trousers Functionality Depending of Construction Parameters of Cutting Parts // Book of Proceedings of the 8th International Textile, Clothing & Design Conference 2016 – Magic World of Textiles / Dragčević Z., Hursa Šajatović A., Vujašinović E. (ur.). Zagreb : University of Zagreb, Faculty of Textile Technology, 2016. 260-265
- [24] 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 “Fundamental and applied kinesiology - steps forward” / Milanović D. ; Sporiš G. (ur.). Zagreb : University of Zagreb, Faculty of Kinesiology, 2014. 165-169
- [25] Petrak S.; Mahnić M.: Implementacija suvremenih računalnih sustava u procesima industrijskog dizajna i konstrukcije odjeće // ZBORNİK RADOVA 5. ZNANSTVENO-STRUČNO SAVJETOVANJE TEKSTILNA ZNANOST I GOSPODARSTVO / Ujević, D. ; Penava Ž. (ur.). Zagreb : Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, 2012. 25-36
- [26] Liu YJ, Zhang DL and Yuen MMF. A survey on CAD methods in 3D garment design. Computers in Industry 2010; 61: 576–593
- [27] Wu YY, Mok PY, Kwok YL, Fan JT and Xin JH. 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, June 15th – 17th, 2011, Venice, Italy 463-468
- [28] Song HK. and Ashdown SP. Development of Automated Custom-Made Pants Driven by Body Shape. Clothing and Textiles Research Journal. 2012; 30(4): 315-329
- [29] Au CK and Ma YS. Garment pattern definition, development and application with associative feature approach. Computers in Industry 2010; 61(6): 524-531
- [30] Mahnić, M.; Petrak, S.: Investigation of the Fit of Computer-Based Parametric Garment Prototypes, Journal of Fiber Bioengineering and Informatics,(2013), 6 : 1, 51-61

[31] Optitex, URL: www.optitex.com, Pristupljeno: [10_02_2017]

[32] Čunko R., Andrassy M.: Vlakna, Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno – tehnološki fakultet, ISBN 953-155-089-1, Zagreb 2005.

[33] Čunko R., Pezelj E.: Tekstilni materijali, Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno – tehnološki fakultet, ISBN 953-155-061-1, Čakovec 2002.

[34] Textiles-Textiles-Woven fabrics-Construction-Methods of analysis-Part2: Determination of number of threads per unit length

URL: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=13842, Pristupljeno

[9_02_2017]

[35] Tokmak O, Berkalp OB and Gersak J. Investigation of the Mechanics and Performance of Woven Fabrics Using Objective Evaluation Techniques. Part I: The Relationship Between FAST, KES-F and Cuisick's Drape-Meter Parameters. *Fibres&Textiles in Eastern Europe*, 2010; 18(2): 55–59

[36] Microlab Elettronica s.a.s. di Bergamo Giorgio & C. via G. Rossa.: Technical manual for users M-688 Rev. 5, 35 – 35020 Ponte S. Nicolo' (PD) Italy, 2010.

[37] Shyra T.W., Wang P.N., Cheng K.B.: A Comparison of the Key Parameters Affecting the Dynamic and Static Drape Coefficients of Natural-Fibre Woven Fabrics by a Newly Devised Dynamic Drape Automatic Measuring System
URL: <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.baztech-ebdfb27e-5823-4306-8401-c310ec4e9be2>, Pristupljeno [9_02_2017]

[38] MadameGress

URL: https://www.google.hr/search?q=c4b33209d74e9ef5aeae76b3e3422656&espv=2&biw=1366&bih=638&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi5pfuXIZfSAhVF3SwKHUAVByUQ_AUIBigB#imgrc=_W6Iyqqb8HEuTM, Pristupljeno [12_02_2017]

[39] 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

[40] Gerber technology, URL: www.gerbertechnology.com, Pristupljeno [10_02_2017]

[41] Tokmak O, Berkalp OB and Gersak J. Investigation of the Mechanics and Performance of Woven Fabrics Using Objective Evaluation Techniques. Part I: The Relationship Between FAST, KES-F and Cuisick's Drape-Meter Parameters. *Fibres&Textiles in Eastern Europe*, 2010; 18(2): 55–59

[42] Gill S.: Improving garment fit and function through ease quantification. *Journal of Fashion Marketing and Management* 2011; 15 (2): 228-241

[43] Lorković M.: Modeliranje kolekcije ženskih hlača primjenom CAD sustava konstrukcijske pripreme, završni rad, Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno – tehnološki fakultet, 2014; voditelj: Petrak Slavenka