

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ
“GHEORGHE ASACHI” DIN IAȘI**



REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

PROIECTAREA UNOR ECHIPAMENTE DE PROTECȚIE INDIVIDUALĂ CU PERFORMANȚE ÎMBUNĂTĂȚITE PENTRU CĂȚĂRĂTORI

Diana-Roxana VIZITEU (TARAȘI)

Conducător de doctorat:

Prof. univ. dr. ing. Antonela CURTEZA

IAȘI, 2024

PROIECTAREA UNOR ECHIPAMENTE DE PROTECȚIE INDIVIDUALĂ CU PERFORMANȚE ÎMBUNĂTĂȚITE PENTRU CĂȚĂRĂTORI

Diana-Roxana VIZITEU (TARAȘI)

Domeniul Inginerie Industrială

Președinte comisie doctorat: Prof.univ.dr.ing.habil Mirela Blaga

Conducător de doctorat: Prof.univ.dr.ing. Antonela Curteza

Referenți oficiali: Conf.univ.dr. Marcela Irovan

Prof.univ.dr.habil Silviu Mihail Tiță

Prof.univ.dr.ing.habil. Manuela Lăcrămioara Avădanei

Cuprins

LISTA DE FIGURI	5
NOTAȚII, ABREVIERI, ACRONIME*	8
INTRODUCERE	9
CAPITOLUL 1. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR ȘTIINȚIFICE PRIVIND TEHNOLOGIILE MODERNE DE PROIECTARE A UNOR ECHIPAMENTE DE PROTECȚIE INDIVIDUALĂ	12
1.1. Industria modelului și tehnologiile 3D	12
1.1.1 Sisteme de proiectare	12
1.1.2 Prototiparea virtuală	12
1.1.3 Procesele de design vestimentar	13
1.2. Metode antropometrice de măsurare a corpului uman	15
1.2.1 Metoda de măsurare prin contact direct	15
1.2.2 Metoda de măsurare fără contact direct	15
1.3. Tehnologii aditive 3D	18
1.3.1. Modelare virtuală și tehnici de simulare computerizată	18
1.3.2. Modele cinematice de proiectare virtuală a corpului în poziții dinamice	18
1.3.3. Aplicații ale software-urilor 3D în proiectarea articolelor de îmbrăcăminte funcționale	19
1.3.4. Elemente de protecție integrate în îmbrăcăminte	20
CAPITOLUL 2. STUDIUL PROFILULUI ANTROPOMETRIC ȘI FIZIOLOGIC AL SPORTIVULUI DE ESCALADĂ	24
2.1. Aspecte de biomecanică specifice escaladei pe stâncă	24
2.1.1 Noțiuni generale	24
2.1.2 Definirea mișcărilor anatomice de bază	25
2.2 Escalada pe stâncă – cadru general existent	29
2.1.1. Tehnici de cățărare	30
2.2.2. Echipament de protecție pentru cățărare	31
2.3. Profilul antropometric al cățărătorului	32
2.4. Identificarea și analiza nevoilor specifice ale cățărătorilor prin chestionar	33

CAPITOLUL 3. PROIECTAREA ȘI MODELAREA PANTALONULUI DE ESCALADĂ	37
3.1. Abordări teoretice în proiectarea formei geometrice a produsului pantalon.....	37
3.1.1. Elemente stilistice și dimensionale în designul pantalonului de cățărare.....	37
3.2. Cerințe legate de proiectarea pantalonilor pentru cățărare	39
3.2.1. Caracteristici care vizează materialele textile.....	39
3.2.2 Adaptabilitate pentru persoane cu nevoi speciale.....	39
3.3.1. Evaluarea virtuală a îmbrăcăminții - metode și instrumente.....	40
3.3.2. Modelul cinematic de cățărător	46
CAPITOLUL 4. PROIECTAREA ȘI MODELAREA GENUNCHIEREI.....	56
4.1. Structura și funcția genunchiului.....	56
4.2. Analiza datelor necesare proiectării	57
4.2.1. Colectarea datelor volumetrice ale genunchiului	57
4.2.2. Fotografierea subiectului	57
4.2.3. Procesarea de tip Mesh	58
4.3. Proiectarea și modelarea genunchierei	58
4.4. Simularea comportamentului genunchierei utilizând metoda cu elemente finite	60
4.4.1. Dezvoltarea rețelei de suprafață pe genunchiul virtual 3D.....	60
4.4.2. Materiale utilizate în proiectarea genunchierei.....	61
4.4.3 Modele de încărcări	63
CAPITOLUL 5. ELABORAREA PROTOTIPURILOR FIZICE PENTRU GENUNCHIERĂ ȘI PANTALONI	66
5.1. Imprimarea 3D	66
5.1.1. Etape de pregătire pentru imprimarea 3D.....	66
5.1.2. Etape de imprimare.....	67
5.1.3. Etape postprocesare	68
5.2. Materiale utilizate în imprimarea 3D	68
5.2.1. Materiale folosite în cadrul metodei de imprimare 3D.....	68
5.2.2. Materiale textile utilizate pentru confecționarea pantalonului	70
5.3. Validarea ansamblului produs-genunchieră în poziție dinamică de escaladă	72

5.4. Testarea și evaluarea prototipului fizic	77
CAPITOLUL 6. CONCLUZII GENERALE ȘI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE	82
6.1. Concluzii finale și contribuții personale.....	82
6.2. Direcții viitoare de cercetare	86
BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ	88

LISTA DE FIGURI

Figura 1. 1 Procesul de design vestimentar – varianta tradițională	14
Figura 1. 2 Procesul de design vestimentar – varianta virtuală	14
Figura 1. 3 Măsurare prin fotogrammetrie.....	16
Figura 1. 4 Scanarea corpului	17
Figura 2. 1 Proiecția centrului de greutate	25
Figura 2. 2 Mișcările membrelor superioare în plan sagital în jurul axei frontale.....	26
Figura 2. 3 Mișcări ale părții superioare ale corpului în plan sagital în jurul axei frontale	26
Figura 2. 4 Mișcări ale membrelor inferioare ale corpului în plan sagital în jurul axei frontale	26
Figura 2. 5 Mișcări în plan frontal în jurul axei sagitale	27
Figura 2. 6 Mișcări în plan sagital în jurul axei frontale.....	27
Figura 2. 7 Amplitudinea mișcărilor membrului inferior în plan sagital	28
Figura 2. 8 Rotația membrului inferior în plan transversal.....	28
Figura 2. 9 Sistemul de straturi suprapuse: principiul celor trei straturi.....	31
Figura 2. 10 Frecvența activității de cățărare	33
Figura 2. 11 Întrebare deschisă - chestionar	34
Figura 3. 1 Modele de pantaloni (a) și (b) modele ajustate pe corp, (c) model lejer	42
Figura 3. 2 Setările instrumentelor de cartografiere a presiunii și a tensiunii	42
Figura 3. 3 Simulare în poziția de alergare – Modelul b)	44
Figura 3. 4 Simulare în șezut – Modelul b).....	45
Figura 3. 5 Funcția Auto-rigger	47
Figura 3. 6 Mișcări simulate în Mixamo.....	47
Figura 3. 7 Identificarea zonelor cu risc	48
Figura 3. 8 Model cinematic - unghi $\partial 1$	48
Figura 3. 9 Model cinematic - unghi $\partial 2$	48
Figura 3. 10 Preluarea formelor cu instrumentul 3D Pen (Avatar).....	49
Figura 3. 11 Activarea funcției flatten pentru desfășurarea reperelor.....	49
Figura 3. 12 Reperele modelului - suprafețe plane	49
Figura 3. 13 Definire repere și simulare coasere	50
Figura 3. 14 Asamblare articol pe manechin	51
Figura 3. 15 Introducere linii de divizare și particularități de model.....	51
Figura 3. 16 Introducere particularități model pentru zona genunchiului.....	51
Figura 3. 17 Poziție dinamică a) harta de tensiune;	51
Figura 3. 18 Prototip virtual - pantalon pentru cățărător: (a) vedere față; (b) vedere laterală dreapta; (c) spate; (d) vedere laterală stânga.	52

Figura 3. 19 Simularea și evaluarea comportamentului îmbrăcămintei la potrivire (a) tensiune; (b) deformare; (c) potrivire; (d) presiune.	53
Figura 4. 1 Etapa de pregătire – conturarea zonelor de interes pe subiect- vederi	58
Figura 4. 2 Operațiunea de scalare a modelului.....	58
Figura 4. 3 Mesh obținut din reconstrucție digitală	59
Figura 4. 4 Vizualizarea genunchierei	59
Figura 4. 5 Aplicarea detaliilor în obiect	59
Figura 4. 6 Randarea genunchierei	59
Figura 4. 7 Distribuția de principiu a forțelor sub o presiune normală constantă: (a) simulare în programul Grasshopper a descărcării forțelor pentru genunchiera montată în pantalon; (b) aplicație integrată în Rhino.....	59
Figura 4. 8 Etape în analiza cu element finit.....	60
Figura 4. 9 Pregătirea geometrică	60
Figura 4. 10 Corpuri solide	61
Figura 4. 11 Succesiunea de etape ale modulului Static Structural	61
Figura 4. 12 Definirea proprietăților materialelor în Engineering Data	62
Figura 4. 13 Verificarea geometriei ansamblului picior-genunchieră-stâncă	62
Figura 4. 14 Atribuirea materialelor	63
Figura 4. 15 Stabilirea conexiunilor de tip Geometrie: stâncă-genunchieră și genunchieră-genunchi.....	63
Figura 4. 16 Stabilirea conexiunilor de tip Geometrie: stâncă-genunchi-genunchieră și genunchieră-genunchi.....	63
Figura 4. 17 Generarea liniilor de rețea pentru conexiunile geometrice.....	63
Figura 4. 18 Condiții de analiză	63
Figura 4. 19 Rezolvarea modelului	63
Figura 4. 20 Analiza comparativa între picior fără genunchieră și picior cu genunchieră la nivelul câmpurilor eforturilor von Mises.....	64
Figura 5. 1 Metoda de imprimare 3D - FDM.....	66
Figura 5. 2 Etapele cheie în imprimarea 3D a genunchierei	67
Figura 5. 3 Exportul modelului 3D al genunchierelor și setările de imprimare pentru varianta de material TPU.....	67
Figura 5. 4 Etapa de Slicing	68
Figura 5. 5 Imprimare 3D cu filament PLA.....	69
Figura 5. 6 Imprimare 3D cu filament TPU	69
Figura 5. 7 Imprimare 3D cu filament TPE	69

Figura 5. 8 Aspectul final al prototipurilor de genunchiere proiectate și realizate	69
Figura 5. 9 Materialul principal folosit pentru realizarea produsului - țesătura ripstop	70
Figura 5. 10 Materialul secundar folosit pentru realizarea reperului de genunchi– țesătura UltraStretch.....	71
Figura 5. 11 Materialul secundar folosit pentru realizarea reperelor placă spate și clin interior – țesătură din poliamidă.....	71
Figura 5. 12 Aspect final prototip virtual.....	72
Figura 5. 13 Potrivirea genunchierei pe avatar	72
Figura 5. 14 Integrarea genunchierei în ansamblul vestimentar	72
Figura 5. 15 Forma volumetrică a genunchierei integrate în prototipul virtual.....	72
Figura 5. 16 Simulare - distribuția punctelor la potrivire și ajustare	73
Figura 5. 17 Simulare – harta de deformare.....	73
Figura 5. 18 Simulare – harta de tensiune.....	73
Figura 5. 19 Mișcarea de atingere a prizei pe faze – a) stabilizare; b) pregătire; c) deplasare	74
Figura 5. 20 Bibliotecă de poziții pentru avatar.....	74
Figura 5. 21 Validare ansamblu produs-genunchieră în faza de stabilizare	75
Figura 5. 22 Validare ansamblu produs-genunchieră în faza de pregătire.....	75
Figura 5. 23 Validare ansamblu produs-genunchieră în faza de deplasare.....	75
Figura 5. 24 Validarea prototipului dezvoltat conceptual.....	76
Figura 5. 25 Aspectul prototipului fizic	77
Figura 5. 26 Soluția de integrare a genunchierei într-un compartiment de tip buzunar	77
Figura 5. 27 Soluția de integrare a genunchierei într-un suport cu benzi elastice	78
Figura 5. 28 Testarea prototipului de către subiect – aprecierea mobilității.....	78
Figura 5. 29 Testarea pe teren de escaladă și bouldering.....	79

NOTAȚII, ABREVIERI, ACRONIME*

N, A, A,	Descriere
2D	Bidimensional
3D	Tridimensional
UCD	Design centrat pe utilizator
RP	Prototiparea rapidă
FDM	Modelare prin extrudare termoplastica (depunere de material topit)
AM	Fabricarea Aditivă
FEM	Metoda elementului finit
FEA	Analiză cu elemente finite

*Abrevieri ale unor concepte și metode utilizate în teză

INTRODUCERE

Tema aleasă, „PROIECTAREA UNOR ECHIPAMENTE DE PROTECȚIE INDIVIDUALĂ CU PERFORMANȚE ÎMBUNĂTĂȚITE PENTRU CĂȚĂRĂTORI”, vine în sprijinul practicanților de escaladă pe stânca, un domeniu sportiv care nu beneficiază încă de literatură de specialitate și de aplicații practice aplicate în domeniul textil și are ca obiectiv elaborarea unor produse personalizate care să satisfacă nevoile personalizate.

Necesitatea proiectării unor echipamente de protecție centrate pe utilizatorul final devine tot mai stringentă, iar prin investigația științifică încercăm să contribuim la dezvoltarea perspectivei de cercetare, prin aportul de informații prezentat. Inovația conceptuală constă în combinarea articolelor vestimentare cu elemente de protecție personalizate. Aceste elemente unicat sunt realizate prin utilizarea tehnologiei 3D-scan–3D-print și alături de procesul convențional de fabricație a produselor textile, urmăresc crearea unei sinergii ideale între individ și articolul de îmbrăcăminte.

Prezenta lucrare explorează potențialul introducerii tehnologiilor digitale în procesul de proiectare și dezvoltare al unui produs de îmbrăcăminte funcțională: îmbrăcăminte concepută pentru escaladă pe stâncă, cu inserția unui element adiacent pentru protecția genunchiului.

În concordanță cu avansul tehnologic din domeniul proiectării articolelor vestimentare, cercetătorii au investigat avantajele utilizării software-ului de modelare/vizualizare 3D a îmbrăcăminte pentru a crea articole de îmbrăcăminte multifuncționale. Metodele avansate de proiectare personalizată a confecțiilor textile presupun utilizarea succesivă și combinată ale mai multor funcții ale software-ului specializat. Aceste metodologii validate de proiectare ilustrează un proces complex prin care modelarea tridimensională (3D) a unui produs este utilizată pentru a asambla tiparele bidimensionale, ce semnifică desfășuratele plane ale reperelor de produs, pe un manechin de tip avatar virtual, pentru a testa și valida geometria, construcția, silueta, ajustarea sau chiar drapajul materialului textil. Acest proces digital este util pentru a studia atât potrivirea, cât și funcționalitatea designului înainte de a se fabrica îmbrăcămintea propriu-zisă.

În sistemele informatice, tehnologia 3D (tridimensională) este un instrument de vizualizare, care oferă o percepție volumetrică similară cu cea a unui obiect din lumea reală. Mediul virtual oferă proiectantului posibilitatea de a elimina unele iterații care nu satisfac, fără necesitatea prototipării și îmbrăcării manechinului. Există mai multe tipuri de tehnologie 3D, cum ar fi scanarea 3D, modelarea 3D, tehnologiile aditive (imprimarea 3D), realitatea augmentată (AR), și multe altele fiind utilizate în diverse domenii ale activității umane.

Formularea problemei de cercetare

Lipsa echipamentelor de protecție destinate punctual cățărilor a dus la improvizații creative ale practicanților, precum pantaloni de cățarat tăiați dintr-un costum de înot, cu partea de material din zona genunchilor înlocuită cu protecții din neopren ranforsat. Astfel a luat naștere ideea acestei cercetări, care urmărește identificarea și sistematizarea nevoilor specifice și rezolvarea lor prin proiectarea unui echipament funcțional personalizat, bazat pe particularitățile individuale ale cățărilor (forma genunchiului și metodologia aplicată).

Utilizarea tehnicilor tradiționale ar fi costisitoare în ceea ce privește timpul și resursele necesare. Prin urmare, mediul virtual și tehnicile de imprimare 3D au fost alese ca metode complementare de proiectare și fabricație, pentru obținerea unui produs personalizat cu performanțe îmbunătățite și evaluarea acestuia în utilizare.

Relevanța problemei de cercetare

1. Problema de cercetare este oportună și actuală deoarece în proiectarea articolelor de protecție este necesară instituirea și exemplificarea unui model de proiectare centrată pe utilizator (UCD), care să conducă la înțelegerea nevoilor reale ale utilizatorului final, și implicit, la creșterea performanței. Prin urmare, studiul de față folosește chestionarul ca instrument de investigare în realizarea unei cercetări aplicative și identifică nevoile reale ce țin de funcționalitatea și confortul îmbrăcămintei, fapt ce poate acționa ca strategie de creștere a performanței.

2. Problema de cercetare este legată de dezvoltarea practică a unui echipament cu performanțe îmbunătățite utilizând prototiparea rapidă (Rapid Prototyping - RP): modelare tridimensională, simulare, animație și tehnică de fabricare automată a modelului, prin extrudare termoplastică, mai exact depunere de material topit (FDM – Fused Deposition Modeling). Această metodologie are implicații extinse pentru o multitudine de modele de design aplicate ingineriei industriale. Alături de tehnologia de reconstrucție digitală 3D prin fotogrammetrie, această tehnologie oferă un proces ușor de implementat pentru obținerea de elemente de protecție personalizate.

3. Problema de cercetare necesită o abordare dinamică, cu numeroase variațiuni provenite din nevoi individuale. Astfel, o tehnologie bazată pe proiectare în mediu virtual are numeroase beneficii pentru îmbunătățirea constantă a produsului final, eficientizând procesul de prototipare și, implicit, consumul de resurse. Practic, acest demers științific oferă utilizatorului individual posibilitatea de a juca un rol determinant în procesul de proiectare și, ulterior, de a lua decizii privind elementele personalizabile ale echipamentului de protecție.

4. Problema de cercetare acoperă un domeniu mai puțin documentat: în literatura de specialitate românească consultată nu s-au regăsit încă studii și cercetări aplicative privind proiectarea unor elemente de protecție de genunchi integrate în echipamente textile pentru cățărilor pe stâncă. Domeniul producerii de elementelor de protecție pentru faza de prototip, prin prototipare rapidă, este

în prezent emergent. De aceea, studiul în acest domeniu este inovator și facilitează dezvoltarea unor metodologii axate pe fabricarea de prototipuri funcționale.

5. Rezultatele cercetării permit dezvoltarea unei metodologii de producție pentru proiectarea, simularea și fabricația unui element de protecție destinat echipamentelor textile utilizate în escalada pe stâncă.

Scopul și obiectivele cercetării

Scopul și obiectivele cercetării au ca punct de plecare necesitatea practică a dezvoltării unui model de pantalon optimizat, prevăzut cu protecție în zona genunchiului. În acest scop, s-a îmbinat procesul de prototipare rapidă (tehnologia de imprimare 3D) cu metodologia de modelare virtuală (reconstrucție digitală și modelare 3D) pornind de la datele extrase din literatura de specialitate, care pun în evidență o statistică a leziunilor la nivelul genunchiului întâlnite la cățărătorul pe stâncă. Analiza chestionarului aplicat cățărătorilor a confirmat probleme atât în zona genunchilor, cât și la modelele existente de pantaloni pentru alpinism.

Pornind de la obiectivul general, și ținând cont de două nevoi distincte, nevoia proiectantului (cercetătorului) și nevoia utilizatorului, în cadrul cercetării științifice, au fost urmărite următoarele obiective specifice:

□ **Obiectiv 1:** Studierea cercetărilor existente și analiza bibliografiei referitoare la tehnologiile moderne de obținere a prototipului virtual ca parte integrantă a metodologiei de cercetare.

□ **Obiectiv 2:** Identificarea și analiza aspectelor legate de funcționalitate și estetică provenite de la utilizatorul individual și integrarea lor în procesul de proiectare.

□ **Obiectiv 3:** Identificarea și implementarea metodelor de modelare, simulare și evaluare a performanței îmbrăcămintei ținând cont de dinamica mișcării cățărătorului.

□ **Obiectiv 4:** Dezvoltarea, conform criteriilor de proiectare identificate, a unui model cinematic experimental care să permită proiectarea și dezvoltarea unui prototip de pantalon pentru bărbați/cățărători cu integrarea unui element de protecție obținut prin imprimare 3D pentru zona genunchiului.

□ **Obiectiv 5:** Elaborarea și analiza unui model de încărcare pentru analiza în element finit a prototipului dezvoltat.

□ **Obiectiv 6:** Efectuarea de teste pentru validarea prototipului, pentru a determina modul în care acesta satisface nevoile utilizatorului.

CAPITOLUL 1. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRIILOR ȘTIINȚIFICE PRIVIND TEHNOLOGIILE MODERNE DE PROIECTARE A UNOR ECHIPAMENTE DE PROTECȚIE INDIVIDUALĂ

1.1. Industria modei și tehnologiile 3D

Acest capitol cuprinde o trecere în revistă a literaturii de specialitate cu privire la tehnologiile 3D disponibile și descoperirea de modalități noi de utilizare în procesul de elaborare de articole personalizate. Sunt enumerate programele software existente în industrie care au module de proiectare a tiparelor produselor vestimentare, direct pe manechin. În cadrul capitolului, sunt prezentate cercetări referitoare la procesul actual de elaborare a modelelor digitale, evidențiind avantajele utilizării programelor de proiectare 3D în dezvoltarea formelor de produs, în concordanță cu cerințe impuse de destinația produsului și de utilizator. În acest capitol sunt prezentate principiile de fabricație aditivă pentru obținerea unor elemente de protecție incluse în diferite structuri vestimentare.

Gradul de aplicare al tehnologiei 3D crește în fiecare zi prin descoperirea de noi modalități de utilizare. Aceasta este folosită cel mai mult în producția de articole individualizate, care devin mai accesibile și sunt complet personalizate în funcție de nevoile personale.

În plus, procesul tradițional de proiectare și dezvoltare a produselor vestimentare este costisitor și de lungă durată deoarece are o abordare iterativă, necesitând un număr de cicluri repetate de eșantioane, pe lângă adaptări și ajustări repetate ale designului, în scopul de a transpune ideile conceptuale inițiale ale designerului în produsul fizic final [7, 8]. Aplicarea tehnologiei reprezintă o cale de rezolvare a poluării. Cercetătorii menționează că, prin intermediul tehnologiilor care permit simularea designului produselor vestimentare, se reduce risipa de materiale, și numărul de prototipuri fizice necesare [9-11].

1.1.1 Sisteme de proiectare

În prezent, în proiectarea confecțiilor textile, un sistem de proiectare asistată de calculator (CAD) este considerat un software esențial. Aceste sisteme de creare a modelelor ajută industria modei să accelereze întregul procesul de design și dezvoltare de produs. Printre cele mai utilizate programe de proiectare în confecții se enumeră: Modaris, Tuka CAD, Optitex, Gerber AccuMark, Richpeace, Telestia, PAD System, StyleCAD, Vetigraph, Assyst Bullmer, FashionCAD, Gemini CAD Systems, Crea Solution 2D CAD.

1.1.2 Prototiparea virtuală

Un real ajutor în implementarea designului vestimentar este utilizarea tehnologiei de modelare 3D, în vederea obținerii prototipului virtual. Utilizarea vizualizării software 3D are avantajul de a ajuta semnificativ prin analiza de potrivire pe corp. Modul de dezvoltare conceptuală al unui produs funcțional și adaptat destinației poate fi anticipat și testat prin modulele de simulare 3D specifice

acestor programe.

Cele mai cunoscute soluții tehnologice comerciale 3D disponibile sunt: CLO Virtual Fashion, TUKA3D, Browzwear, Lotta & V Stitcher 3D CAD, Assyst Bullmer 3D, Modaris, Optitex.

La momentul actual, vizualizarea și ajustarea virtuală a articolelor de îmbrăcăminte implică corelarea dimensiunilor corporale umane cu cele ale unui manechin digital, numit avatar. Reperetele hainelor sunt cusute digital și ajustate pe formele avatarului, creând astfel un sistem virtual de afișare a produsului final. În producția de articole de îmbrăcăminte se creează, de obicei, cel puțin un prototip fizic de îmbrăcăminte, însă cu tehnologia 3D acesta poate fi eliminat în prima fază de stabilire a modelului.

Pentru a obține o vizualizare conformă a îmbrăcăminte, proiectantul lucrează mai întâi în fereastra de lucru, în modul 2D, pentru a prelucra tiparul, apoi pe corpul manechinului virtual selectează puncte de contact ce aparțin suprafeței de sprijin și stabilește succesiunea operațiunilor din procesul de coasere, urmând ca în final să genereze un efect de tip stereo tridimensional pentru a îmbrăca avatarul. Mai departe, se pot utiliza diferite moduri pentru vizualizare, dar și pentru evaluarea performanței cu privire la potrivirea și confortul asigurate de produs, și chiar animarea manechinului în anumite poziții. Aceste metode au fost subiectul mai multor cercetări [9, 11, 15].

1.1.3 Procesele de design vestimentar

Proiectarea vestimentară, vizualizarea, evaluarea potrivirii produsului și simularea performanței îmbrăcăminte, reprezintă subiecte actuale de cercetare în industria textilă și de confecții.

Pentru a realiza un prototip virtual, sunt necesare trei elemente cheie: avatar, tipare și informații despre materiale textile.

În industria confecțiilor, procesul de bază al designului vestimentar, începe în mod convențional cu elaborarea conceptuală a modelului de produs, elaborarea schiței tehnice a acestuia, proiectarea tiparelor reperelor din structura produsului (de model și șabloane/tipare de producție) și se finalizează cu elaborarea prototipului fizic.

Prototipul fizic este analizat din punct de vedere estetic și funcțional (detaliile stilistice ale modelului, modul de potrivire și așezare al produsului pe manechin și aspectul liniilor de asamblare). Dacă se identifică anumite probleme în prototipul fizic (defecte de echilibru, cute libere sau tensionate, etc.) designerul modifică tiparele reperelor de produs pentru remedierea problemelor identificate. Ulterior acestor modificări se realizează un nou prototip fizic care va fi analizat. Dacă în urma analizei, prototipul fizic îndeplinește cerințele modelului, atunci acesta devine mostră de producție (figura 1.1.), element important al documentației tehnice necesare fabricației unui produs [15].

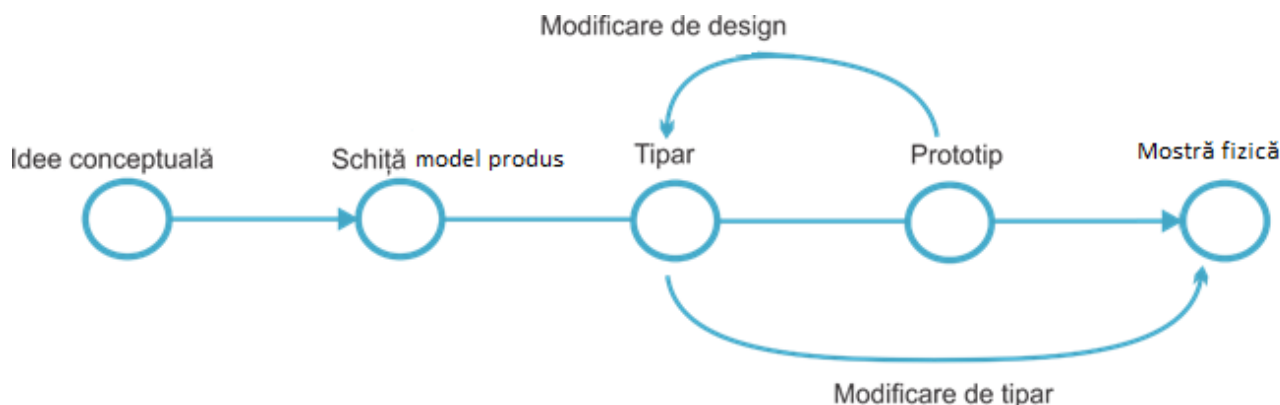


Figura 1. 1 Procesul de design vestimentar – varianta tradițională

În cazul în care designerul are la dispoziție instrumentele digitale necesare obținerii prototipului virtual 3D, se impune parcurgerea următoarelor etape pentru validarea soluției de proiectare a modelului ales: analiza schiței tehnice a modelului, pentru a stabili etapele de prelucrare tehnică în scopul obținerii geometriei pieselor din structura produsului (schița tehnică poate fi în format letric sau digital); elaborarea formei/reperelor de model specifice, folosind instrumente 2D; generarea prototipului virtual 3D, îmbrăcat pe avatarul corespunzător (care are valorile dimensiunilor corporale identice cu cele utilizate în algoritmul de proiectare al tiparelor); analiza prototipului virtual pe baza hărții de tensiune și presiune, care se poate genera în mediul 3D. Dacă se constată că în prototip există anumite probleme legate de echilibrul sau potrivirea produsului pe manechin, sau diferențe în raport cu schița tehnică a modelului, designerul introduce transformările necesare pentru eliminarea acestor probleme, iar modificările sunt transferate automat în forma reperelor produsului proiectat. După verificare și validare, tiparele de model pot fi utilizate pentru proiectarea șabloanelor, respectiv a tiparelor de producție. Dacă proiectantul are competențe avansate în utilizarea instrumentelor digitale pentru obținerea formelor reperelor de model direct pe avatar și dacă modelul permite, prin siluetă și croială, generarea pieselor componente în mediul 3D, nu mai este necesară proiectarea 2D a formelor digitale ale elementelor/reperelor de produs și exportul ulterior către modulele CAD 3D. Pe baza prototipului virtual, care validează soluția de proiectare, se realizează un prototip fizic ce va deveni mostra modelului proiectat (figura 1.2).

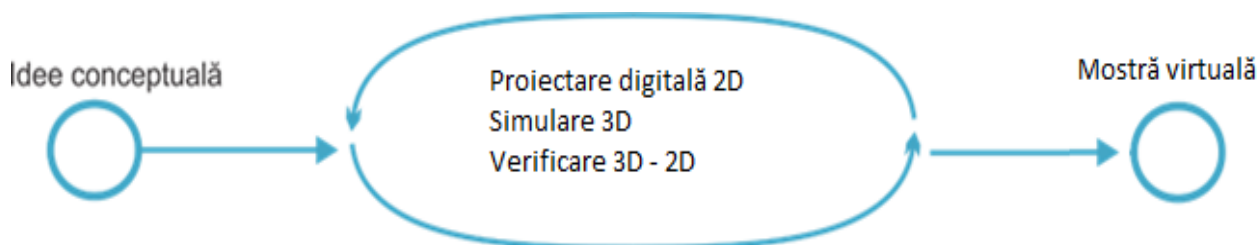


Figura 1. 2 Procesul de design vestimentar – varianta virtuală

1.2. Metode antropometrice de măsurare a corpului uman

Cele mai multe module virtuale utilizează reprezentări realiste ale formei corpului uman care se bazează pe date de scanare anatomică 3D sau sunt preluate din standarde de măsurare a corpului. Aceste reprezentări sunt create cu ajutorul unor modele virtuale concepute pentru a fi cât mai exacte posibil. Pachetele reprezentative de tip software disponibile pentru industria confecțiilor prevăzute cu avatar sunt: Clo3D de la CLO Virtual Fashion, Vidya de la Assyst, V Stitcher de Browzwear Solutions și Modaris de la Lectra.

Cercetările de antropometrie pot fi aplicate atât pentru poziția statică, cât și pentru cea dinamică a corpului uman. Indiferent de scopul cercetării, se impune definirea unor planuri antropometrice și axe, ca elemente de referință, necesare prelevării unor dimensiuni corporale și pentru analiza unor indicatori antropometrici utilizați în evaluarea posturii sau a proporțiilor corpului.

Protocolul antropometric de prelevare a datelor prin măsurare precizează indicarea unor puncte cheie pe suprafața corpului. În cercetarea antropometrică se identifică aproximativ 100 de puncte antropometrice, dintre care 20-27 sunt frecvent utilizate în construcția tiparelor de îmbrăcăminte [21].

1.2.1 Metoda de măsurare prin contact direct

Metoda de măsurare prin contact direct este o metodă simplă de analiză care oferă informații valoroase despre mărimea și forma corpului. Cercetarea antropometrică se poate realiza în condiții statice și dinamice. Metodele de măsurare bidimensionale includ măsurători de contact și măsurători fără contact. Măsurarea de contact se referă la obținerea unghiului de suprafață și la secțiunea transversală a conturului bidimensional al corpului uman.

Dimensiunile corporale sunt prelevate în poziție statică cu ajutorul unor instrumente de măsurare specifice. Metoda de măsurare prin contact direct este o metodă accesibilă care nu necesită o instruire elaborioasă, instrumentarul este ușor de folosit și permite notarea unor observații directe în timpul activității de măsurare.

Dezavantajul constă în faptul că persoana este imobilizată o perioadă mai mare de timp; respectiv, dacă unele măsurători nu au fost efectuate corect, acestea pot fi reluate la un moment ulterior anchetei desfășurate.

1.2.2 Metoda de măsurare fără contact direct

Metodele de măsurare fără contact direct includ fotografierea (stereofotogrametrică) și scanarea 3D.

În cazul metodelor de fotografiere, prelevarea datelor despre anumite dimensiuni corporale se realizează prin măsurători și interpretări din fotografii. Echipamentul de bază pentru obținerea reprezentărilor 3D ale corpului uman prin metoda fotogrammetriei constă într-o cameră digitală, un trepied și un computer (figura 1.3).

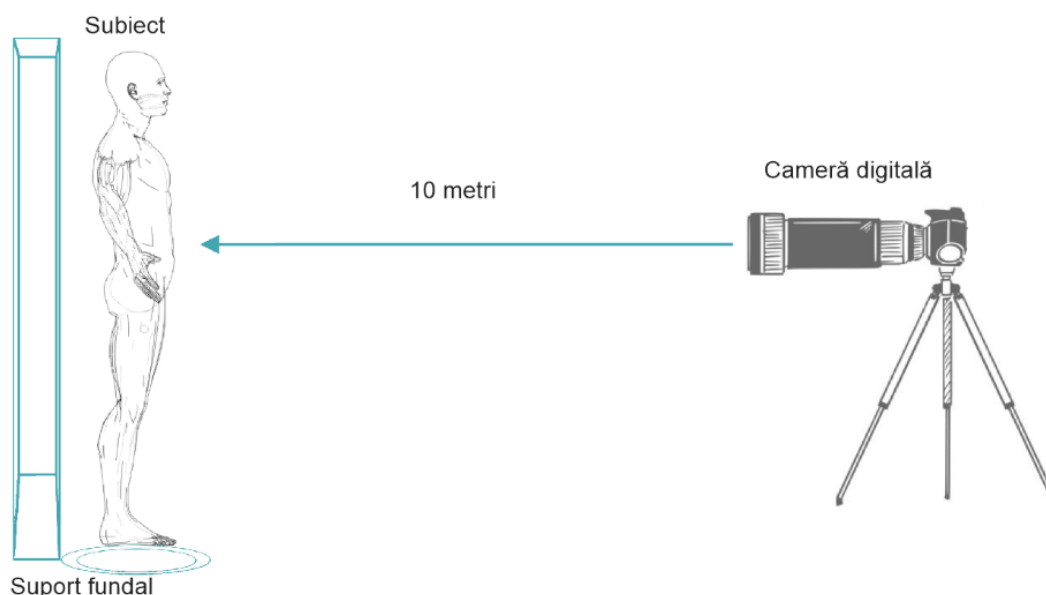


Figura 1. 3 Măsurare prin fotogrammetrie

De obicei, se realizează mai multe sesiuni de fotografiere, din mai multe poziții și din unghiuri diferite, conform unui protocol pentru a aduna informații complete. Fotografierea repetată necesită transferul datelor într-un sistem de referință comun, proces cunoscut sub denumirea de aliniere sau înregistrare. Obținerea modelului tridimensional se face prin intermediul software-ului, după compilarea și alinierea imaginilor multiple.

Această metodă este utilă în combinație cu măsurătorile manuale și generează dimensiuni de tip lungimi, lățimi, unghiuri, perimetre (circumferințe), precum și estimări ale formei și conturului, utile în clasificările de mărimi.

În măsurătorile antropometrice, sunt prelevate dimensiuni sau caracteristici antropometrice rectilinii (înălțimi, diametre, adâncimi) și curbilinii (lățimi, lungimi, perimetre și arce). Aceste informații pot fi utilizate pentru calcularea unor indicatori de evaluare a ținutei corpului, conformației și a proporțiilor.

Măsurarea corpului în poziții dinamice poate fi prin contact direct sau nu [32-35]. În cazul în care, măsurarea corpului se face fără contact direct (corpul este fotografiat sau scanat într-o anumită poziție dinamică specifică scopului cercetării) prelevarea dimensiunilor se face respectând protocolul de măsurare (SR ISO 8559-1:2017) [35], de pe o imagine a sa, după identificarea punctelor antropometrice.

Evoluția tehnologiilor digitale a permis utilizarea acestora pe scară largă în procesul de prelevare a dimensiunilor corporale. În cadrul acestor metode, subiectul fie în poziție ortostatică sau dinamică specifică, este imobilizat un timp redus, iar de pe suprafața corpului uman pot fi prelevate până la aproximativ 300 de cote antropometrice (în cazul scannerelor 3D, poziția punctelor antropometrice este identificată în mod automat).

Tehnologia de scanare 3D are ca scop captarea geometriei și a informațiilor de suprafață pentru

obținerea unei reprezentări fidele a formei corpului uman. Crearea unui model digital tridimensional pentru un individ și ulterior analiza datelor antropometrice obținute se poate realiza prin mai multe metode de scanare, aplicând principii și tehnologii diferite.

Există diverse tehnologii pentru a transforma forma unui obiect în model 3D. Aceste metode tehnice funcționează pe baza unor senzori, inclusiv optici, acustici, de scanare cu laser, radar, termici sau seismici. Fiecare dintre aceste categorii înglobează la rândul lor mai multe tehnologii și toate impun calibrarea scannerului.

În contextul industriei de confecții textile, tehnologiile de scanare joacă un rol important în diferite aspecte ale designului, producției și personalizării produselor vestimentare. Aceste tehnologii favorizează etapa de măsurare precisă a dimensiunilor corpului uman, crearea de modele digitale și îmbunătățirea eficienței generale a procesului de fabricare a produselor de îmbrăcăminte.

În cazul tehnologiei 3D cu laser, durata procesului este de 5-20 secunde. Procesul de scanare 3D cu un scanner portabil este efectuat de o singură persoană și durează în medie, 4 minute.

În acest timp, persoana scanată trebuie să mențină o poziție confortabilă și stabilă în picioare. Pozițiile de referință cele mai cunoscute sunt denumite de literele cu majusculă T, A sau Y, fiind redată de forma corpului uman când ambele picioare preiau în mod egal greutatea corpului și înclinația brațelor arată forma literelor.

În figura 1.4 este redată poziția de tip A, în care brațele sunt înclinate în jos, în protocolul de scanare a corpului cu vederile: față, lateral și spate. Imaginea scanată a corpului este prelucrată cu software-uri specializate pentru a elimina anumite inadvertențe, determinate fie de o mișcare involuntară a subiectului, fie de imposibilitatea scannerului de a identifica poziția unui punct antropometric pe corp, sau de existența pliurilor subcutanate.

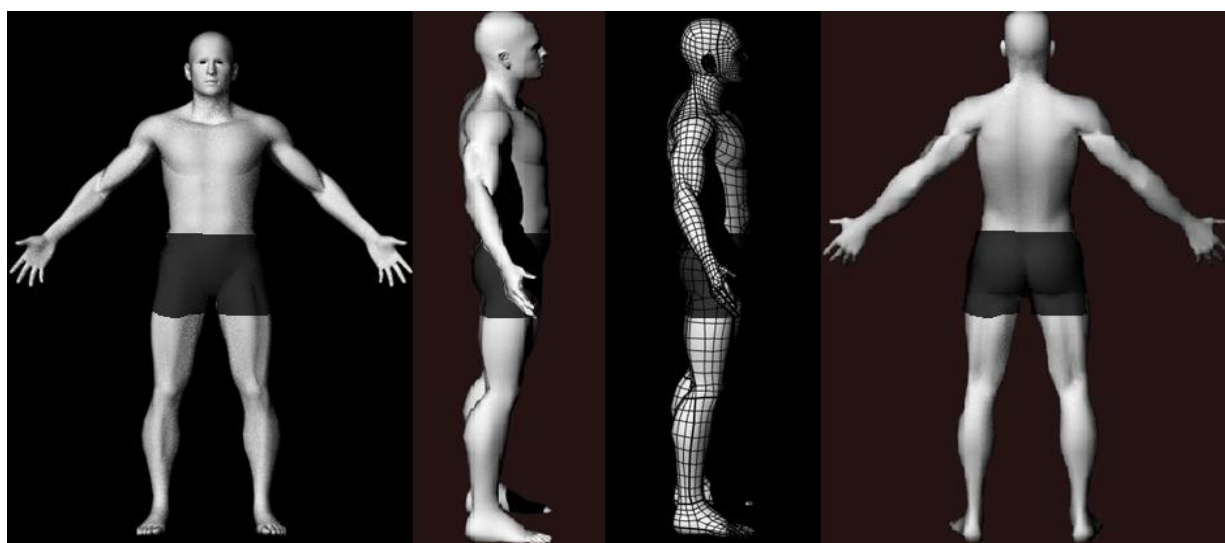


Figura 1. 4 Scanarea corpului

1.3. Tehnologii aditive 3D

1.3.1. Modelare virtuală și tehnici de simulare computerizată

Crearea unui model 3D pornind de la scanarea unei persoane poate include și utilizarea unui software de modelare 3D. Programele accesibile sunt: Autodesk Maya, Blender, ZBrush, 3ds Max sau Cinema 4D și pot fi folosite pentru a proiecta și reprezenta suprafețele formei umane în format digital.

Procedeul de creare a modelelor 3D implică diverse metode care se pot reprezenta prin: wireframe (rețea), surface (suprafață), solid și tehnica de modelare fizică. În ceea ce privește gradul de complexitate al metodelor, acesta crește de la prima spre ultima, iar, pe măsură ce crește cantitatea de informații specifice modelului, resursa de stocare hard pentru operarea fișierului va fi mult mai mare.

1.3.2. Modele cinematische de proiectare virtuală a corpului în poziții dinamice

Modelul cinematic - generalități

Procesul de proiectare a unui model cinematic 3D al corpului uman, în variantă simplificată, implică trei etape: definirea scheletului, ierarhizarea articulațiilor și sintetizarea mișcărilor în spațiul tridimensional.

Modelele umane virtuale au fost utilizate pentru testarea modului de comportare a unor produse personalizate, în regim dinamic. Mișcările corpului sunt înregistrate prin tehnologia de captare a mișcărilor în diferite arii, cum ar fi proiectarea caracterelor din jocurile video, animație, realitate virtuală, medicină și sport. Manechinele tridimensionale sunt cunoscute și sub numele de modele umane digitale (Digital Human Models - DHM).

Studiul cinematicii este adesea denumit "geometria mișcării". Sunt descrise mișcări ale punctelor, ale obiectelor și ale sistemelor de grupuri de obiecte, fără a face referire la cauzele mișcării (de exemplu: forțele). În cele mai multe cazuri, un model uman cinematic, destinat dezvoltării de articole de îmbrăcăminte, este construit din schelet, mușchi și piele. De-a lungul anilor s-au dezvoltat metode automatizate care permit transferul datelor cinematische obținute prin scanare 3D. Metodele rezultate permit extinderea regulilor cinematische printr-un șablon (template), compus din date foarte precise, din punct de vedere antropometric și biomecanic, fiind prevăzute cu constrângeri la nivel de grupe musculare și reguli de mișcare.

Prin procese de modelare de tip skinning și blend, au fost dezvoltate o serie de modele 3D realiste, plecând de la mii de scanări 3D ale corpului uman, provenite din anchete antropometrice. Procedeul denumit *skinning* leagă suprafața de tip plasă a scanării la configurația de mișcări ale scheletului inițial stabilit. Acest lucru înseamnă că mișcarea articulațiilor va angrena și vârfurile de la suprafață, și în consecință modelul va fi animat.

1.3.3. Aplicații ale software-urilor 3D în proiectarea articolelor de îmbrăcăminte funcționale

Modelele corporale cinematice 3D au fost utilizate pentru dezvoltarea virtuală a produselor de îmbrăcăminte personalizate cu destinații speciale (persoane cu dizabilități) și analiza interacțiunii acestora în procesul de purtare [71].

Disponibilitatea scanărilor corporale 3D a facilitat procesul de proiectare în 3D a produselor de îmbrăcăminte personalizate. Formele tiparelor pot fi desenate direct pe avatarul 3D, în poziție statică sau dinamică, conformându-se la contururile suprafeței. Ulterior, formele plane ale reperelor sau produsului sunt obținute fie prin export automat, fie prin conversie ulterioară pentru a reproduce tiparele 2D. Totodată, proprietățile mecanice ale țesăturilor pot fi introduse și atribuite modelului 3D pentru vizualizare, acțiune ce asigură demersul în simularea potrivirii și redarea hărților de tensiune sau de deformare.

În cazul produselor pentru sport de performanță, cercetările s-au concentrat pe analiza mișcărilor segmentelor corporale la nivelul talie-șold-genunchi-gleznă și cu determinarea valorilor unghiurilor de flexie aferente.

Îmbrăcămintea personalizată reprezintă un domeniu cu un potențial deosebit pentru studiu. Astfel au fost publicate articole în care sunt prezentate diferite metodologii de proiectare folosind tehnologiile 3D existente, pentru a le implementa în dezvoltarea unor produse de îmbrăcăminte adaptate menite să sporească confortul, mobilitatea, chiar și calitatea vieții, de exemplu în cazul persoanelor cu dizabilități [120], persoanelor în vârstă [121, 122] sau persoanelor cu diverse afecțiuni, în care este importantă prevenirea leziunilor provocate de presiune [123, 124].

Luând în considerare literatura relevantă menționată, este evident că evaluarea potrivirii unui produs de îmbrăcăminte pe un manechin 3D aduce multe beneficii și scurtează procesul de validare a modelului. Simularea produsului de îmbrăcăminte pe avatar presupune și evaluarea gradului de potrivire, a confortului și a aspectului articolelor proiectate pe un corp 3D. Evaluarea virtuală se face prin hărți de tensiune și presiune. Aceste instrumente de vizualizare sunt utile și pot sugera reevaluarea modelului. Dintre sistemele software care prevăd capacitatea de cartografiere a tensiunii și a presiunii se remarcă: Optitex PDS, Clo3D, Browzwear VStitcher 3D și Lectra. Sistemele enumerate permit vizualizarea și analiza tensiunilor dezvoltate la îmbrăcarea produsului pe corp, a modului de potrivire la forma avatarului corespondent al clientului.

Harta de tensiuni conține coduri de culori pe baza cărora se interpretează valorile tensiunilor afișate: roșu înseamnă tensiune dezvoltată în reper, de valoare critică - reper subdimensionat care limitează funcționalitatea produsului; portocaliu/galben înseamnă tensiune de valoare medie și mică -reper subdimensionat, culoarea albastru deschis înseamnă tensiune mică - produsul îndeplinește cerințele dimensionale impuse de destinația produsului și asigură confortul la purtare; respectiv

culoarea verde semnifică faptul că produsul este supradimensionat, ceea ce va îngreuna desfășurarea unor activități dinamice impuse de activitatea profesională.

Vizualizarea hărților de tensiune dezvoltate în prototipul virtual 3D îmbrăcat pe avatar, a fost utilizată de către specialiști [100, 125-129] pentru optimizarea modului de proiectare volumetrică a unor categorii de produse: produse de îmbrăcăminte pentru ciclism [100], yoga [125], îmbrăcăminte de protecție [126], îmbrăcăminte pentru persoanele cu dizabilități fizice [127], costume pentru spectacole [128], îmbrăcăminte pentru conformații atipice [129] și costume militare specifice epocii medievale [130].

1.3.4. Elemente de protecție integrate în îmbrăcăminte

Elemente de protecție obținute prin tehnologia de fabricare aditivă

Nevoia de a personaliza dezvoltarea unui produs la destinația și necesitățile purtătorului, au condus la dezvoltarea unor cercetări în domeniul proiectării directe a unor forme care să permită adaptarea și funcționalitatea produsului la condițiile de utilizare impuse de destinație. Prin tehnologii aditive de imprimare 3D au fost elaborate elemente suplimentare, care au fost utilizate fie ca produse de sine stătătoare (căști, mănuși de protecție) sau integrate în structuri vestimentare (genunchiere, cotiere). Interesul pentru utilizarea procedurii de obținere a unor produse prin tehnologii aditive 3D a crescut în ultimii ani. În producția articolelor de îmbrăcăminte, imprimarea 3D este utilizată pentru a crea articole de îmbrăcăminte integrale sau pentru a imprima elemente și modele pe suprafața materialului textil [131-133].

În prezent se utilizează următoarele tehnologii aditive de imprimare 3D: modelarea prin depunere prin topire (FDM), stereolitografia (SLA), sinterizarea selectivă cu laser (SLS), modelarea cu jet de polietilenă (PJM). Procesele presupun pași comuni pentru realizare, și anume crearea modelului digital 3D în format STL (stereolitografic) și apoi convertirea acestuia într-un cod G, pentru transferul datelor necesare imprimării 3D.

Tehnologia de scanare și folosirea datelor antropometrice digitale pentru a crea articole de îmbrăcăminte personalizate folosind sistemele informatice, reprezintă un proces fără limite, drept pentru care au fost întreprinse cercetări ce validează aplicabilitatea acestor tehnologii, mai ales în domeniul echipamentelor de protecție.

Bogović și Milošević au prezentat metodologia de lucru pentru dezvoltarea elementelor de protecție folosind tehnologiile de scanare, modelare și imprimare 3D [134, 135]. Elementul creat de aceștia reprezintă o protecție toracică pentru sportul de hochei pe iarbă.

Cercetările în domeniu ale lui Park și colab. au început cu studiul structurilor și a filamentelor optime pentru a proiecta și fabrica prin imprimare 3D o protecție de tip tampon împotriva impactului la cădere [136]. Altă cercetare a vizat fabricarea aditivă a unei structuri de protecție pentru sold și

integrarea acestora în pantaloni pentru grupa de femei în vârstă, cu rol în atenuarea impactului la cădere [137].

Hong și Lee au realizat alte studii care s-au concentrat pe testarea elementelor de protecție pentru șold, create prin modelare și fabricare aditivă [140-142].

Alte studii au abordat densitatea, ca variabilă în procesul de modelare al elementelor de protecție. Un material comun în imprimarea 3D este polimerul termoplastic poliuretan TPU [143]. Caracteristicile sale sunt pretabile spre dezvoltarea de elemente de protecție, și anume: flexibilitate, elasticitate, rezistență la șocuri ridicate, termoplasticitate, rezistență la abraziune și rupere, dar și duritate sporită.

Alt studiu a adus propuneri în optimizarea elementului de protecție de tip apărătoare inghinală pentru ciclism [144, 145].

Alte abordări, utilizând procesul de scanare, au fost aplicate în proiectarea și fabricarea aditivă a apărătorilor de tibie [146], zona articulației genunchiului pentru poziția de prinzător (baseball) [147] sau cască de protecție [148].

În lucrarea [149], se investighează și analizează forma tridimensională a articulației genunchiului pentru a proiecta o genunchieră ajustabilă pentru soldați.

Anirudh a aplicat CT (tomografie computerizată) și RMN (imagistică prin rezonanță magnetică) și a obținut, printr-un proces de inginerie inversă, date individuale ale genunchiului și le-a folosit pentru a modela o genunchieră. Lucrarea oferă o alternativă la protecțiile ortopedice obținute prin fabricare tradițională, acesta proiectând structura pentru imprimare 3D și efectuând simulări de căderi neașteptate, în mediu virtual, și analiză în element finit [150].

O altă cercetare [151] se concentrează pe proiectarea unui dispozitiv de protecție a articulației genunchiului pentru copii prin imprimare 3D. Alți specialiști s-au preocupat de proiectarea unor genunchiere care să asigure protecție în timpul sesiunilor de yoga și a dispozitivelor medicale de tip orteze [152]. Studii recente s-au preocupat de perfecționarea formelor protecțiilor pentru genunchi [154].

Hanae Yaskawa, în colaborare cu Arc'teryx, a dezvoltat un model de pantaloni pentru paraclimbing, în aer liber, adaptat pentru alpiniștii care trăiesc cu leziuni ale măduvei spinării. Proiectul intitulat: "*Resilience - Climbing Pants*" (tr. Reziliență - pantaloni de cățărare), a constatat în aplicarea unor benzi din cauciuc pe zonele critice, și anume pe genunchi și tibie, pentru a împiedica alunecarea picioarelor pe stâncă [155-157].

Dezvoltarea prototipului într-un mediu virtual și interactiv oferă avantajul major de a permite efectuarea unor simulări iterative diverse privind performanțele produsului într-un timp relativ scurt, incomparabil cu metodele tradiționale utilizate anterior etapelor de validare a unui prototip.

Programele de proiectare specializate permit dezvoltarea modelului și evaluarea acestuia din

punctul de vedere al potrivirii și echilibrului pe corp. Instrumentele avansate de vizualizare, de regulă integrate în modulul tridimensional, permit simularea materialelor textile și a drapajelor, în vederea optimizării soluțiilor referitoare la gradul de confort al îmbrăcămintei.

Analiza stadiului actual al rezultatelor cercetărilor publicate evidențiază faptul că majoritatea cercetărilor din domeniul fabricației produselor de îmbrăcămintă sunt realizate cu ajutorul tehnologiilor 3D. În procesul de captare a suprafeței corpului și de modelare digitală, se utilizează diverse dispozitive pentru prelevarea geometriilor, precum scanere cu laser și camere fotogrammetrice. Scanarea 3D se poate folosi în diverse scopuri complementare industriei confecțiilor, ca de exemplu crearea de modele de dispozitive medicale prin imprimare 3D, inginerie inversă sau arhive digitale pentru design interior.

Prototiparea îmbrăcămintei se face după un proces riguros de analiză a interacțiunilor în mediul digital. În acest mediu se analizează interacțiunea corp-produs, în regim static și dinamic, respectiv forțele dezvoltate în produsul vestimentar la executarea unor mișcări impuse de activitatea profesională. Testarea prototipului fizic în condiții reale de utilizare, după validarea prototipului virtual verifică conformitatea produsului, cu cerințele impuse de destinație și mod de utilizare.

Cercetările posturilor de mișcare sportivă nu s-au preocupat de analiza mișcărilor părții inferioare a corpului, mai ales pentru situații în care executantul realizează mișcări cu amplitudine și frecvență neregulate.

Majoritatea cercetărilor s-au concentrat pe reproducerea mișcărilor sportive de către subiecți non-practicanți și pe analiza valorilor unghiurilor specifice părții inferioare a corpului: unghiul format de axa coapsei cu orizontala imaginată trasată prin punctele de proeminență ale șoldurilor, respectiv unghiul format între axa coapsei și a gambei. Pentru a utiliza informațiile descrise anterior în dezvoltarea unor produse funcționale, se impune desfășurarea unor anchete antropometrice pe un eșantion reprezentativ de atleți profesioniști.

Integrarea în structura produsului de îmbrăcămintă a unor elemente obținute prin tehnologii aditive (ca de exemplu: genunchiere, elemente de protecție a proeminenței șoldului, pentru curbatura toracelui, apărătoare inghinală, etc.) aduc un plus de confort, la utilizarea produsului în care sunt integrate.

Metode matematice de analiză a interacțiunilor corp-produs vestimentar-element suplimentar obținut prin tehnologii aditive, ca de exemplu metoda elementului finit (Finite Element Method-FEM) sunt utilizate pentru analiza valorilor distribuției presiunilor și a modului de comportare al materialelor în scenarii de impact.

Această abordare poate îmbunătăți performanțele unui element obținut prin tehnologii aditive, stabilind dacă materialul și structura sa sunt potrivite scopului propus (ca de exemplu: echipamente sportive personalizate).

Analiza stadiului actual al cercetărilor științifice privind tehnologiile moderne de proiectare ale unor echipamente ce asigură protecția individuală, a condus la identificarea, definirea și stabilirea unor obiective de cercetare concentrate pe dezvoltarea unor forme de produse de îmbrăcăminte (destinate cățărătorilor) cu performanțe de utilizare îmbunătățite. În acest sens, se va urmări elaborarea unor forme ergonomice de produse de îmbrăcăminte din structura echipamentului de protecție, personalizate la condițiile de utilizare (*rock climbing*), cu elemente suplimentare de protecție plasate în structura produsului vestimentar și realizate din materiale care să asigure protecția și mobilitatea segmentelor corporale ale părții inferioare a corpului, în zona articulației genunchiului, zonă care este cel mai mult solicitată în această activitate sportivă.

CAPITOLUL 2. STUDIUL PROFILULUI ANTROPOMETRIC ȘI FIZIOLOGIC AL SPORTIVULUI DE ESCALADĂ

În acest capitol sunt sistematizate cerințele și nevoile cățărilor de escaladă privind structura și funcționalitatea echipamentului necesar.

Pentru rezolvarea acestui obiectiv se impune:

a) analiza informațiilor din literatura de specialitate referitoare la elementele structurale ale echipamentelor de protecție, modul de evaluare a stării de sănătate a sportivului practicant, tehnici și mișcări specifice acestui sport, elemente de biomecanică a corpului uman;

b) informații colectate pe baza unui chestionar individual, distribuit către cei care practică acest sport, prin intermediul de rețelelor de socializare și a platformelor/blogurilor dedicate acestui sport.

Informațiile culese au fost analizate și interpretate pentru realizarea obiectivului propus.

2.1. Aspecte de biomecanică specifice escaladei pe stâncă

2.1.1 Noțiuni generale

Cățărul implică mișcări nerepetitive care necesită contracții izometrice intermitente ale antebrățelor, intercalate cu mișcări dinamice ale întregului corp, fiind implicate în mod deosebit și membrele inferioare.

Înțelegerea relației dintre biomecanică (mișcările segmentelor corporale) și domeniul fiziologiei exercițiului fizic (ritmul respirator) sunt importante pentru a identifica soluții de optimizare a performanței sportivului.

Biomecanica are două componente: statică și dinamică. Statica se ocupă de studiul corpurilor rigide aflate în stare de echilibru. Componenta dinamică a biomecanicii presupune analiza cinetică a mișcărilor corpurilor, cu evaluarea vitezei și a accelerației în timpul mișcării, fără a considera și forțele care acționează asupra corpurilor [159].

Pozițiile de echilibru pot fi: stabile (de exemplu: corp suspendat, așezat sau în poziție ortostatică) sau instabile (de exemplu: corpul stă într-un picior). Caracterizarea pozițiilor și a mișcărilor corpului se face pe baza analizei activității aparatului locomotor. Menținerea unei poziții stabile, în statică, depinde de: poziția proiecției centrului de greutate, baza de susținere, înălțimea centrului de greutate și masa corpului [160, 161].

Centrul general de greutate reprezintă punctul de aplicare al rezultantei forței de greutate a segmentelor corpului. Poziția centrului de greutate al corpului este folosită pentru evaluarea echilibrului și a stabilității corpului uman, în raport cu suprafața de sprijin; el este poziționat în plan medial, în partea superioară a osului sacru. Proiecția centrului de greutate nu este una fixă; ea depinde de poziția corpului, constituție, gen, vârstă, gradul de dezvoltare al sistemului muscular, al scheletului

și al țesutului adipos [160]. Proiecția se face în trei direcții perpendiculare: frontală, orizontală și sagitală.

Greutatea specifică a corpului este determinată de densitatea masei osoase, masa musculară și masa țesutului adipos. Poziția proiecției centrului de greutate este strict determinată de amplitudinea și de tipul mișcării. Condiția de echilibru a corpului presupune că proiecția centrului de greutate nu depășește aria bazei de sprijin (figura 2.1). Aria bazei de sprijin este situată convențional pe suprafața de rezemare a corpului (de exemplu: solul). În cazul escaladei pe stâncă, suprafața de sprijin va fi pe suprafața peretelui de stâncă și delimitată de punctele de priză.

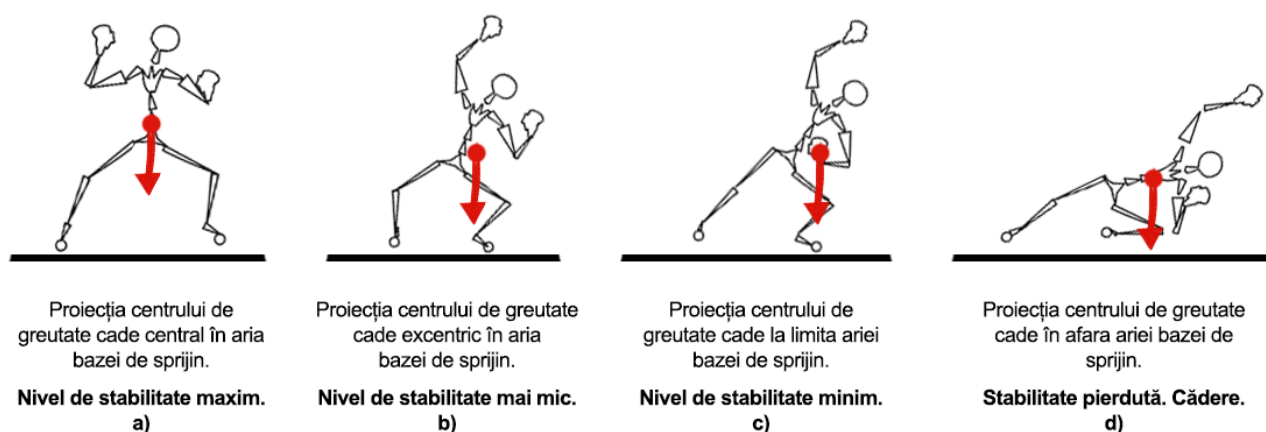


Figura 2.1 Proiecția centrului de greutate

Atunci când proiecția centrului de greutate este plasată în afara suprafeței de sprijin, corpul se află în echilibru instabil, ceea ce impune redresarea acestuia pentru re poziționarea proiecției centrului de greutate. Locația exactă a proiecției centrului de greutate se schimbă constant, cu fiecare poziție nouă a corpului și a membrilor și poate fi chiar departe de corp.

Analiza biomecanică a unei anumite poziții în dinamică presupune: descrierea poziției, precizarea susținerii pe pereții de stâncă și a tipului de echilibru (stabil și instabil), calcularea unghiurilor și a pârghiilor formate de trunchi și membre inferioare, cu precizarea grupelor musculare implicate în mișcare [160].

2.1.2 Definirea mișcărilor anatomice de bază

În figurile 2.2, 2.3 și 2.4 sunt prezentate mișcările corpului uman în planul sagital, în jurul axei frontale, utilizând un avatar configurat și animat în mediu virtual. În funcție de tipul de mișcare, mișcările de flexie (mișcare de apropiere sau deplasare), extensie (mișcare de îndepărtare sau deplasare) și hiperextensie (mișcarea segmentului depășește limita normală de extensie) se accentuează segmentul corporal implicat pentru executarea acesteia.

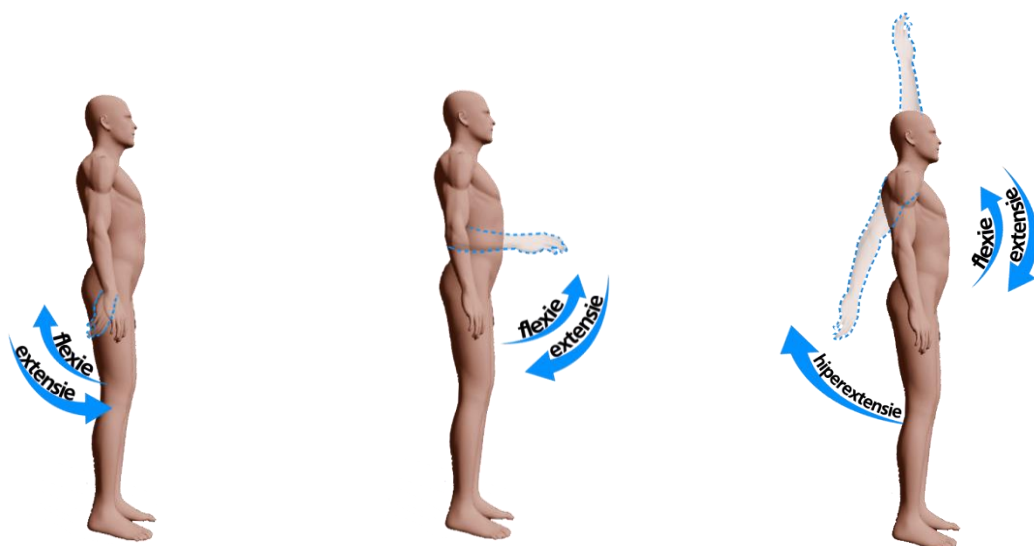


Figura 2. 2 Mișcările membrelor superioare în plan sagital în jurul axei frontale

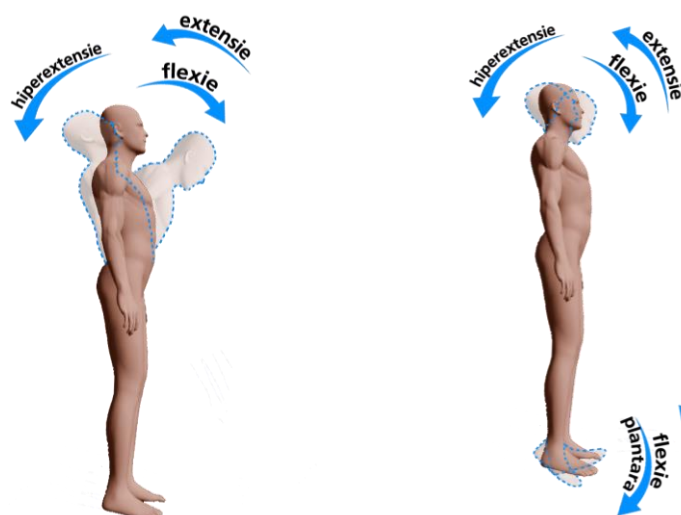


Figura 2. 3 Mișcări ale părții superioare ale corpului în plan sagital în jurul axei frontale

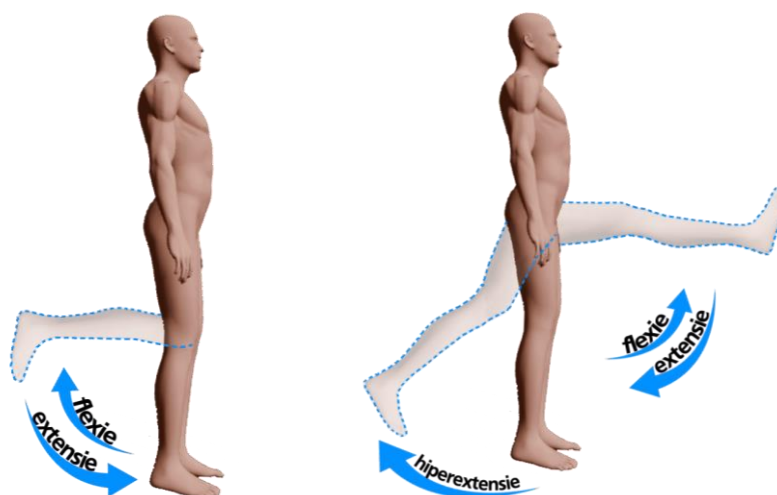


Figura 2. 4 Mișcări ale membrelor inferioare ale corpului în plan sagital în jurul axei frontale

În figura 2.5, sunt ilustrate mișcările corpului din plan frontal în jurul axei sagitale și sunt marcate mișcările de adducție (apropiere) și abducție (îndepărtare), abducție cu deviație, eversie (exterior) și inversie (interior) la nivelul tălpii.

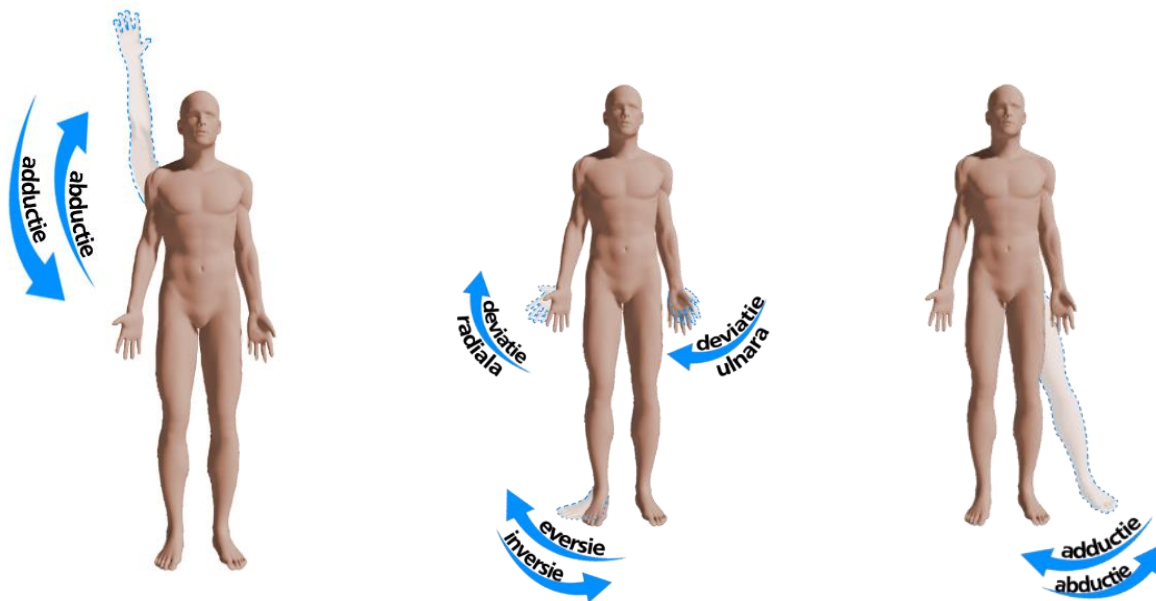


Figura 2. 5 Mișcări în plan frontal în jurul axei sagitale

În figura 2.6 sunt reprezentate mișcările executate în plan sagital în jurul axei frontale.

Rotația poate fi internă (medială) sau externă (laterală), iar adducția și abducția se produc în orizontală.

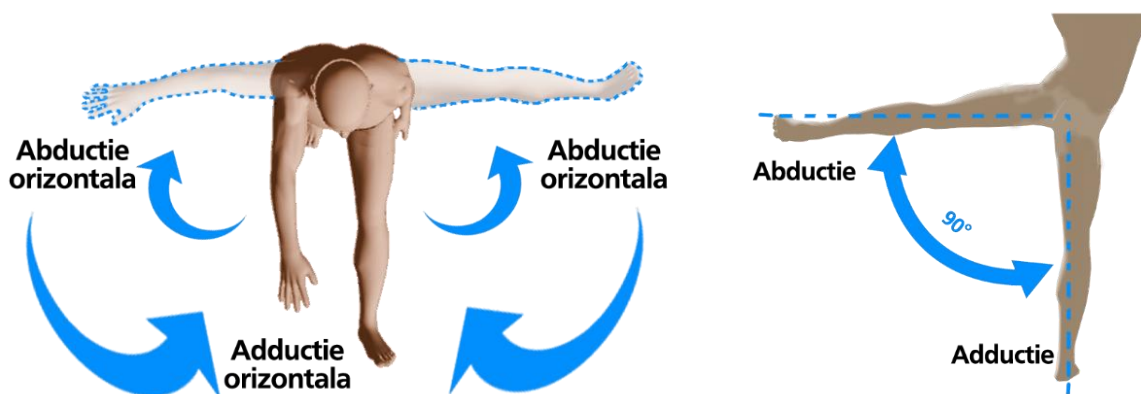


Figura 2. 6 Mișcări în plan sagital în jurul axei frontale

Membrul inferior realizează în plan sagital mișcări de flexie și extensie.

În figura 2.7 este ilustrată amplitudinea mișcării de flexie și extensie a membrului inferior.

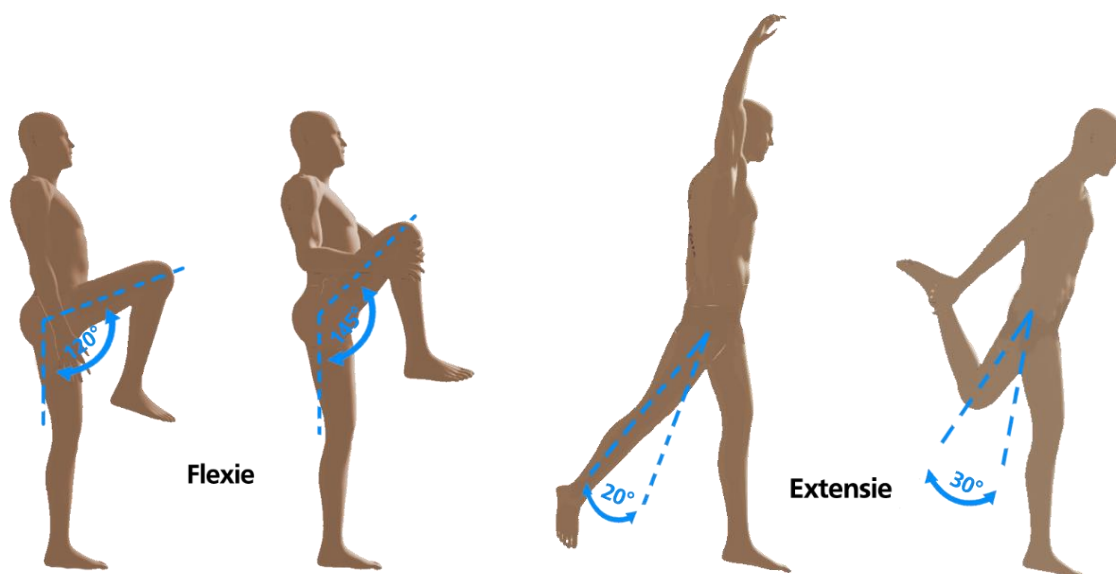


Figura 2. 7 Amplitudinea mișcărilor membrului inferior în plan sagital

Rotația membrului inferior poate fi medială sau laterală în plan transversal și este ilustrată în figura 2.8.

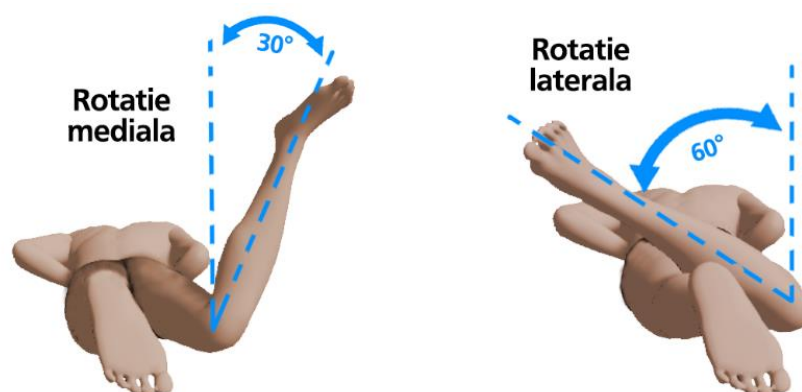


Figura 2. 8 Rotația membrului inferior în plan transversal

Locomoțiile ciclice sunt caracterizate de mers normal, mers înapoi, pe vârfuri, cu picioarele în semi-flexie, mers sportiv, urcare-coborâre pe scară, alergare, înot, caiac și canoe. Locomoțiile aciclice sunt caracterizate de mișcări dinamice, și anume sărituri, aruncări și cățărări.

Mișcarea complexă de cățărare poate include folosirea unor elemente pentru asigurarea sprijinului, precum: frânghia, zidul-peretele și prizele, în funcție de geometria și înclinarea suprafeței pe care se realizează cățărarea.

În funcție de suprafața pe care se realizează cățărarea, acest proces are faze distincte și implică un anumit efort muscular (dezvoltat prin antrenamente fizice intense și regulate): dacă sportivul se cațără pe frânghie, mișcările sunt realizate în mod succesiv și regulat (tracțiunea membrelor superioare asigură mișcarea de ascensiune a corpului, timp în care este activată musculatura de la

nivelul flexorilor degetelor, trunchi, cot și regiunea scapulară) și în cazul escaladării unui perete, mișcările sunt neregulate și se execută succesiv de fiecare membru în parte (mână-picior).

În cazul procesului de cățărare pe frânghie, trunchiul și membrele inferioare sunt în extensie, sistemul muscular este static încordat, iar menținerea unei poziții în jos a membrilor inferioare determină deplasarea proiecției centrului de greutate în partea inferioară. În cazul procesului de cățărare pe suprafață rigidă și cu o anumită rugozitate, menținerea poziției de echilibru a corpului este efectul încordării musculaturii abdomenului, a mușchilor flexori ai brațului și ai antebrațului.

În cercetarea sa, Low [163,164] a analizat tehnica de cățărare, din punct de vedere biomecanic, și a împărțit mișcarea de atingere a prizei pe faze. Alți cercetători au analizat stabilitatea posturii ca factor important în depășirea obstacolelor [165, 166], fapt ce a condus la separarea mișcării de urcare, într-un ciclu constituit din trei faze: stabilizare, pregătire și deplasare. În faza de stabilizare, cățărătorul menține contactul cu suprafața de cățărare și urmărește să își asigure stabilitatea posturii; pentru această situație are loc contracția izometrică a mușchilor flexori ai antebrațului și ai degetelor, împreună cu mușchii laterali ai trunchiului, și ai membrilor inferioare.

În faza de pregătire, corpul uman trebuie să aibă o poziție stabilă; această poziție este rezultatul contracției izometrice ai mușchilor antebrațului și ai flexorilor degetelor, timp în care mușchii umărului, ai trunchiului și ai membrilor inferioare sunt utilizați dinamic și izometric pentru a ajusta poziția corpului în vederea menținerii stabilității.

În faza de deplasare, pentru a ajunge în ultima fază a procesului de cățărare (priza), cățărătorul efectuează două poziții succesive de mișcare, în care sunt implicați mușchii flexori ai antebrațului și ai degetelor, mișcarea este direct influențată de direcția de deplasare, ca efect al contracției mușchilor de la nivelul liniei umerilor, trunchiului și a membrilor inferioare.

Analiza modului de activare bilaterală a grupelor musculare pentru toate fazele procesului de cățărare, poate fi realizată în mod simplificat fără a considera nivelul de complexitate al mișcărilor.

2.2 Escalada pe stâncă – cadru general existent

Escalada sau cățărarea (în limba engleză “*climbing*”) este activitatea ce presupune utilizarea mâinilor, picioarelor sau orice altă parte a corpului pentru depășirea unui obstacol (perete de stâncă natural sau artificial). Escalada sportivă necesită o condiție fizică și psihică bună, deoarece în această activitate se combină forța, agilitatea și concentrarea mentală cu îndemânarea și utilizarea unui echipament specializat. Direcția de evoluție a escaladei sportive are la bază principiile alpinismului și ale formei tradiționale de cățărare.

Există două tipuri de alpinism: clasic și tehnic. În varianta clasică de alpinism, ascensiunea se finalizează cu atingerea unui vârf de munte, și se marchează rute, de regulă pe zăpadă, stâncă și gheață. Această activitate se practică doar cu un echipament specific alcătuit din: îmbrăcăminte și

încălțăminte specifică, cască de protecție, rucsac pentru transport și elemente tehnice de tipul: ham de cățărare, coardă de alpinism, carabiniere cu bucle expres, sisteme de filat și rapel, piolet și colțari. Varianta tehnică de alpinism, care a apărut acum 100 de ani, reprezintă o formă complexă, având două subcategorii, în funcție de natura peretelui vertical, și anume: stâncă - rock climbing și gheață - ice-climbing [174]. În acest caz, echipamentul clasic este completat cu elemente tehnice specializate, cum ar fi: pentru stâncă se folosesc - protecții permanente (pitoane, micro-pitoane, ancore mecanice, ancore chimice) fixate în stâncă, respectiv protecții temporare (nuci pasive: trapezoidale, excentrice, mari, mici, de înaintare, nucii active); espadrile (încălțăminte specializată pentru stâncă), pudră de carbonat de magneziu (depozitată într-un săculeț, plasat lateral). În cazul escaladei pe gheață se impun utilizarea unor protecții permanente: piton, micro-piton, protecții mobile, șuruburi de gheață, scărițe, cârlig Abalakov, pioleți tehnici, colțari tehnici etc. [175].

Varianta contemporană de escaladă, este o competiție cu reguli standardizate, bazată pe o anumită tehnică de desfășurare. În anul 2021, în cadrul Jocurilor Olimpice de vară de la Tokyo, Comitetul Internațional Olimpic (CIO) a recunoscut în mod oficial escalada ca un sport olimpic cu trei categorii de concurs, identice cu stilurile de cățărare: viteză, bouldering și dificultate [176].

Cele mai practicate forme de escaladă sunt cele pe structură artificială (pe perete mare) și bouldering (cățărare pe stâncă).

Escalada pe structură artificială este practică de majoritatea cățărătorilor și pentru antrenament pe pereții artificiali, în sala de sport sau în aer liber.

În România, numărul de săli exclusiv cu pereți artificiali este încă redus. Există programe de escaladă terapeutică pentru copii și tinerii cu dizabilități. ONG-ul Climb Again este un exemplu de comunitate suport prin care un copil nevăzător sau cu deficiențe de vedere își dezvoltă independența practicând escalada [180]. Prin eforturile Clubului Sportiv Climb Again, disciplina paraclimbing a fost recunoscută oficial de Federația Română de Alpinism și Escaladă [172].

Bouldering reprezintă forma de escaladă practică pe bolovani, stânci naturale sau pereți scurți, deci porțiuni dificile de înălțime mică, fără utilizarea vreunui echipament de asigurare de tip coardă.

Echipamentul cățărătorului se reduce la espadrile specifice pentru cățărare, un săculeț cu magneziu pentru aderență și o saltea. Încălțăminte, special concepută, este adaptată pentru fiecare tip de cățărare ținând cont de specificul traseului. Saltelele profesionale de bouldering sunt cunoscute sub numele de crash pad-uri sau covorașe de siguranță.

2.1.1. Tehnici de cățărare

Tehnicile de cățărare în bouldering sunt variate și se bazează pe abilități fizice, agilitate și strategie [181]. Succesul cățărătorului depinde de dexteritatea de a se deplasa cu ușurință între fazele de repaus, menținând centrul de greutate pe unul sau ambele picioare. Cățărarea pe stâncă este

considerată interesantă și nelimitată din cauza răspândirii neregulate a punctelor de prindere care se prezintă în unghiuri și dimensiuni diferite, în special în mediul natural.

Poziția corpului se adaptează în funcție de teren, utilizând tehnici corespunzătoare pentru a compensa unghiului față de perete [182]. O postură corectă este necesară pentru menținerea aderenței și controlului din timpul cățărării [183].

- Tehnica *Drop-knee* (pasul înapoi) – cuprinde întoarcerea genunchiului în interior și în jos în timpul cățărării pentru a îmbunătăți stabilitatea corpului și pentru a ajunge la pozițiile de prindere din afara zonei de acces. Avantajul tehnicii constă în reducerea distanței dintre corp și perete, fapt ce permite atingerea prizelor mai îndepărtate.

Pentru cățărător, adaptarea la teren prin utilizarea tehnicilor corecte permite un progres eficient pe traseu. Mișcarea părții de jos a corpului, în timpul cățărării, depinde în mare măsură și de tipul de perete. Escalada pe stâncă reprezintă o activitate complexă care încorporează mai multe discipline și stiluri, deoarece fiecare rută este diferită de cealaltă, cu prize de diferite forme și dimensiuni.

2.2.2. Echipament de protecție pentru cățărare

În escaladă, activitatea fizică se desfășoară împotriva gravitației, iar alpinistul își menține echilibrul și avansează în siguranță pe perețele de cățărare prin aplicarea unor forțe precise asupra prizelor cu mâinile și picioarele [190].

Cercetările privind confortul, performanța și protecția îmbrăcăminții, precum și echipamentul de alpinism, au evidențiat materiale și soluții de proiectare relevante, demonstrând că principiul „foilor de ceapă” este deosebit de aplicabil și în escaladă. Sistemul constă în suprapunerea diferitelor articole vestimentare (de exemplu: stratul 1-bluză, stratul 2-jachetă și stratul 3-geacă), cunoscut și sub numele de principiul celor trei straturi [191, 192] (figura 2.9).



(a) Stratul 1: bluza

(b) Stratul 2: jacheta

(c) Stratul 3: geaca

Figura 2. 9 Sistemul de straturi suprapuse: principiul celor trei straturi

Acest sistem permite sportivilor de escaladă să își adapteze îmbrăcămintea la efortul specific al activității și la condițiile meteorologice. Aceste trei straturi pot fi adăugate sau îndepărtate. Este esențial să se poarte articole de îmbrăcămintă care se pot ajusta cu ușurință și sunt ușor de manevrat. Cele trei straturi sunt: stratul de bază (transport), stratul intermediar (izolație) și stratul exterior (protecție).

Puține studii au fost publicate vizând aspectele ergonomice ale îmbrăcămintei pentru cățărători. Acesta oferă nu doar protecție, ci și confort și libertate de mișcare în timpul ascensiunilor. Îmbrăcămintea, împreună cu echipamentul necesar, trebuie să răspundă nevoilor funcționale și să asigure protecția adecvată a purtătorului sau sportivului.

2.3. Profilul antropometric al cățărătorului

La modul general, profilul antropometric al cățărătorului se caracterizează printr-un model somatic ectomorf, de statură medie, având un procent scăzut de grăsime corporală, cu factori determinanți precum, forța în degete, rezistența sporită la nivelul mâinilor, puterea umerilor, contracțiile izometrice ale antebrațului și gradul crescut de flexibilitate la nivelul șoldurilor. Caracteristica distinctivă specifică activității sale, o reprezintă raportul general ridicat între forță și masă corporală evidențiat de echilibrul static și dinamic, necesar în susținerea și deplasarea corpului. Răspunsul fiziologic, nu poate fi standardizat, el este strâns legat de controlul posturii în stilul de ascensiune și de interacțiunea complexă a mai multor variabile din secvențele de mișcări.

Prin natura sa, bouldering-ul este considerat un sport extrem caracterizat de mișcări dificile.

În departamentele de urgență se consemnează frecvent leziuni la nivelul degetelor și a mâinilor specifice cățărării, însă sunt raportate din ce în ce mai des și leziuni la nivelul membrelor inferioare. Manevra de tip „Heel Hook”, poziția de prindere a călcâiului, este descrisă de asemenea în unele rapoarte medicale. Tehnica presupune folosirea călcâiului, pentru a prinde priza prin presiune, mușchii până la nivelul șoldului sunt flexați, iar piciorul este tras odată cu ridicarea trunchiului, timp în care genunchiul se poate roti spre exterior cu o forță prea mare pe ligamente.

Lutter și colab. [235] au identificat și clasificat patru mecanisme de traumă în manevrele: pas înalt, ce derivă din tehnica de înălțare (20,8%), tehnica *Drop-knee* (pasul înapoi) (16,9%), tehnica „Heel Hook” (40,3%) și cădere la sol (22,1%). Dintre leziunile rezultate, în urma escaladării în interior, 46,8% au necesitat intervenții chirurgicale, mai ales în cazul grupului de cățărători necompetitivi. Cercetarea sugerează necesitatea acordării unei atenții sporite zonei genunchiului în escalada de tip bouldering pentru sportivii necompetitivi și competitivi. Nu s-au regăsit în literatura studiată cercetări legate de protejarea genunchiului prin elemente de protecție.

2.4. Identificarea și analiza nevoilor specifice ale cățărătorilor prin chestionar

Având în vedere numărul redus de studii în domeniul îmbrăcăminte pentru escaladă pe stâncă, s-a aplicat o metodă de studiu centrată pe utilizator pentru a evalua impactul produsului asupra cățărării și eficiența optimizării designului pantalonilor pentru protecția genunchilor. Astfel, s-a propus distribuirea unui chestionar în spațiul online (care a fost transmis și în limba engleză), cu precădere în rândul grupurilor specializate în acest sport, sălilor de sport de escaladă/bouldering și asociațiilor de cățărători. Chestionarul cuprinde trei secțiuni legate de: date socio-demografice, alpinism și escaladă, zone de protecție (Anexa 1).

După completarea chestionarelor datele au fost codificate, în special, în cazul întrebărilor deschise, pentru a fi introduse într-o foaie de calcul Excel. Înainte de analiză, datele au fost filtrate pentru identificarea erorilor sau anomaliilor, astfel încât acestea să fie corectate sau eliminate. Astfel, s-au primit un total de 84 de chestionare, din care 79 au fost considerate conforme pentru analiză.

Secțiunea 1: Date Socio-Demografice - informații socio-demografice ale respondenților.

Secțiunea 2: Alpinism și Escaladă- nevoile și aspectele specifice legate de alpinism și escaladă pentru respondenți.

Secțiunea 3: Zone de Protecție - opinia respondenților cu privire la echipamentul de protecție, identificarea zonelor accidentate și caracteristicile importante ale pantalonilor pentru escaladă.

Datele privind frecvența desfășurării activității de cățărare sunt prezentate în figura 2.10 și arată proporția fiecărei opțiuni de răspuns. Cea mai mare parte a respondenților (72%) practică cățărarea de două ori sau mai mult pe săptămână. Un procent mai mic (14%) se cățără cel mult o dată pe săptămână. Frecvența de două ori pe lună și cea de o dată la trei luni sunt foarte apropiate, reprezentând împreună 11%. Cea mai redusă categorie, 3%, practică escalada o dată pe lună. Compararea frecvenței de cățărare scoate în evidență natura sportului, și anume, necesitatea frecventă de antrenament.

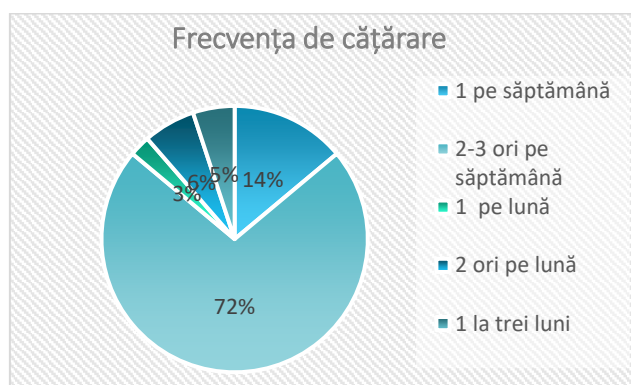


Figura 2. 10 Frecvența activității de cățărare

Cei mai mulți respondenți dețin în medie 4-5 perechi de pantaloni și reprezintă categoria care practică cățărarea de două ori pe săptămână sau mai mult.

Ultima întrebare a chestionarului a fost una deschisă, lăsând posibilitatea de sugestie față de un nou model de pantalon: „Dacă ar fi să alegeți o nouă pereche de pantaloni pentru traseul de mâine, care caracteristici sunt mai importante pentru dumneavoastră?” (figura 2.11).

Răspunsuri		Codificare deschisă		Codificare axială	Codificare selectivă
Genunchi întăriți, dar elastici. talie înaltă la spate pentru ca hamul să nu se frece. BUZUNARE!	☐ Ușor, respirabil, prevăzut cu protecție genunchi	☐ Optimi termic, care sa permita mobilitate, culori	☐ Gruparea răspunsurilor în categorii	☐ Confort (termic, de mișcare, general)	☐ Proiectarea modelului
Ajustabilitatea, ventilare/izolare, rezistentă, design, preț	☐ Sa fie lungi	☐ îndrăznețe, buzunare Buzunare cu fermoar.	☐ Buzunare specifice	☐ Durabilitate și rezistență	☐ Material
Model similar pantalonilor PreCip Marmot	☐ Ușor și flexibil	☐ Material bun împotriva rocilor ascuțite. Culori frumoase.	☐ Potrivire	☐ Funcționalități (buzunare, talie, sistem de ajustare, ventilație etc.)	
Rezistență la abraziune, ușurință în mișcare	☐ Se potrivește bine și lungimea pantalonilor este corectă. Majoritatea pantalonilor de alpinism pentru bărbați sunt făcuți doar pentru bărbați scunzi.	☐ Confortabil, în cazul în care locul are prize/perete	☐ Mobilitate	☐ Greutate și compresibilitate	
Protecție genunchi si fund pantalon, Protecție coate si umeri ,protecție termica	☐ Confortabil, în cazul în care locul are prize/perete	☐ ascuțiți voi opta pentru pantaloni mai lungi	☐ Elasticitate	☐ Design și aspect estetic	
Mai multe buzunare	☐ Confortabilitate	☐ Lungimea, confortabilitatea, buzunare cu fermoar,	☐ Talie înaltă	☐ Protecție împotriva vântului sau a precipitațiilor	
Căldură	☐ Opacitate, durabilitate, confort	☐ protecție de genunchi, culoarea, aspect general	☐ Lungime ajustabilă	☐ Menținanță	
Să se înfășoare pe glezne. Nu are cordon de strângere în talie. genunchi/antrenă întărită, material ușor.	☐ Intarituri in zona superioara dintre	☐ plăcut	☐ Protecție pentru genunchi	☐ Culori și preferințe estetice	
Pantaloni trebuie să fie elastici ca să nu-mi limiteze deloc mișcarea.	☐ picioare, material mai rezistent inclusiv la	☐ O idee inovativa de proiectare pentru partea de jos a pantalonilor, o manseta mai bine intarita	☐ Glezna acoperită		
Libertatea de mișcare.	☐ magneziu si / sau spalare. Sa fie elastici si	☐ pe intreaga inaltime a gleznei, chiar pana la	☐ Rezistență între picioare		
Potrivire, durabilitate, culoare	☐ usori, flexibilitate, durabilitate pentru frecare de perete	☐ nivelul primului sfert din lungimea gambei.	☐ Rezistență la abraziune		
Se potrivesc, nu arată transpirația și nu vor fi distruse pe traseele în aer liber	☐ Reizistenta la frecare si murdarie, lejeritate, design si culori atractive	☐ Buzunare, mai rezistente la abraziune și mai multe reglaje la nivelul între	☐ Ventilație		
Elasticitate, ventilație bună și un design cât mai simplu. fără buzunare inutile, fără fermoare, material subțire și nu negru.	☐ Colanți cu protecții pentru genunchi și fund	☐ Confort, greutate, durabilitate	☐ Întreținerea materialului		
	☐ Flexibilitate și rezistență în jurul genunchiului	☐ Îmbracamintea sa aiba material de protecție in zonele de uzura, fermoare de calitate, cusaturile vulcanizate de calitate	☐ Variante de culoare		
	☐ Libertate de mișcare, talie înaltă (pentru ham), rezistență ridicată la abraziune				
	☐ Depinde de traseu.				
Elastic în partea de jos a piciorului (fara a interfera cu jocul de picioare)	☐ Întrebarea ar trebui pusa în fct de tioul traseului				

Figura 2. 11 Întrebare deschisă - chestionar

Includerea în chestionar a întrebărilor legate de metodologie, experiență și preferințe furnizează informații valoroase, necesare în evaluarea și elaborarea temei de proiectare asociate echipamentului pentru alpinism și escaladă.

Rezultatele sintetice ale chestionarului (Anexa 1) permit formularea următoarelor concluzii:

- La chestionar au răspuns cu precădere respondenți de gen masculin (65,8% din total de 79 de persoane) pentru că ei practică cățărarea;
- Categoria de vârstă preponderentă în rândul respondenților este 25-34 ani (52%); persoanele care se încadrează în această categorie de vârstă sunt din grupa adulților tineri dornici să facă sport și cu o stare de sănătate corespunzătoare. Această categorie de purtători are nevoie de produse personalizate și este dispusă să achiziționeze echipamente adecvate pentru practicarea acestui sport.
- Un procent de 58,23% din numărul total de respondenți au experiență de peste 5 ani în practicarea acestui sport, în aceste condiții, răspunsurile sau părerile lor din chestionare sunt

valide și vor fi considerate ca date de intrare în elaborarea unor produse de îmbrăcăminte personalizate, specifice acestui sport.

- Un număr de 86% din respondenți (cu peste 5 ani experiență) preferă trasee cu grad de dificultate mediu și ridicat (nivel intermediar și expert, conform tabelului de grade de dificultate, V3-V9) care impune utilizarea unor echipamente adecvate, iar restul 13,92% preferă trasee de debut.
- 79,75% din numărul de respondenți au afirmat că doresc să practice escaladă, indoor pentru antrenament, în vederea pregătirii antrenării forței musculare pentru escalada pe stâncă, outdoor.
- 72% dintre respondenți practică acest sport cel puțin de două ori pe săptămână și dețin în medie 4-5 perechi de pantaloni numai pentru această activitate.
- Un procent de 37,97% preferă un model de pantalon care are buzunare laterale, falduri în zona genunchiului și straturi suplimentare de protecție în zona genunchiului; 25,32% preferă pantalon cu lărgime variabilă de la nivelul beteliei spre terminație; 24,05% preferă un model de pantalon tip colant care este realizat din materiale elastice, respectiv un procent de 12,66% preferă pantalonii de trening.
- Un procent de 55,69% din numărul de respondenți își doresc să aibă posibilitatea de a achiziționa pentru utilizare un model de pantaloni cu soluții suplimentare de protecție integrate în structura produsului, necesare protejării articulației genunchiului, dar care să le permită efectuarea escaladei. Acest procent este mai mare decât cel care evaluează caracteristicile stilistice ale produsului pantalon, ceea ce demonstrează faptul că respondenții au analizat cu mai multă atenție conținutul acestei întrebări din chestionar, versus întrebarea care se referea la detaliile stilistice ale produsului. Acest procent certifică faptul că utilizarea unui element suplimentar de protecție a articulației genunchiului este considerată importantă indiferent de modelul de pantaloni dorit.
- Un procent de 79,7% au afirmat că în timpul procesului de escaladă au suferit leziuni superficiale; cele mai frecvente sunt degete, încheieturi, coate, genunchi, glezne, dar și la șold, zona lombară și cap). Dintre acestea, 40,50% reprezintă leziuni la nivelul articulației genunchiului. De menționat este faptul că, respondenții au avut posibilitatea de selecție multiplă la această întrebare. Pentru articulația genunchiului, respondenții au precizat detalii ale leziunilor, spre exemplu: “după mulți ani de cățărare, accidentările vin din uzură și apar pe țesuturi moi: tendoane, ligamente”. O altă persoană a menționat ligamente rupte și leziuni grave ale articulației genunchiului.
- Din interpretarea răspunsurilor de la întrebarea deschisă cu numărul 27, rezultă că toți cei care au participat la sondaj, doresc să își poată achiziționa și respectiv, să folosească un model de

pantaloni care să aibă lărgime medie pentru a oferi libertatea de mișcare a membrilor inferioare, să aibă soluții accesibile, ergonomic plasate pe produs pentru depozitarea în siguranță a unor obiecte necesare escaladei (praf de magneziu și perie de bouldering), ușor accesibile, chiar și în timpul escaladei, o soluție flexibilă de finalizare a terminație superioare, elastic și șnur, cataramă magnetică, respectiv posibilitatea de ajustare a lungimii produsului (soluții tehnologice de pliere pentru scurtarea lungimii pantalonului).

- La întrebarea cu numărul 27 se configurează necesitatea de fabricație a modelului de pantaloni dintr-un material textil care să aibă rezistență foarte bună la solicitări mecanice, la agățare, dar și caracteristici de hidrofilie (transportul rapid al umidității pentru uscare).

Prin interpretarea răspunsurilor respondenților se configurează modelul de pantaloni pentru escaladă care să satisfacă cerințele clientului și să îi permită desfășurarea activității sportive în cele mai bune condiții pe trasee intermediare și pe trasee cu grad de dificultate mediu și ridicat cu următoarele caracteristici stilistice și funcționale:

- poziția de echilibru a produsului pe corp;
- pantalonul să asigure lejeritatea și libertatea de mișcare (dimensiuni transversale și longitudinale);
- elementele de design ale modelului de pantalon să asigure mobilitatea articulației genunchiului;
- în timpul cățărării există pericolul de contact dur între cățărător și pereții de stâncă, fapt care ar determina dureri și leziuni, în special la nivelul articulației genunchiului;
- respondenții au afirmat că este necesar să existe un element suplimentar de protecție a acestei articulații, dar care să asigure în același timp, mobilitatea impusă de modul de efectuare a cățărării în sală sau în natură pe stâncă, în plan înclinat;
- prezența unor elemente secundare de produs cu posibilitate de acces rapid la obiectele depozitate (buzunar aplicat cu clapă, borsetă plasată pe partea laterală externă);
- au fost respondenți care au menționat că preferă un pantalon cu lungime normală reglabilă, în funcție de tipul escaladei, sau pantaloni 7/8, respectiv 3/4.

Forma volumetrică a produselor de tip pantalon din structura echipamentelor pentru cățărare și detaliile stilistice ale modelului trebuie să îi permită sportivului desfășurarea activităților fizice, protecția față de acțiunea nefavorabilă a factorilor de mediu, protecția în raport cu neregularitățile suprafețelor rigide, confort și libertate de mișcare.

Abordarea nevoii de optimizare a designului produsului pantalon, personalizat pentru escaladă cu elemente suplimentare de protecție inserate în structura sa poate contribui la siguranța cățărătorilor și la îndeplinirea cerințelor de confort psiho-senzorial.

CAPITOLUL 3. PROIECTAREA ȘI MODELAREA PANTALONULUI DE ESCALADĂ

3.1. Abordări teoretice în proiectarea formei geometrice a produsului pantalon

Studiile în ceea ce privește designul pantalonilor pentru practicanții de bouldering sunt relativ limitate. În urma analizei pieței de articole pentru această categorie de purtători este importantă definirea detaliilor ce diferențiază acest tip de produs de ceilalți pantaloni, spre exemplu față de cei pentru drumeție sau hiking. Din documentările realizate a reieșit că producătorii de articole/produse de îmbrăcăminte pentru alpiști și sportivi de escaladă își fundamentează activitatea pe un know-how intern, dezvoltat prin experiența foștilor campioni și adaptat nevoilor specifice ale acestora în practicarea escaladei pe stâncă și bouldering.

Proiectarea formelor geometrice ale reperelor din structura produsului de îmbrăcăminte funcțională presupune asigurarea confortului și potrivirii pentru o varietate de poziții dinamice. Pentru a asigura libertatea de mișcare și a dezvolta un tipar corespunzător pentru pantaloni, este important să se țină cont de postura predominantă a cățărătorului și să se ia în considerare intervalul de mișcări specifice.

Următoarele studii au luat în considerare, modul în care se modifică suprafața corpului în timpul executării unei anumite activități, cum ar fi: pantaloni de lucru [99], pantaloni pentru ciclism [100], sau pantaloni pentru yoga [103]. Mișcarea șoldului [104], a articulației genunchiului [101], dar și cea a pielii care se deformează, au fost investigate și aplicate în dezvoltarea și proiectarea formelor geometrice ale reperelor din structura produselor de tip pantaloni.

3.1.1. Elemente stilistice și dimensionale în designul pantalonului de cățărăt

De regulă, pantalonul de alpinism este realizat dintr-un material cu elasticitate, dar respirabil, care transportă foarte bine transpirația și este totodată rezistent la abraziune și uzură. Însă, pentru un cățărător de bouldering, extrem de importantă este libertatea de mișcare, aspect care depinde foarte mult de designului pantalonilor. Pentru a executa mișcărilor complexe necesare, în ascensiunea traseelor de stâncă, sportivii au nevoie de flexibilitate sporită în genunchi, șolduri și zona inghinală.

Libertatea de mișcare în zona inghinală poate fi asigurată prin construcția unui clin pentru potrivire și confort. Reperul poate avea formă diferită (de exemplu: triunghiulară, trapezoidală etc.) și poate fi folosit ca piesă componentă sau adaos pentru a lărgi unele părți ale produsului. Clinul elimină unirea celor patru cusături ale reperelor într-un singur punct și previne încrețirea materialului într-un mod inestetic și inconfortabil în zona dintre picioare. Rolul clinului dintre picioare este de a crea libertate de mișcare, făcând ca purtarea pantalonului să fie mai confortabilă. În cazul cățărării, spațiul suplimentar creat prin introducerea clinului, în regiunea de între picioare, face ca pantalonii să fie mai rezistenți, iar mișcărilor de amplitudine mare sunt mai ușor de realizat.

Caracteristica pantalonilor cu genunchi articulați este obținută prin proiectarea unor pense, pliuri sau falduri, care modelează zona și creează spațialitate prin curbarea țesăturii către exterior, formându-se astfel o suprafață optimă pentru îndoirea genunchilor. În cazul escaladării, sportivul trebuie să ridice genunchiul mai sus decât de obicei și mult mai des, ceea ce înseamnă că pantalonii purtați nu trebuie să îi obstrucționeze amplitudinea de mișcare utilă și necesară în atingerea următoarei prize. Chiar dacă materialul nu prezintă elasticitate, această caracteristică este esențială pentru acest tip de activitate. Totodată, genunchii reprezintă o zonă importantă atât pentru mobilitate, cât și pentru protecție. Zona de genunchi poate fi căptușită sau întărită.

Respondenții au menționat că terminația superioară a pantalonilor trebuie să fie ridicată, pentru a se adapta utilizării hamului. Harnașamentele existente prezintă o curea principală (centură) care se fixează pe talie și curele secundare dispuse pe coapse. Astfel, cureaua hamului ce se suprapune peste talia pantalonilor, după o activitate îndelungată ce presupune mișcări complexe, va crea un disconfort, uneori chiar durere datorită presiunii exercitate la nivelul ganglionilor limfatici pelvieni și inghinali.

Un element important sunt și găicile pantalonului. Acestea sunt utile în amplasarea buclelor pentru echipamente. De cele mai multe ori, cățărătorul folosește o gaică situată pe terminația superioară a pantalonilor pentru a agăța punga cu pudră de magneziu. Un aspect util este amplasarea corectă a găicilor în funcție de încărcătura tipului de echipament, precum și greutatea acestuia. Modul în care sunt distribuite găicile, designul, lățimea acestora și rezistența lor trebuie să fie una conform nevoii cățărătorului, pentru a facilita întinderea cât mai puțin solicitantă a mâinii în vederea accesării echipamentului dorit. Pantalonii de bouldering au ca element distinctiv o buclă/gaică elastică în care poate fi agățată peria, prin care cățărătorul curăță de murdărie priza naturală pentru a asigura o prindere corectă.

Pe lângă echipament, cățărătorii au nevoie de depozitarea unor alte obiecte, precum acte, chei, telefon, hartă, mâncare. Uneori pantalonul este prevăzut cu un buzunar îngust și înalt pentru perie. Rolul buzunarelor este unul funcțional. Elementele de fixare a terminațiilor superioare ale buzunarelor trebuie proiectate conform tipurilor de obiecte necesare pe traseu, iar închiderea lor se dorește a fi una ușoară, și care să asigure păstrarea în siguranță a conținutului. Accesul la buzunare nu trebuie să solicite cățărătorul.

Lungimea pantalonilor este diferită și în funcție de anotimpul în care se practică ascensiunea. O lungime nepotrivită fie împiedică la propriu cățărătorul, fie îi limitează amplitudinea de mișcare a membrului inferior. Prin urmare, modelul pantalonului trebuie prevăzut cu opțiunea de ajustare a lungimii. Acest lucru se poate realiza fie prin încrețire cu un șnur elastic, fie prin posibilitatea de rulare și fixare pe gleznă cu o capsă. Pentru sportiv este deosebit de important să poată să își vadă picioarele dintr-un anumit unghi, pentru a calcula atingerea următoarei prize. Elementul de tip manșetă elastică permite cu ușurință acest lucru, eliminând cazul neplăcut în care espadrilele se agață

în pantaloni prea lungi și largi.

Un detaliu interesant menționat de respondenții cățăzători sunt benzile reflectorizante aplicate pe interiorul gambelor, atunci când manșetele pantalonului sunt rulate și fixate la locul lor, benzile fiind orientate spre spate și spre exterior. Scopul acestor benzi este asigurarea vizibilității cățăzătorului în cazul escaladelor, în perioade cu vizibilitate redusă (de exemplu: ceață).

3.2. Cerințe legate de proiectarea pantalonilor pentru cățăzare

3.2.1. Caracteristici care vizează materialele textile

În cățăzarea pe stâncă, unele mișcări solicită membrele inferioare care iau contact direct cu mediul aspru și abraziv, fapt pentru care pantalonii trebuie să fie confecționați din materiale durabile, testate pentru rezistența la abraziune, întindere, permeabilitatea, absorbție și moliciune.

Esențial pentru această categorie de sportivi este ca materialul să asigure protecție, să fie respirabil și durabil pentru a rezista la contactul cu rocile abrazive și la frecarea continuă cu frânghia sau hamul.

Ventilație și permeabilitate - Cățăzătorii se confruntă adesea cu transpirație și căldură în timpul efortului intens. Prin urmare, pantalonii ar trebui să ofere o bună ventilație și permeabilitate la transpirație pentru a menține pielea răcoroasă și uscată.

Culoare și vizibilitate - Culoarea hainelor în ascensiunea pe munte influențează vizibilitatea. Astfel, în anumite trasee, în funcție de tipul de rocă, dar și condiții de lumină, o culoare puternică va contrasta cu mediul înconjurător și va asigura o mai bună vizibilitate a sportivului.

Protecție UV - Nivelul de protecție împotriva razelor ultraviolete (UV) pentru articolele de îmbrăcăminte se apreciază printr-un factor de protecție și indică procentul de raze care pot pătrunde printr-un material textil. Expunerea prelungită la UV poate produce arsuri solare, îmbătrânirea prematură a pielii și cancer de piele. Printre avantaje se numără rezistența sporită a materialului datorită blocării eficiente a razelor UV, uscarea foarte rapidă a acestuia, precum și rezistența la frecare și abraziune [242].

3.2.2 Adaptabilitate pentru persoane cu nevoi speciale

În ultimele decenii, paraclimbing-ul a devenit foarte popular, reușind să fie practicat de sportivi cu deficiențe de vedere, auz și tulburări neuromotorii, în mediul de escaladă la sală, în interior, dar și în aer liber.

Escalada adaptivă are rolul de a valorifica abilitățile rămase ale unei persoane și a încuraja participarea sa în activitățile sportive. Puține cercetări menționează un potențialul terapeutic al escaladei adaptive. Persoanele cu leziuni ale măduvei spinării sau chiar leziuni cerebrale dobândite necesită echipamente de protecție adaptate fiziologiei lor. Astfel, există o nevoie reală de dezvoltare a unui segment de produse, respectiv articole de protecție adaptive personalizate. În acest context,

produsul de îmbrăcăminte are un rol important. Se utilizează hamuri personalizate, de tipul harnașamentului pentru piept, pentru a distribui mai bine greutatea, asigurând atât siguranța cât și menținerea cățărătorului într-o poziție verticală. Hamul pentru piept poate fi folosit în combinație cu un alt ham pentru zona de șezut, de regulă, în cazul persoanelor paraplegice, pentru a menține mai bine stabilitatea verticală, dar și pentru a distribui optim greutatea, fără a limita respirația sau a provoca leziuni de presiune. Se pot utiliza și alte sisteme de hamuri, cum ar fi cele cu centuri mai mari pentru talie și bucle pentru picioare [243].

O altă variantă posibilă este utilizarea unui scaun complet pentru ascensiune, echipat cu curele și chingi pentru membrele inferioare, piept și umeri. De asemenea, se folosesc scaune speciale pentru cățărarea pe frânghie, în special pentru a preveni apariția leziunilor de presiune. Fabricația acestor sisteme trebuie să fie realizată din materiale optime și sisteme sigure de prindere pentru zonele de șezut și piept ale cățărătorului. Un alt tip de scaun cu harnașament poate oferi suport lombar prin acoperirea harnașamentului cu materiale groase, voluminoase, care să asigure un anumit grad de confort. Persoanele care suferă de paralizie, folosesc de regulă, un dispozitiv de ascensiune bazat pe un sistem de scripeți amplasați superior pe stâncă, care le permite să urce treptat în vârful peretelui, cu ajutorul unui mecanism de blocare asemănător unui clichet [244].

O altă categorie în escalada adaptivă o constituie persoanele care folosesc proteze ale membrelor. Majoritatea picioarelor protetice nu sunt special concepute pentru activitatea de cățărare. Există câteva exemple de proteze adaptate, însă cățărarea este mult mai dificilă pentru persoanele cu amputații de grad înalt, cum ar fi deasupra genunchiului sau chiar mai sus, deoarece controlul asupra articulațiilor genunchiului și gleznei este pierdut. De regulă, cățărătorii cu proteze protetice, folosesc pantaloni scurți, pe care îi ajustează pentru a se potrivi zonei afectate.

Din aspectele prezentate se poate desprinde următoarea concluzie: sportivii se confruntă cu o problemă persistentă în ceea ce privește protejarea membrelor inferioare și prevenirea eventualelor zgârieturi sau vânătăi la nivelul pielii, mai ales atunci când nu pot simți aceste leziuni.

Fiecare cățărător are nevoi vestimentare specifice, dictate de forma unică a corpului. Astfel, conceperea unui articol de îmbrăcăminte destinat exclusiv unei dizabilități nu reprezintă întotdeauna o soluție adecvată [248]. Este utilă o abordare ergonomică și o înțelegere în proiectarea modelelor personalizate care să funcționeze odată cu ascensiunea corpului.

3.3. Aspecte ergonomice și metode de design

3.3.1. Evaluarea virtuală a îmbrăcăminte - metode și instrumente

Sunt studiate aspectele ergonomice și selectate metodele de design adecvate pentru evaluarea diferitelor modele de pantaloni utilizând programul Clo3D. Pentru un studiu aprofundat, se utilizează instrumentele de cartografiere ale tensiunii și presiunii pentru a evalua potrivirea îmbrăcăminte pe

manechinul virtual.

Primul pas în proiectarea virtuală a produselor de îmbrăcăminte este alegerea unui manechin ca formă de bază. Pentru această etapă de studiu, s-au preluat măsurătorile corporale ale unui subiect.

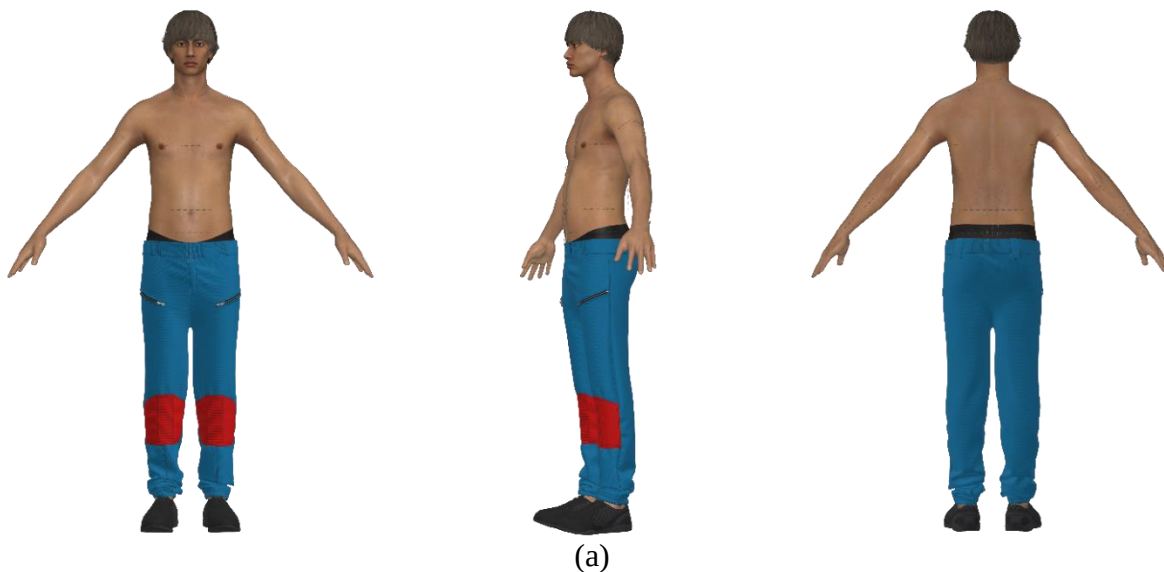
În prima fază, s-au analizat trei modele diferite de pantalon pe avatar, în poziția de tip A, poziție de alergare și în șezut. Modelele proiectate în programul Clo3D sunt prezentate în figura 3.1. Cei care practică acest sport le-au găsit accesibile și le folosesc pentru cățărare.

Modelele de pantaloni înglobează mai multe elemente de design (de exemplu buzunare sau dublarea zonei genunchiului) și accesorii specifice articolelor vestimentare abordate de cățărători. Se urmărește studiul elementelor stilistice și dimensionale pentru pantalonii folosiți în activitatea de cățărare, conform informațiilor oferite de respondenți în cadrul chestionarului.

Diversificarea modelelor, la nivel stilistic se realizează prin: variante diferite de terminație superioară, plasarea unor linii de divizare pentru stabilirea pozițiilor de buzunar sau pentru delimitarea zonei de genunchi prin crearea unor repere cu diferite forme, buzunare aplicate, terminație inferioară. Particularitățile dimensionale folosite prezintă două modele ajustate pe corp și unul cu lejeritate, urmărind designul produselor actuale pentru cățărare (figura 3.1).

Pentru evaluarea modelelor, se definește un material de bază, țesătură 100% bumbac cu legătură diagonală, după care se selectează modul de rezoluție înaltă pentru simulare.

În funcție de software-ul de simulare și evaluare a potrivirii pe corp, nivelul de tensiune/presiune este exprimat în procente sau în valori absolute de presiune virtuală [252]. În figura 3.2 se prezintă setările instrumentelor de cartografiere a presiunii și a tensiunii, fiind ilustrate în următoarea ordine: a) tensiune, b) deformare, c) potrivire și d) presiune.



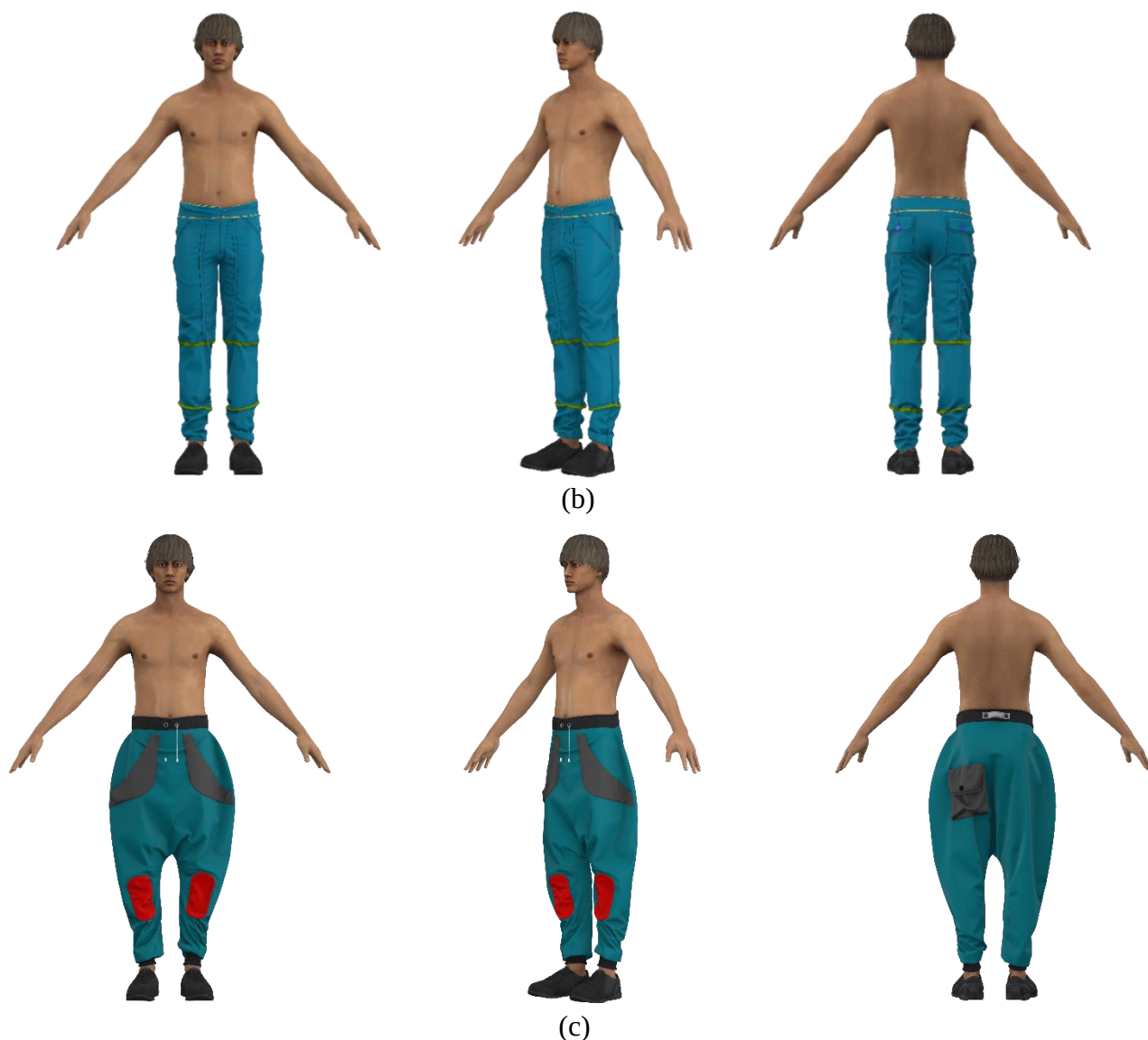
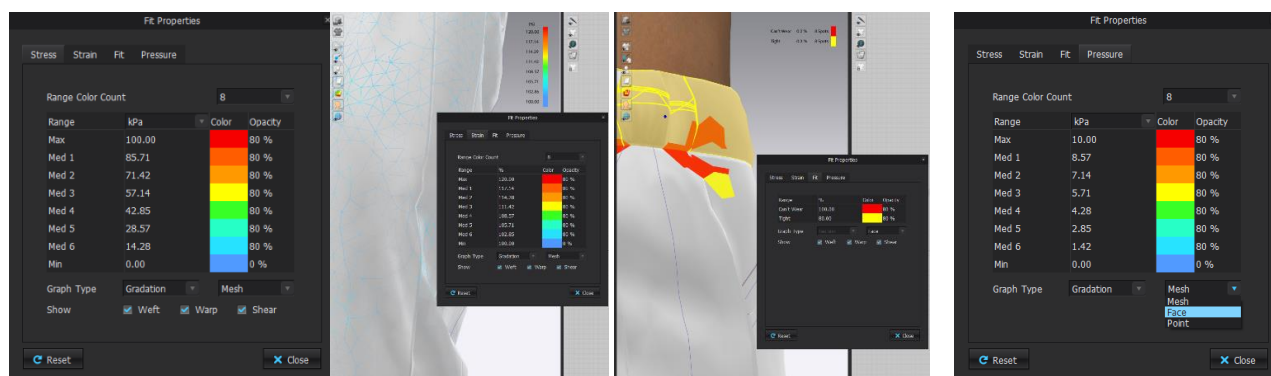


Figura 3. 1 Modele de pantaloni (a) și (b) modele ajustate pe corp, (c) model lejer

Hărțile de potrivire calculează presiunea din interiorul țesăturii pentru articolul vestimentar proiectat. Graficul de distribuție a punctelor de presiune de contact reflectă nivelul de stres și se poate aprecia în funcție de culorile afișate. Când țesătura este tensionată peste limită, aceasta este afișată de regulă în culoarea roșie.



a) tensiune

b) deformare

c) potrivire

d) presiune

Figura 3. 2 Setările instrumentelor de cartografiere a presiunii și a tensiunii

În figura 3.3 se prezintă testarea avatarului în poziția dinamică de alergare pentru modelul b).

În figura 3.3 a) se prezintă distribuția punctelor de presiune din interiorul țesăturii pentru model b) de pantalon. Culoarele evidențiază zonele de contact dintre corp și articolul vestimentar, în care apar puncte de presiune de contact. Harta indică faptul că la nivelul terminației superioare sunt probleme (zone critice).

În figura 3.3 b) distribuția punctelor la potrivire și ajustare se evidențiază prin coduri de culori. Instrumentul de cartografiere la potrivire are rol de evaluare a conformității produsului de îmbrăcăminte și poate anticipa în funcție de gradul de potrivire dacă modelul virtual poate fi purtat și în realitate. Astfel, pe suprafața pantalonului pot fi vizualizate aglomerări de puncte în două culori diferite. Culoarea roșie reprezintă valori de distorsiune maximă, calculate și redată la întindere, solicitare de forțe opuse pe direcție transversală, dar și rigiditate pentru material textil. Acestea sunt calculate și exprimate în procente care arată zonele în care articolul nu este potrivit pentru purtare. Zona roșie indică erori semnificative (de exemplu: subdimensionarea reperelor), care transpuse ulterior în realizarea produsului de îmbrăcăminte vor face ca acesta să nu poată fi purtat. Culoarea galbenă reprezintă valori de distorsiune medii și minime. De cele mai multe ori, culoarea galbenă indică că o ținută este tensionată și strâmtă, fapt ce poate sugera modificări în funcție de cât de ajustat trebuie să fie articolul vestimentar pe corp sau sugestia că parametrii țesăturii pot fi reevaluați/ajustați în zonele indicate. Modelul b) prezintă zonele de disconfort maxim (zone critice), la nivelul taliei și soldurilor, genunchi și terminație inferioară.

În figura 3.3 c) se prezintă harta de deformare care exprimă deformările dintre produs și avatar sub acțiunea solicitărilor (întinderea maximă a îmbrăcăminte la purtare). Roșul indică 120% din rata de deformare, fapt ce arată zonele cele mai întinse, în timp ce albastrul indică 100% (fără deformare), deci materialul nu este întins. Apariția zonelor roșii, în analiza deformării, se observă în zona taliei, sold și coapsă, genunchi și terminație inferioară.

Harta de tensiune din figura 3.3 d) arată încărcările externe care produc deformarea îmbrăcăminte pe zone. Suprafața de țesătură tensionată este reprezentată prin coduri de culoare și valori numerice (kPa). Culoarea roșie indică cea mai puternică tensiune (100 kPa), în timp ce culoarea albastră indică o tensiune zero (0,00 kPa). Zonele evidențiate în roșu, indică faptul că, în realitate, purtătorul va resimți disconfort la purtarea articolului. La nivelul terminației superioare, dar și la nivelul celei inferioare s-au format cute, care indică un exces de țesătură, necesitând eliminarea acestora prin redimensionarea reperului corespunzător și reevaluarea lungimii.



a) Distribuția punctelor la presiune



b) Distribuția punctelor la potrivire și ajustare



c) Harta de deformare



d) Harta de tensiune

Figura 3. 3 Simulare în poziția de alergare – Modelul b)

În figura 3.4 se prezintă testarea modelului b), în poziția șezut.



a) Distribuția punctelor la presiune



b) Distribuția punctelor la potrivire și ajustare



c) Harta de deformare



d) Harta de tensiune

Figura 3. 4 Simulare în șezut – Modelul b)

La schimbarea poziției avatarului din poziția de tip A, în poziția de alergare, urmată de poziția de stat în șezut, se observă o distribuție mai precisă a materialului în exces, în special, în zona abdomenului. Reperele de la nivelul genunchiului au creat linii de rezistență în partea centrală din fața genunchiului, în momentul dinamic, dar mai ales în poziția de șezut. Efectul indică faptul că suprafața reperului de la genunchi este mai mică decât este necesar și se impune reprojectarea.

Simularea celor trei modele care se regăsesc ca și produse actuale pentru cățăărători a permis

studiul interacțiunii corp - produs vestimentar. Rezultatele studiului obținute, în urma utilizării instrumentelor de cartografiere la tensiune și presiune au indicat, prin zone colorate, că în anumite părți ale corpului, la interacțiunea dintre corp și produsul vestimentar sunt probleme de potrivire. Acest lucru indică faptul că trebuie optimizată geometria reperului/elementului de produs pentru eliminarea problemelor identificate.

O zonă critică o reprezintă terminația superioară, unde se dezvoltă tensiuni pe direcția transversală. Se constată, conform figurilor 3.3-3.4, faptul că musculatura bazinului aflată în tensiune întinde foarte tare și solicită materialul textil. În escaladă, unghiul de flexie între axa coapsei și axa gambei asigură invariabil, deplasarea relativă a pantalonului în partea posterioară a corpului, în jos. În momentul în care apare această deplasare relativă a produsului vestimentar, corpul uman va înregistra un disconfort, fapt ce poate distra atenția cățărătorului de la activitate, existând automatismul de a trage pantalonul. Acțiunea va împiedica ascensiunea pe stâncă și poate produce un accident nefericit.

Aceste constatări se bazează pe produsele de modă, la care nivelul de plasare a terminației superioare nu este corect definit. Greșeala apare din stabilirea echilibrului antero-posterior.

Din imagini se poate observa și faptul că zona genunchiului este o zonă cu risc, fiind vizibile tensiunile înregistrate de către instrumentele de cartografiere (figurile 3.3-3.4).

În poziții de mișcare se constată următoarele aspecte: deplasarea terminației superioare pe partea posterioară a corpului, mai jos de nivelul normal; limitarea mișcării la nivelul articulației genunchiului; dimensionarea incorectă a pantalonului pe direcție transversală și faptul că volumul la nivelul întregului membru inferior nu este suficient. Când volum produsului nu este cel corespunzător, acesta nu permite deplasarea relativă.

3.3.2. Modelul cinematic de cățărător

Crearea unui model cinematic a fost studiată și aplicată pentru a selecta posturi reprezentative pentru mai multe categorii de sportivi, precum patinator [60, 71], canotor [80-81], ciclist [84, 86], motociclist [92, 93], scafandru [96], persoane paraplegice [109-110,113] sau persoane cu conformații atipice [112, 116, 119, 120]. Nu s-au regăsit modele cinematice pentru cățărători. Procesul de dezvoltare a unui model cinematic pentru a crea produse de îmbrăcăminte funcționale, de tipul celor regăsite în literatura de specialitate, presupune combinarea mai multor aplicații software în procesul digital.

Pentru a realiza o astfel de aplicație pentru cățărători, este esențială aplicarea unei tehnici de simulare și animație adecvate. Un instrument dinamic și ușor de folosit în acest scop îl reprezintă platforma online Mixamo [253], în care sunt disponibile o gamă variată de animații și opțiuni de personalizare pentru un avatar 3D. Platforma are acces gratuit și nu permite salvarea fișierelor create

în cadrul ei.

Procesul de simulare a îmbrăcămintei se realizează, de obicei, în următoarele etape:

- se definesc proprietățile materialului textil;
- se selectează un avatar în funcție de măsurile corporale definite;
- reperele produsului sunt plasate în proximitatea avatarului, asamblate virtual pentru a genera prototipul 3D al modelului ales;
- îmbrăcămintea este așezată și drapată pe avatarul selecționat;
- simularea produsului.

Aplicarea rigging-ului pe scheletul avatarului (figura 3.5) se face pentru a controla mișcările și articulațiile într-un mod precis. Pentru a conecta geometria avatarului la schelet se aplică un înveliș, cunoscut sub termenul de „skin”. Este o metodă de asigurare a mișcărilor reflectate în modelul 3D.

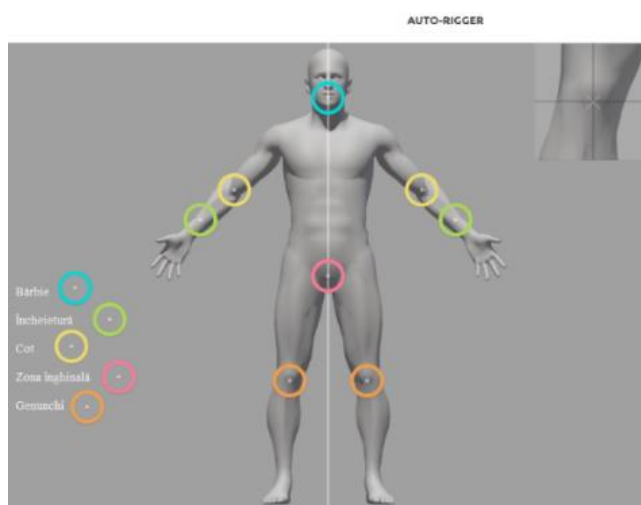


Figura 3. 5 Funcția Auto-rigger

Se utilizează și se prezintă, în cercetările efectuate, instrumentele din Mixamo pentru a analiza și personaliza animațiile, ajustând poziția corpului, mișcările membrelor și alte detalii, pentru a se potrivi cu stilul și tehnica de cățărare (figura 3.6). După stabilirea mișcărilor în Mixamo, se exportă animația și se analizează compatibilitatea în programul Clo3D.

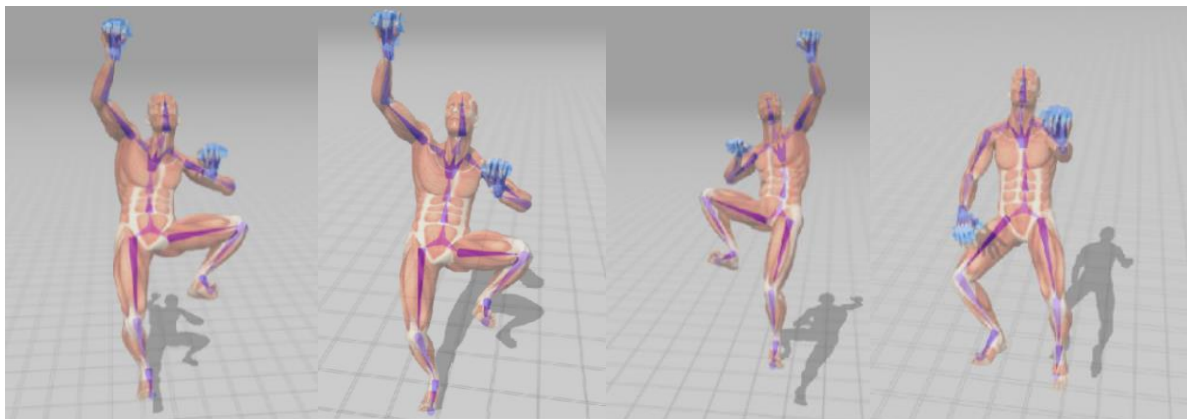


Figura 3. 6 Mișcări simulate în Mixamo

Se testează avatarul animat, fișierul importat în Clo3D, și se studiază diverse metode pentru proiectarea și simularea îmbrăcăminte. Simularea dinamică 3D a produsului de îmbrăcăminte pe avatar, în modul de vizualizare Mesh, permite identificarea deformărilor materialului la nivelul pantalonului, în zona inghinală și la nivelul genunchiului. În figura 3.7 sunt prezentate zonele cu deformări apărute în timpul mișcărilor de cățărare. Aceste zone cu risc identificate pot fi aprofundate în reproiectarea pantalonului.

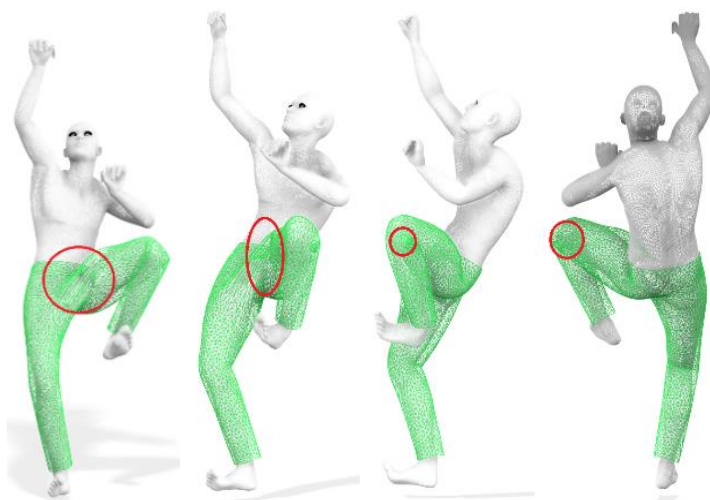


Figura 3. 7 Identificarea zonelor cu risc

Pe baza modelului cinematic, rezultatele obținute au permis stabilirea următoarelor etape de lucru: identificarea unei secvențe de mișcări reprezentative pentru categoria de cățărători; generarea unui avatar animat; obținerea de posturi cu deformare musculară; dezvoltări de prototipare virtuală după cum urmează: cazul I – Prototip virtual 3D-2D creat cu tehnica de desfășurare a geometriei membrului inferior preluată din dinamică pentru obținerea reperelor plane; cazul II – Prototip virtual 2D-3D construcția unui model de îmbrăcăminte folosind metoda tradițională 2D, apoi analiza potrivirii pe corp în mișcare;

Prototiparea virtuală bazată pe modelele cinematice umane reprezintă o propunere în proiectarea de îmbrăcăminte funcțională.

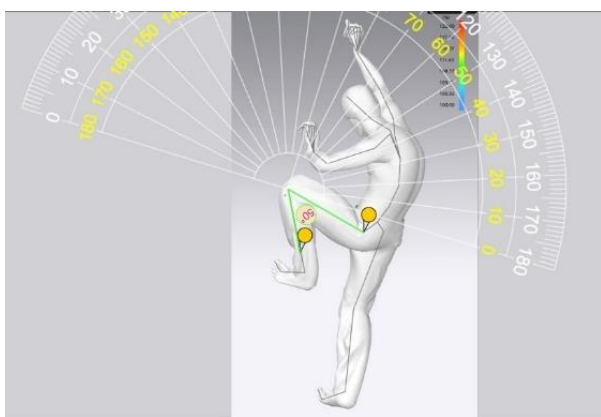


Figura 3. 8 Model cinematic - unghi $\delta 1$



Figura 3. 9 Model cinematic - unghi $\delta 2$

Analiza cinematică a arătat că genunchiul, coapsa și zona inghinală sunt zone cu tensiuni musculare. Postura obținută în simularea mișcărilor specifice de bouldering este caracterizată de unghiurile: $\vartheta_1 = 50^\circ$ și $\vartheta_2 = 163^\circ$, determinate prin măsurare, așa cum se prezintă în figurile 3.8 și 3.9.



Figura 3. 10 Preluarea formelor cu instrumentul 3D Pen (Avatar)



Figura 3. 11 Activarea funcției flatten pentru desfășurarea reperelor

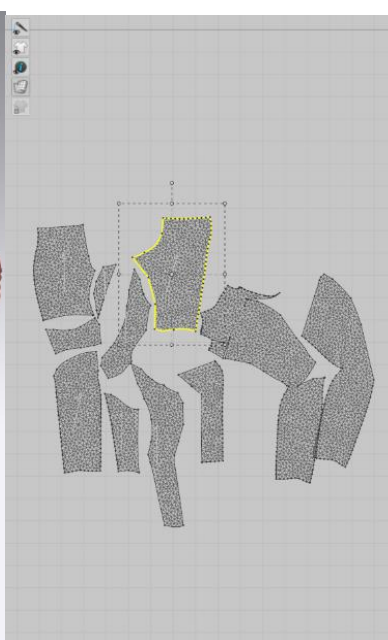


Figura 3. 12 Reperele modelului - suprafețe plane

În procesul de proiectare a pantalonilor, se vor lua în considerare zonele roșii cartografiate pe produs (figura 3.7). Se observă deformarea materialului în timpul flexării genunchiului și a șoldului, unde, în mod normal, materialul textil ar trebui să se extindă împreună cu contracția mușchilor, în timpul mișcărilor de bouldering. Urmărind forma avatarului din postura dinamică, conform celor explicate în figurile 3.10 și 3.11, se pot crea linii și forme flexibile (figura 3.12). Programul Clo3D dispune de o serie de instrumente specializate în desfășurarea formelor, și anume: 3D Pen (Avatar), Edit 3D Pen (Avatar) și Flatten. Aceste instrumente permit desenarea și proiectarea reperelor. Se introduc linii de divizare, în funcție de forma produsului și se extrag reperele pentru crearea articolelor de îmbrăcăminte.

Instrumentele 3D Pen (Avatar) sunt destinate utilizatorilor experimentați în proiectarea articolelor care urmăresc fidel forma corpului, pentru a dezvolta forme personalizate. Funcția Flatten prezintă limitări în extragerea formelor, în special la nivelul membrelor inferioare, dacă regiunea este prea mare pentru instrumentul de aplatizare, acesta nu va evidenția și nu va selecta zona.

În primul caz (Prototip virtual 3D-2D), extragerea reperelor de pe avatar a fost influențată de prezența unghiului mare de îndoire pe zona terminației superioare, zona inghinală și zona genunchiului. Dacă reperele nu pot fi extrase cu acuratețe, din cauza unor cute, produsul confecționat pe baza acestora poate prezenta probleme de utilizare, precum disconfort. De aceea, reperele extrase

necesită prelucrare și verificare, ceea ce impune experiență în proiectarea 3D pentru asigurarea unei potriviri precise. Metoda de desfășurare a geometriei din 3D în 2D, urmărește conturul corpului și conduce la secționarea și divizarea pantalonului, generând o serie de suprafețe plane.

Se adoptă astfel, în cel de al doilea caz, metoda tradițională 2D de construire a unui tipar de pantaloni (Anexă 2). Se precizează că, pe baza cercetarilor efectuate și a rezultatelor prezentate în Capitolul 2 au fost proiectate trei modele de pantaloni care se regăsesc ca și produse actuale pentru cățărători. Simularile prezentate în subcapitolul 3.3.1. (evaluarea potrivirii în statică, poziție dinamică de alergare și poziție în șezut) au permis identificarea zonelor critice cu probleme a interacțiunii corp-produs vestimentar, care apar la modelele existente. În urma acestor rezultate, s-a decis optimizarea pantalonului și adaptarea acestuia pentru categoria de cățărători montani, cu o analiză suplimentară asupra zonei genunchiului.

În figura 3.13 sunt definite reperele (față, spate și betelie) și se stabilesc segmentele pentru coaserea și simularea unui pantalon clasic. Se urmărește optimizarea formelor geometrice pe baza cerințelor specificate de respondenții cățărători.

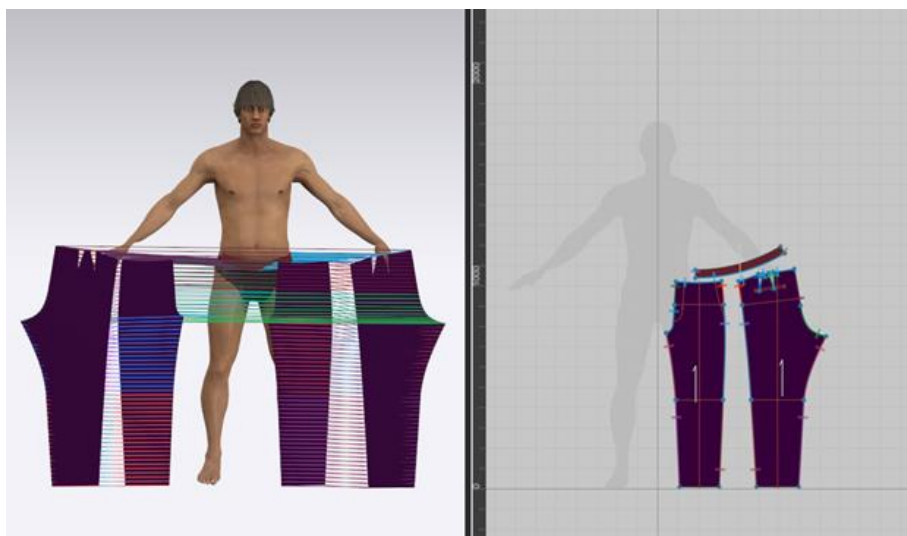


Figura 3. 13 Definire repere și simulare coasere

În figura 3.14 este ilustrat articolul de îmbrăcăminte pe avatar. Pornind de la postura statică a avatarului îmbrăcat, se stabilesc și se introduc liniile de divizare, conform analizei realizate în primul caz (figurile 3.7-3.9) și se dezvoltă particularitățile modelului de pantalon pentru cățărători (figura 3.15). Ținând cont de aspectele identificate în analiza celor trei modele de pantaloni, se definește echilibrul antero-posterior, prin poziționarea corectă a nivelului de plasare a terminației superioare pe corp, astfel încât să se prevină deplasarea produsului în timpul mișcărilor de ascensiune ale cățărătorului. Se urmărește dimensionarea corectă a pantalonului pe direcție transversală, pentru a evita limitarea mișcării la nivelul articulației genunchiului și se analizează dacă volumul creat la nivelul întregului membru inferior este suficient.



Figura 3. 14 Asamblare articol pe manechin



Figura 3. 15 Introducere linii de divizare și particularități de model

Se ține cont de postura avatarului în cățărare (figura 3.7) și de delimitarea geometrică a reperelor de model, desfășurate plane (figura 3.12) rezultate din unghiurile de îndoire ale membrelor inferioare, $\partial_1 = 50^\circ$ și $\partial_2 = 163^\circ$ (figurile 3.8 și 3.9) pentru a introduce liniile de divizare în zona genunchiului.

În figura 3.16 sunt prezentate particularitățile pentru construcția reperului de genunchi.

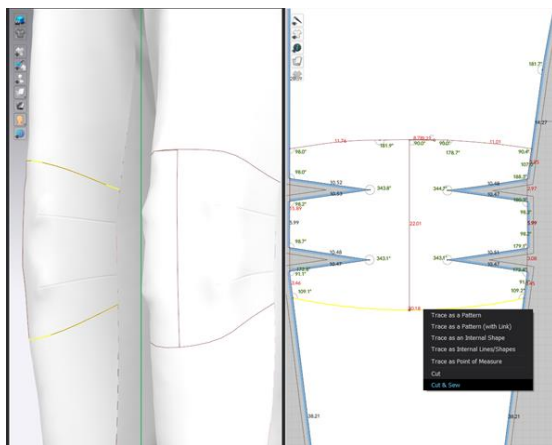


Figura 3. 16 Introducere particularități model pentru zona genunchiului

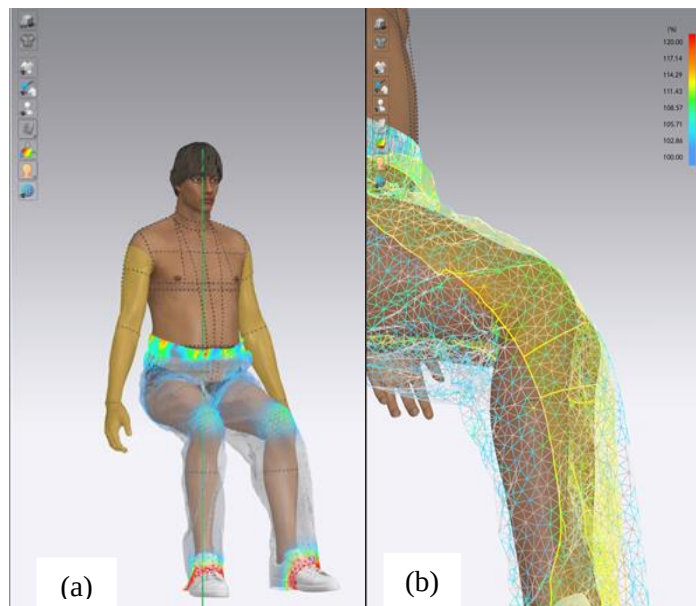


Figura 3. 17 Poziție dinamică a) harta de tensiune; b) detaliu genunchi

Figura 3.17 ilustrează avatarul în poziție dinamică (a) și prezintă evaluarea reperului de genunchi cu instrumentul hartă de tensiune (b). Pentru dimensionarea corectă a reperului de la genunchi s-a măsurat perimetrul genunchiului în poziție statică și în poziții dinamice. Ținând cont de valoarea absolută a efectului dinamic calculat pe baza diferenței dintre valorile dimensiunilor corporale măsurate în regim static și dinamic [254-256] au fost introduse patru falduri care asigură comportamentul optim al pantalonului la îndoirea genunchiului, precum și la solicitări repetate.

Prototipul virtual final este prezentat în figura 3. 18 (a) vedere față; (b) vedere laterală dreapta; (c) spate; (d) vedere laterală stânga.

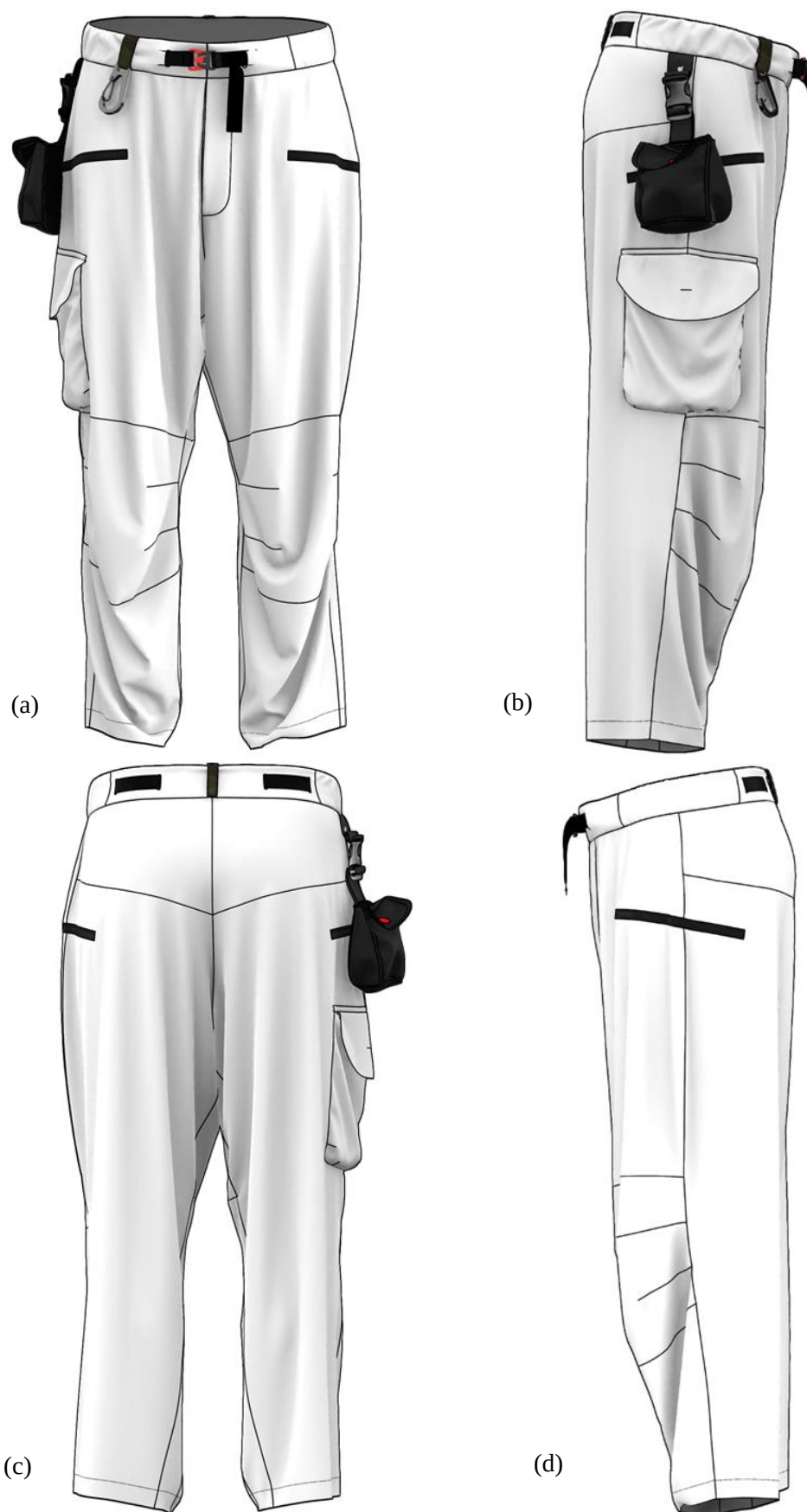


Figura 3. 18 Prototip virtual - pantalon pentru cățăărător: (a) vedere față; (b) vedere laterală dreapta; (c) spate; (d) vedere laterală stânga.

Prototipul virtual este verificat cu ajutorul instrumentelor de cartografiere (figura 3.19: (a) tensiune; (b) deformare; (c) potrivire; (d) presiune).



Figura 3. 19 Simularea și evaluarea comportamentului îmbrăcămintei la potrivire (a) tensiune; (b) deformare; (c) potrivire; (d) presiune.

Mediul digital oferă noi oportunități de cercetare. Un exemplu în acest sens este studiul particularităților corpului în diferite poziții (cățărare), care permite adaptarea geometrică a formelor reperelor pentru a oferi un nivel optim de confort și funcționalitate. Aceste categorii de studii permit perfecționarea metodelor de construcție a tiparelor pentru o anumită grupă de produse de îmbrăcăminte și de utilizatori. În cadrul cercetărilor efectuate, un avatar a fost mai întâi adaptat în baza datelor antropometrice. Cele trei modele de pantaloni, care înglobează mai multe elemente de design, precum buzunare sau întărirea zonei genunchilor, și accesorii specifice articolelor

vestimentare pentru cățărători, au fost analizate folosind instrumentele de cartografiere a tensiunii și presiunii, pentru a determina modul în care diferitele articole de îmbrăcăminte se potrivesc și se comportă în diferite scenarii de solicitări. Simularile realizate (evaluarea potrivirii în statică, poziție dinamică de alergare și poziție în șezut) au permis identificarea zonelor critice, probleme ce intervin în interacțiunea corp-produs vestimentar și apar la modelele existente utilizate de cățărători. Rezultatele studiului obținute, în urma utilizării instrumentelor de cartografiere la tensiune și presiune au indicat, prin zone colorate, că în anumite părți ale corpului, la interacțiunea dintre corp și produsul vestimentar sunt probleme de potrivire. În urma acestor rezultate, s-a decis optimizarea pantalonului și adaptarea acestuia pentru categoria de cățărători montani, cu o analiză suplimentară asupra zonei genunchiului.

Prototiparea virtuală 3D a produselor vestimentare permite proiectanților să vadă cu ușurință cum va arăta modelul lor, într-o gamă largă de materiale și cu diverse situații de solicitare.

Secvențele de mișcări reprezentative pentru categoria de cățărători sunt identificate, iar pe baza acestora se generează un avatar personalizat. Mișcările specifice de bouldering sunt simulate prin animarea avatarului în platforma Mixamo, ceea ce conduce la obținerea unui model cinematic de cățărător, cu diferite posturi care prezintă deformări și tensiuni musculare. Forma corpului în timpul cățărării este transferată în sistemul de proiectare pentru îmbrăcăminte, unde se dezvoltă un prototip virtual 3D-2D, creat prin tehnica de desfășurare a geometriei membrului inferior, utilizată în dinamică pentru a obține repere plane.

Metoda de proiectare 3D-2D furnizează informații relevante și sugestive privind adaptarea produsului vestimentar. Totuși, generarea automată a formelor corecte de repere folosind avatarul în poziția de cățărare este influențată de unghiul mare de flexie în zona terminației superioare, inghinală și a genunchiului. Dacă reperele nu sunt extrase cu acuratețe, din cauza unor cute, produsul final poate prezenta probleme de utilizare, cum ar fi disconfortul. Din acest motiv, geometria suprafețelor rezultate din modelul 3D a fost analizată pentru a determina dacă acestea pot duce la crearea unor pantaloni personalizați, cu o potrivire lejeră pentru cățărători, utilizând metoda de prototipare virtuală 2D-3D.

S-au integrat și optimizat următoarele elemente stilistice și dimensionale în designul pantalonului personalizat pentru cățărători:

- echilibrul antero-posterior, obținut prin poziționarea corectă a terminației superioare pe corp, prevenind astfel, deplasarea produsului în timpul mișcărilor de ascensiune, fapt ce ar distrage atenția cățărătorului;
- ajustarea terminației superioare, prin construcția betelie din trei piese, cu un sistem de reglare de tip chingă și o cataramă cu închidere magnetică;
- dimensionarea corectă a pantalonului pe direcție transversală, pentru a permite libertatea

mișcării la nivelul genunchilor și pentru a asigura un volum adecvat al întregului membru inferior;

- optimizarea zonei genunchilor, astfel încât pantalonii să ofere flexibilitate la îndoire și rezistență solicitări repetate;
- reper spate de tip placă și clin interior (format din două piese), pentru a conferi lejeritate și confort;
- buzunare accesibile cu fermoar, deschidere oblică pe șold; buzunar aplicat cu clapă pentru depozitarea obiectelor necesare;
- găici pentru fixarea accesoriilor și echipamentului (carabinieră);
- sistem de ajustare a lungimii pantalonului (prin șnur) pentru flexibilitate sporită;
- sac de magneziu, atașat pe pantalon printr-un sistem de cataramă, destinat depozitării pudrei de magneziu și a periei).

Metoda de proiectare 2D-3D consideră mișcările și tensiunile unice, asociate escaladei pe stâncă, și abordează provocările specifice cu care se confruntă cățărații, oferindu-le acestora echipamente personalizate pentru activitatea lor.

Constatările acestei cercetări evidențiază lacunele actuale din literatura de specialitate în ceea ce privește abordarea funcției de protejare a genunchiului într-un sistem de îmbrăcăminte. Designul optimizat al pantalonilor pentru cățărare reprezintă o combinație între funcționalitate, confort și siguranță. Croiala și detaliile funcționale sunt adaptate cerințelor specifice ale cățăraților, având scopul de a oferi o experiență plăcută și eficientă în timpul cățărării pe stâncă. Prin abordarea acestor aspecte în optimizarea pantalonilor pentru cățărați, se poate asigura că aceștia beneficiază de un echipament funcțional și adecvat.

CAPITOLUL 4. PROIECTAREA ȘI MODELAREA GENUNCHIEREI

La baza motivului pentru care s-a ales dezvoltarea genunchierei stau relațiile cățărilor care folosesc de cele mai multe ori genunchiere improvizate din neopren, de la costumul de scafandru, sau orteze de genunchi cu cauciuc lipit pe suprafață, pentru a fi folosite pe traseele lungi, cu rute dificile cu bolovani. Cei mai mulți cățători folosesc benzi de leucoplast pentru prinderea în siguranță a elementelor de protecție pentru genunchi. Aceștia au explicat că protejarea genunchiului este utilă, în special, în tehnica de cățărare pe coloane și pe trasee care implică colțuri, unghiuri strânse și suprapuneri ale stâncilor.

Genunchierele sunt utile în efectuarea unor manevre de cățărare pe stâncă, denumite knee-bars sau „prize cu genunchiul”. Pentru această tehnică, se poziționează piciorul sau ambele picioare, între două puncte de contact, pentru a crea o priză prin deplasarea genunchiului sau a coapsei sub un bloc de stâncă menținând opoziția cu piciorul. Scopul manevrei constă în obținerea controlului static, dar și de recuperare musculară în timpul activității de cățărare. O priză de genunchi eficientă semnifică redirectionarea unui procent însemnat de sarcină de susținere către membrele inferioare, pentru a face pauză de la efort în cazul mâinilor. În acest caz, mișcarea este una riscantă, deoarece presupune experiență în cățărare și dexteritate. Genunchierele sunt deosebit de utile, mai ales atunci când sunt corect adaptate la tehnica, presiunea și poziția specifică traseului și terenului. Acestea oferă protecție eficientă genunchiului, în special împotriva frecării și abraziunii dintre piele și stâncă.

4.1. Structura și funcția genunchiului

Genunchiul este format din trei oase principale: femurul (osul coapsei), tibia (osul gambei) și rotula.

Genunchiul prezintă o structură biarticulară, și anume articulația tibiofemurală și cea patelofemurală, ce este supusă la forțe mari care apar atât în timpul preluării greutății corpului uman din statică, cât și în mișcare. Se estimează că forța de reacție patelofemurală, la coborârea scărilor este de 2-3 ori greutatea corpului, în timp ce la genuflexiuni poate fi de până la 7 ori greutatea corpului.

Genunchiul poate fi flexat și întins, având o mișcare limitată în comparație cu șoldul sau umărul, iar abducția sa, datorată unui singur ax, provoacă deplasarea prin rotație spre lateral sau îndepărtarea față de linia mediană a corpului. Articulația prezintă și mișcări cu amplitudine redusă, de înclinare marginală, medială și laterală.

Articulația genunchiului trebuie să fie stabilă pentru a susține toată greutatea, permițând astfel în timpul escaladei îndoirea și întinderea picioarelor, prin flexie și extensie, în timpul ce corpul este împins și tras în ascensiune.

Mobilitatea generală poate fi activă și pasivă. Această mobilitate a articulației în cazul mișcării

de flexie a gambei poate atinge 170°. Însă, în articulația genunchiului, pronația și supinația pasivă, sunt posibile în limita de 10°. Articulațiile care se flexează și se extind, sunt predispuse la leziuni caracterizate de deformarea pielii la mișcare. O genunchieră de duritate medie, neelastică, poate asigura protecția necesară atâta timp cât designul este adaptat la anatomie, ținându-se cont de regiunile și proeminențele din zona genunchiului, pentru a permite mișcarea împreună cu protecția, fără a genera un impact negativ care să producă disconfort.

Impactul asupra genunchilor în timpul unei căderi este un pericol care apare frecvent în timpul diferitelor activități sportive. În unele sporturi, utilizarea echipamentului de protecție, de tipul genunchierelor este obligatorie. Pentru a reduce riscul de rănire, elementul protector trebuie să reducă forțele de impact care acționează asupra sistemului musculo-scheletic, fie prin amortizare, prin disiparea energiei, fie prin stocarea temporară a energiei. În cazul sportivilor, utilizarea de genunchierelor are ca rezultat o reducere cu 56% a ratei leziunilor la genunchi [258].

În cazul genunchierelor s-a stabilit că utilizarea adecvată a unei protecții contribuie eficient la reducerea riscului de leziuni și la ameliorarea durerii cauzate de activitatea sportivă [260, 261]. Mai mult, Powers și colab. au studiat genunchiul prin investigații imagistice de tip RMN pentru a evalua efectul curbării articulației, indicând că o genunchieră poate corecta în timp curbura genunchiului [262]. Alți cercetători au comparat pacienții care folosesc protecții pentru genunchi cu cei care nu utilizează niciun dispozitiv de protecție, concluzionând că genunchierele sunt utile în prevenirea leziunilor ligamentare majore la nivelul genunchiului [263].

4.2. Analiza datelor necesare proiectării

4.2.1. Colectarea datelor volumetrice ale genunchiului

În vederea proiectării și realizării genunchierelor de protecție este necesară mai întâi colectarea datelor volumetrice ale genunchiului [35]. Pentru această etapă s-a ales un echipament ce a constat într-o cameră de 12MP de la o tabletă iPad Pro cu acces la aplicația Polycam și ulterior s-a folosit programul de editare Blender [277]. Procesul de fotogrammetrie se bazează pe detectarea algoritmică a caracteristicilor unei imagini 2D pentru a reconstrui tridimensional o reproducere a acesteia. Un model 3D, obținut prin fotogrammetrie, prezintă un set de date digitale care alcătuiesc geometria și textura obiectului real.

4.2.2. Fotografierea subiectului

În tehnica de reconstrucție digitală a genunchiului unui subiect se folosește aplicația Polycam și se explică pașii urmăriti pentru crearea unui model 3D. În figura 4.1 se prezintă etapa de pregătire în care se conturează zonele de interes de pe membrul inferior al subiectului cu vederile: a)anterior, b)lateral, c)medial și d)posterior.



Figura 4. 1 Etapa de pregătire – conturarea zonelor de interes pe subiect- vederi

4.2.3. Procesarea de tip Mesh

După evaluarea fișierului obținut în urma procesului de reconstrucție digitală, se realizează măsurarea și scalarea conform referinței de tip suport de sprijin, foaia în format A4 (figura 4.2).



Figura 4. 2 Operațiunea de scalare a modelului

În editare se folosește programul Blender și se realizează procesarea de tip mesh a formei genunchiului.

4.3. Proiectarea și modelarea genunchierei

Proiectarea și modelarea elementului protector pentru genunchi se realizează folosind programul Rhino 3D, pe baza modelului 3D al genunchiului (figura 4.3) în vederea personalizării.

În modelul de genunchieră dezvoltat se integrează elemente de inspirație organică (figurile 4.4-4.6).



Figura 4. 3 Mesh obținut din reconstrucție digitală

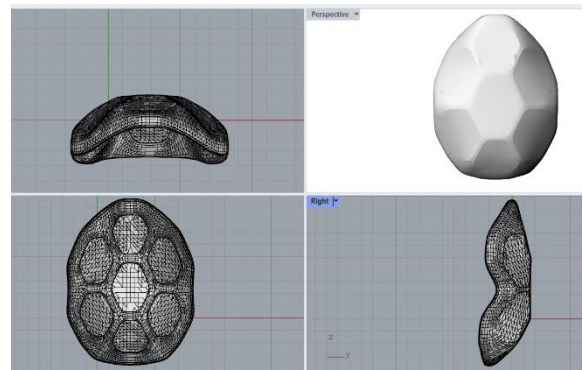


Figura 4. 4 Vizualizarea genunchierei

În figura 4.6 se realizează randarea genunchierei.



Figura 4. 5 Aplicarea detaliilor în obiect

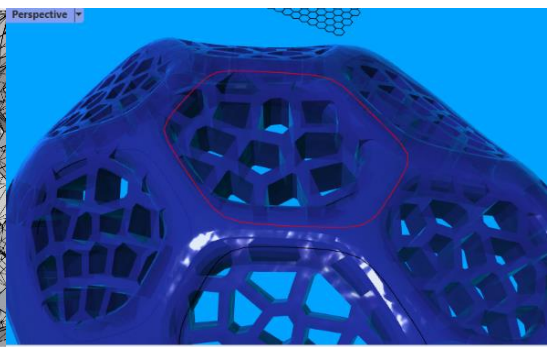
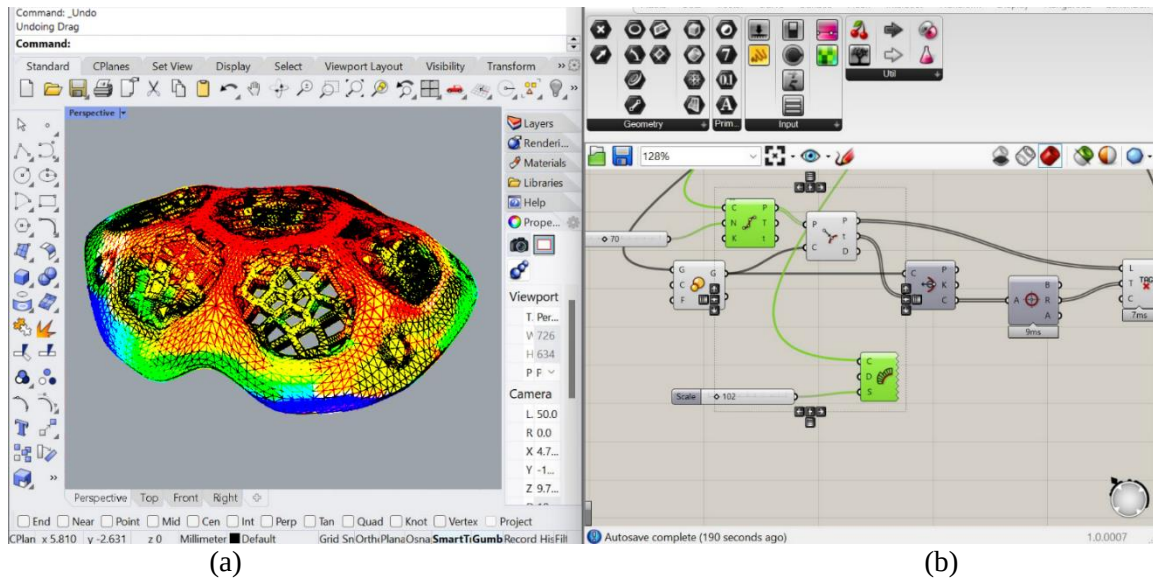


Figura 4. 6 Randarea genunchierei

Metodologia propune simularea comportamentului genunchierei în etapa de proiectare (figura 4.7 a și b).



(a)

(b)

Figura 4. 7 Distribuția de principiu a forțelor sub o presiune normală constantă: (a) simulare în programul Grasshopper a descărcării forțelor pentru genunchiera montată în pantalon; (b) aplicație integrată în

Pentru înțelegerea, dezvoltarea și conformarea formelor geometrice de tip organic, în etapele inițiale de modelare-testare-implementare, se utilizează plugin-ul Kangaroo al software-lui

Grasshopper, instrument care simulează descărcările de forță într-un volum dat și facilitează predicția modelului.

4.4. Simularea comportamentului genunchierii utilizând metoda cu elemente finite

Simularea unui element de protecție în element finit presupune trei etape: pre-procesare, analiză și evaluare, post-procesare (figura 4.8).

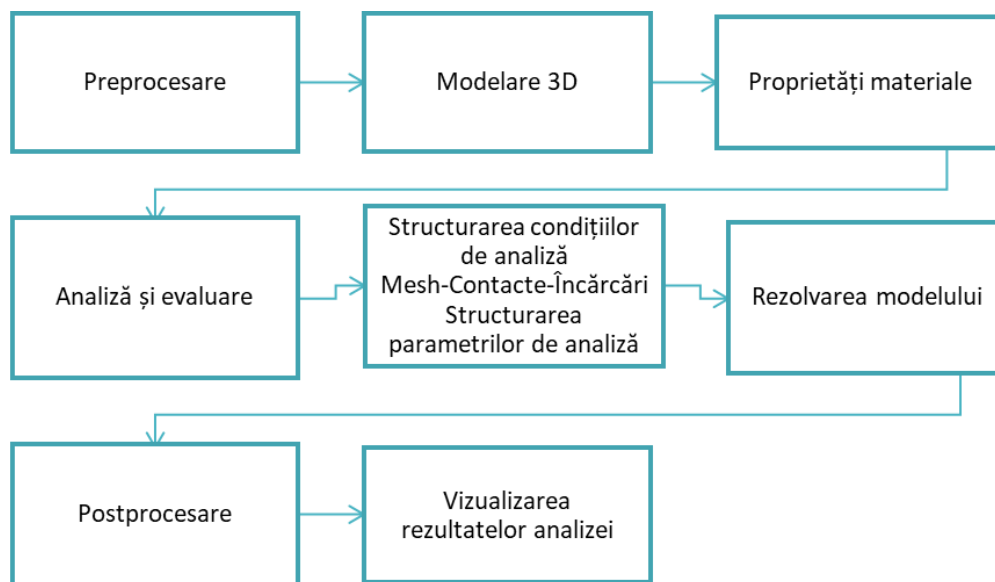


Figura 4. 8 Etape în analiza cu element finit

4.4.1. Dezvoltarea rețelei de suprafață pe genunchiul virtual 3D

Atât genunchiera, cât și piciorul, importate în formatul suportat de program, de tip *.iges, au generat o serie de erori semnalate în etapa de preprocesare din cauza unor linii întrerupte rezultate în urma conversiei de fișiere. Pentru a remedia acest aspect, zonele de suprafețe cu probleme au fost reconstruite și transformate în corpuri solide fără dependențe între ele prin funcția Pull. În același mod s-a procedat și pentru membrul inferior, pentru a simplifica modelul și a evita supraîncărcarea inutilă a algoritmului de calcul. Cele trei suprafețe ale componentelor (figura 4.9 a) genunchieră, b) picior și c) stâncă) au fost simplificate, reconstruite și îmbinate cu instrumentul Stitch.

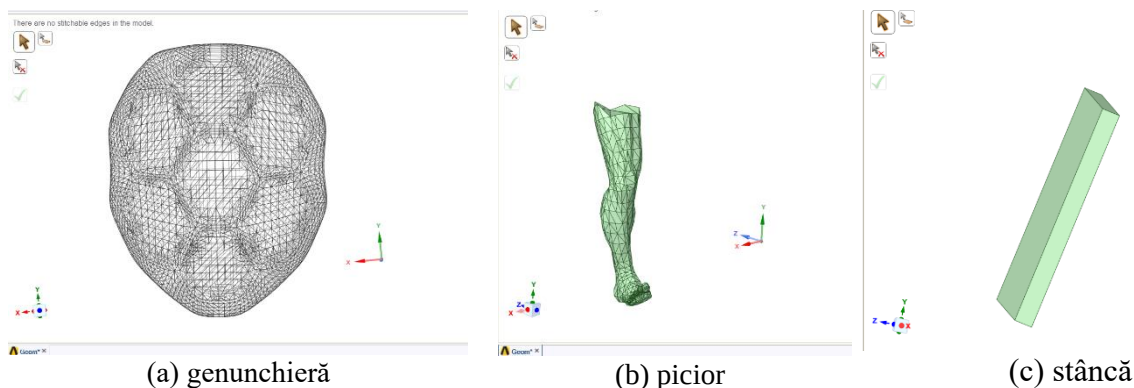


Figura 4. 9 Pregătirea geometrică

În figura 4.10 sunt ilustrate componentele declarate independente cu ajutorul funcției Pull pentru a forma corpuri solide a) și b) detaliu.

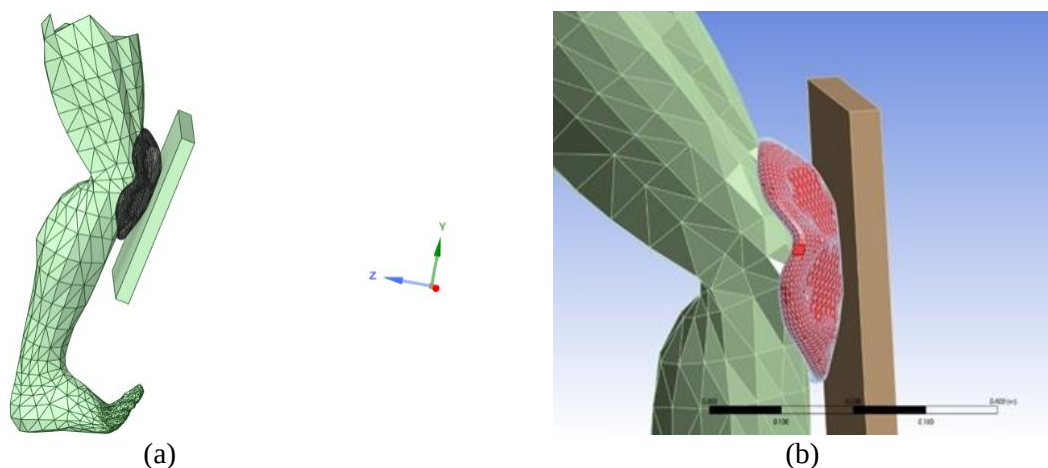


Figura 4. 10 Corpuri solide

Stabilirea procedurii de lucru

Se alege importarea geometriilor pentru **studiul unui model continuu simplificat** în modul de analiză Static Structural. Pentru simularea comportamentului modelelor și a structurilor de materiale, a fost utilizat modulul de analiză tip Static Structural (figura 4.11) al aplicației Ansys.

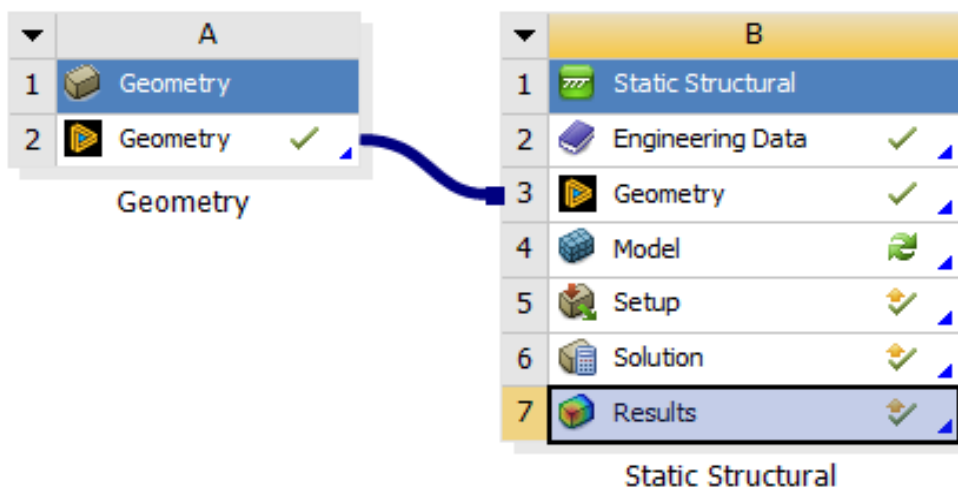


Figura 4. 11 Succesiunea de etape ale modulului Static Structural

4.4.2. Materiale utilizate în proiectarea genunchierei

Analizele demarate în acest capitol au presupus crearea unui nou fișier pentru a defini proprietățile tuturor materialelor pentru corpurile solide în variante simplificate: picior, genunchieră în propunerea de analiză cu 8 variante diferite de material, și suprafața de sprijin, peretele vertical de stâncă, de tip granit, calcar și gresie. Definirea proprietăților fizice a impus adoptarea tipului de comportament al materialelor, și anume, unul de tip elasto-plastic omogen. Conform metodologiilor din literatura de specialitate, proprietățile ce țin de sistemul muscular, osos, cartilajele și articulațiile au fost neglijate, acestea nefăcând parte a studiului [286].

Obiectivul analizei este de a determina **materialele optime** pentru realizarea genunchierei.

Proprietățile specifice materialelor (PEEK, PLA, TPE, TPU, ULTEM, Flexible EVA, Rigid Eva, Nylon) pentru realizarea fizică a genunchierei au fost preluate de la producători de filament, fiind introduse valorile densităților declarate în fișele de produs.

Static Structural este o secțiune complexă, deoarece aici se definesc toate particularitățile care stau la baza analizei de tip FEA. Acest proces implică parcurgerea următoarelor etape:

- definirea materialelor – în secțiunea Engineering Data (figura 4.12);
- verificarea geometriei ansamblului picior-genunchieră-stâncă – în secțiunea Space Claim Geometry (figura 4.13);
- atribuirea materialelor (figura 4.14);
- condiționările analizei și definirea contactelor existente ale modelului de analiză– în secțiunea Contacts, stâncă-genunchieră și genunchieră-genunchi (figura 4.15) și stâncă-genunchi genunchieră și genunchieră-genunchi (figura 4.16));
- generarea liniilor de rețea pentru conexiunile geometrice, din secțiunea Mesh (figura 4.17);
- aplicarea de forțe și constrângeri utile în configurarea analizei, din secțiunea Setup (figura 4.18);
- selectarea pașilor de analiză din secțiunea Solution;
- rezolvarea modelului, analiza simulării și vizualizarea rezultatelor în secțiunea Results (figura 4.19).

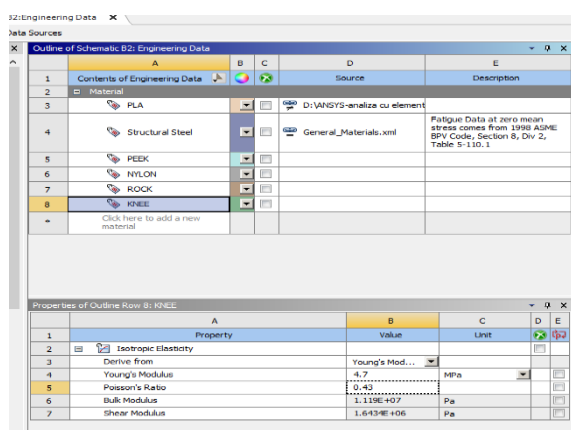


Figura 4. 12 Definirea proprietăților materialelor în Engineering Data

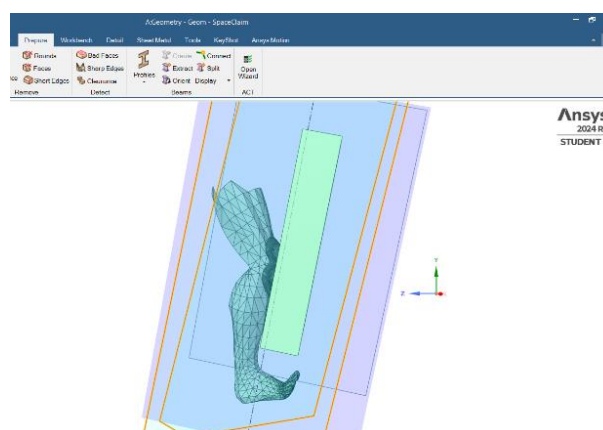


Figura 4. 13 Verificarea geometriei ansamblului picior-genunchieră-stâncă

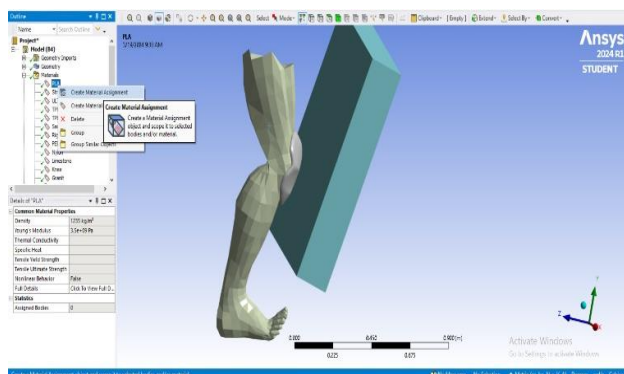


Figura 4. 14 Atribuirea materialelor

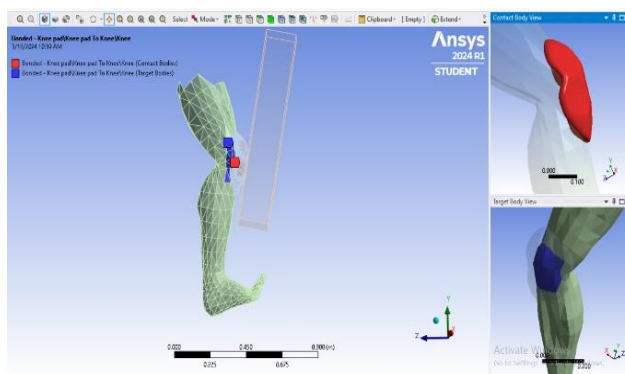


Figura 4. 15 Stabilirea conexiunilor de tip

Geometrie: stâncă-genunchieră și
genunchieră-genunchi

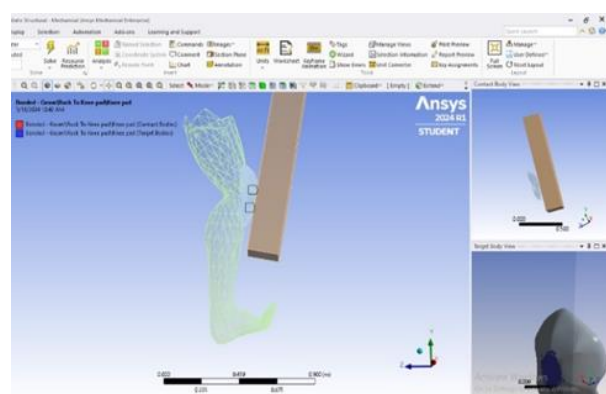


Figura 4. 16 Stabilirea conexiunilor de tip Geometrie:
stâncă-genunchi-genunchieră și
genunchieră-genunchi

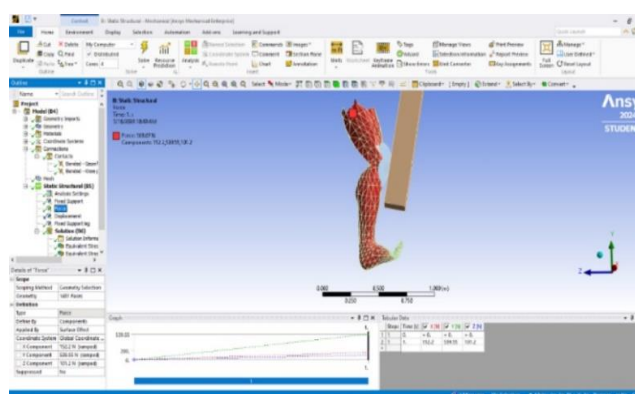


Figura 4. 17 Generarea liniilor de rețea pentru
conexiunile geometrice

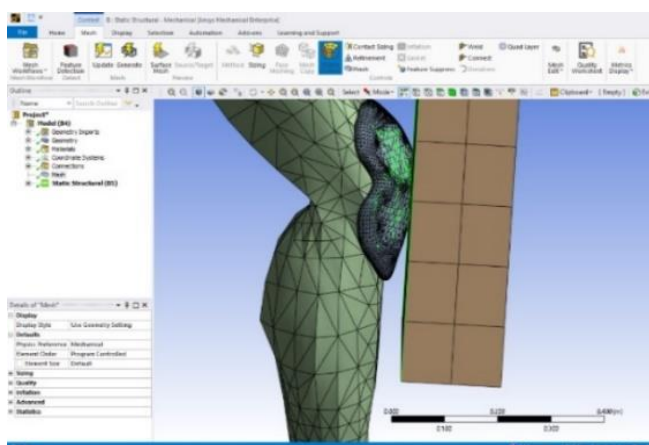


Figura 4. 18 Condiții de analiză

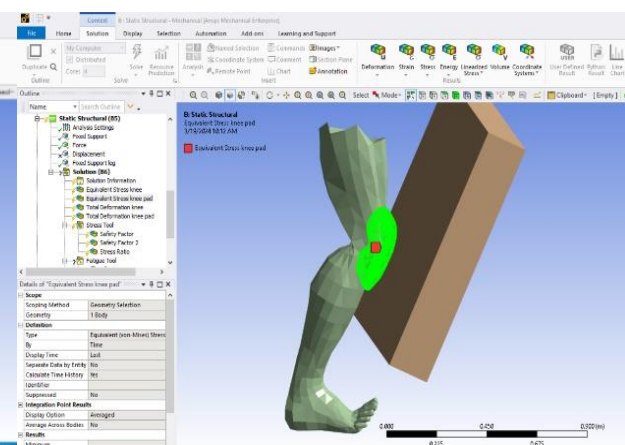


Figura 4. 19 Rezolvarea modelului

4.4.3 Modele de încărcări

Pentru a se analiza modul în care tipul de contact influențează comportamentul întregului ansamblu picior-genunchieră-stâncă, în raport cu condițiile impuse anterior, în programul de calcul s-au stabilit ca parametri de analiză câmpul deformației rezultante și câmpul eforturilor echivalente

Von Mises. Câmpul deformației rezultante indică deformația ansamblului în mm, iar câmpul eforturilor echivalente Von Mises evidențiază rezistența genunchierei și distribuția eforturilor la nivelul ansamblului constituit picior-genunchieră-stâncă în MPa [153].

S-a considerat un model de încărcare cu trei materiale diferite ale suprafeței de sprijin, și anume peretele de stâncă (cazul I, II și III). Materialele testate pentru genunchieră sunt următoarele: PLA – acid polilactic; PEEK – polieteretercetona; TPE – elastomer termoplastic; TPU – poliuretan termoplastic; ULTEM – polieterimidă, Nylon – poliamidă; Flexible EVA și Rigid EVA – etilenacetat de vinil (EVA).

Graficul comparativ al distribuției câmpurilor eforturilor Von Mises ilustrează datele înregistrate pentru fiecare material în parte, testat la suprafețele de stâncă: granit, calcar și gresie (figura 4.20) pentru a determina rezistența genunchierei și distribuția eforturilor. Putem spune că genunchiera reacționează asemeni unui resort, preluând din sarcina de deformație la nivelul genunchiului. Materialele PLA, PEEK, TPU și ULTEM au înregistrat valori similare în ceea ce privește gradul deformației rezultante. Se poate concluziona că acestea au caracteristici similare pentru atributul evaluat, fapt ce le recomandă pentru aplicația în mediul stâncos de tip granit. Analiza datelor arată că materialul Flexible EVA (cu valoarea maximă în cazurile studiate) prezintă o deformație maximă, ceea ce îl face nepotrivit pentru utilizarea în mediul stâncos calcaros. În cazul suprafeței stâncoase de gresie, ideale sunt materialele de tipul celor PLA, TPU, TPE, ULTEM și PEEK. Valorile câmpului eforturilor echivalente Von Mises au înregistrat valoarea maximă în cazul materialului PLA (2.75 Mpa) și valori apropiate pentru materialele PEEK, TPU și ULTEM.

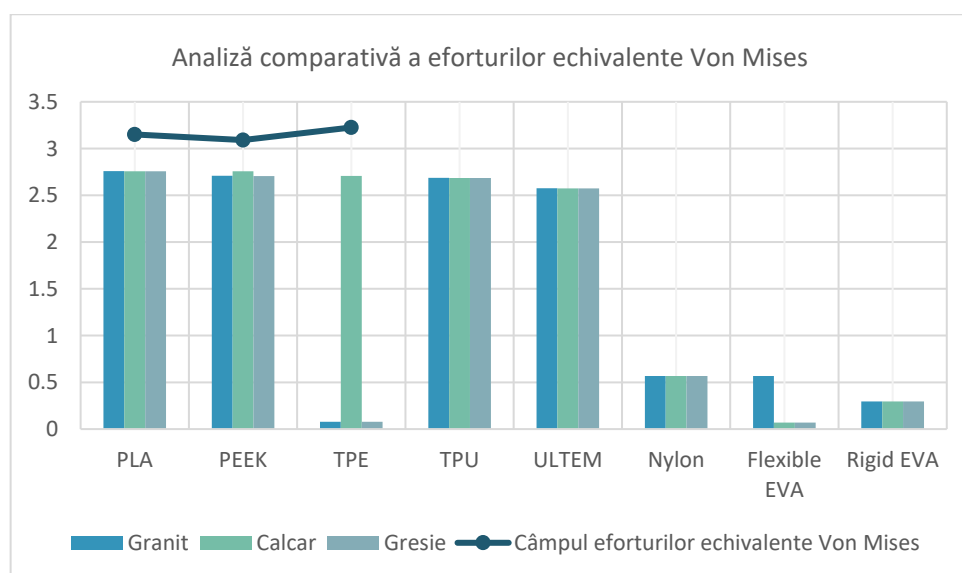


Figura 4. 20 Analiza comparativa între picior fără genunchieră și picior cu genunchieră la nivelul câmpurilor eforturilor von Mises

Acest capitol analizează setul de date rezultat în urma aplicării unui model de calcul în element finit pentru o serie de contacte simulate, frecvente în procesul de cățărare.

În urma analizei virtuale a celor 8 materiale testate pentru realizarea genunchierei, s-a determinat faptul că materialele care satisfac cel mai bine toate criteriile (de rezistență, ușurință în exploatare, eficiență cost, etc.) sunt PLA, TPU și TPE. Rezistența internă a materialului TPU este mai mare decât valoarea obținută prin aplicarea unei forțe perpendiculare de 5850 N. Acest lucru înseamnă că materialul TPU este o alegere potrivită pentru realizarea echipamentelor de protecție pentru cățărători. În cazul impactului simulat dintre genunchi și perete, fără protecție aplicată, se poate observa forța de impact aplicată pe o suprafață de 1-2 cm², în funcție de locul și topografia genunchiului, rezultând o valoare de 3.2 MPa.

Valorile presiunii înregistrate pentru genunchieră variază între 3.2 și 4.5 MPa. Acest aspect se datorează modelării 1:1 și potrivirii perfecte a sistemului de protecție pe genunchiul cățărătorului. O genunchieră universală ar descărca efortul într-un mod aleatoriu, în funcție de punctele de contact pe care le are cu articulația genunchiului. Sistemul propus, prin natura sa de proiectare și execuție individuală, folosind tehnologia de scanare 3D, micșorează valoarea punctuală a impactului cu peretele, obținându-se valori mult mai suportabile, reducând astfel șansele de accidentare a cățărătorului în timpul cățărării.

Grasshopper este instrumentul utilizat pentru simulare și optimizare în etapa de modelare și proiectare, în timp ce programul Ansys asigură un mediu de testare și validare a premiselor de proiectare, încheind astfel procesul de proiectare.

CAPITOLUL 5. ELABORAREA PROTOTIPURILOR FIZICE PENTRU GENUNCHIERĂ ȘI PANTALONI

5.1. Imprimarea 3D

În acest capitol s-a urmărit elaborarea unei metode potrivite de fabricare a genunchierei modelate și testate prin analiza cu elemente finite.

Metoda de imprimare 3D este ilustrată schematic în figura 5.1, cu traseul filamentului termoplastic prin capul extrudor, unde are loc extrudarea propriu-zisă a materialului de tip plastic, cu răcirea și solidificarea acestuia în depunerea de tip layer-by-layer pe suprafața patului de imprimare.

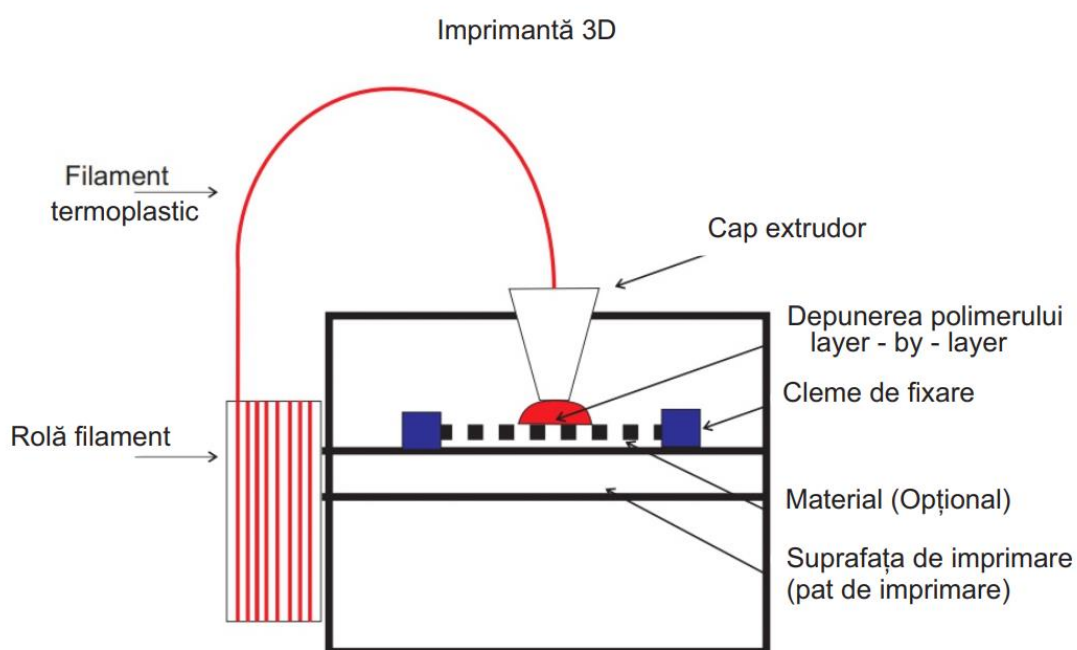


Figura 5. 1 Metoda de imprimare 3D - FDM

5.1.1. Etape de pregătire pentru imprimarea 3D

Etapele de pregătire se referă la procesul de modelare realizat prin proiectare asistată de calculator (CAD-Rhino) pentru conceptul elementului protector de tip genunchieră, și analiza cu element finit (FEA-Ansys) utilă în simularea modelului și alegerea materiei prime.

5.1.2. Etape de imprimare

Etapele de imprimare sunt interconectate și integrate în procesul de fabricație. Figura 5.2 ilustrează etapele procesului de imprimare pentru modelul de genunchieră dezvoltat.

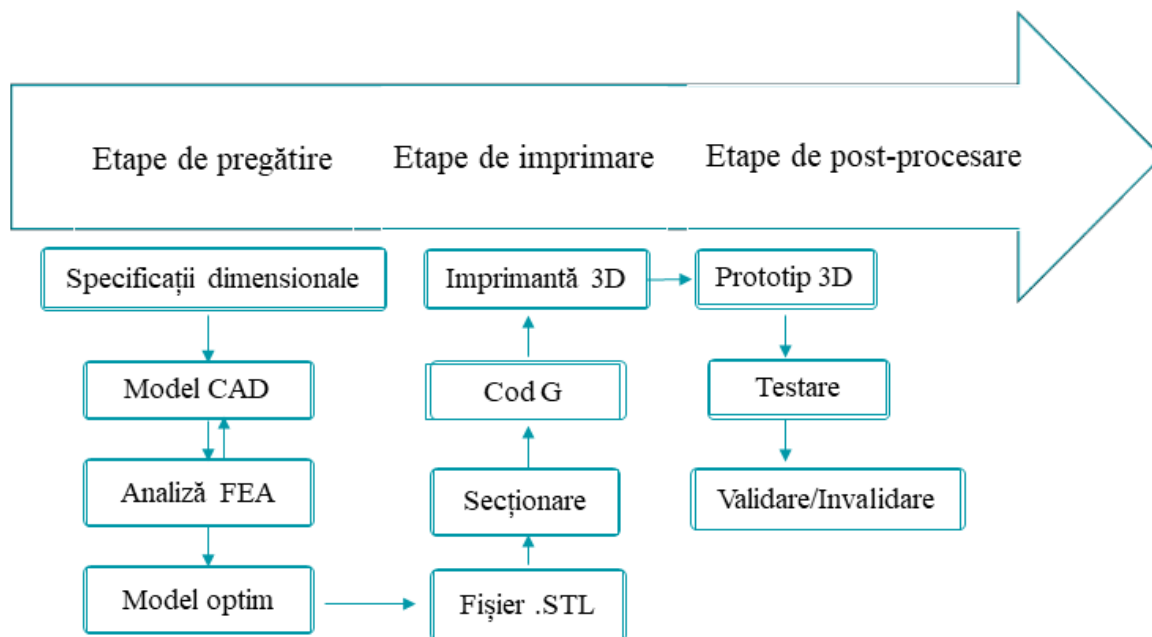


Figura 5. 2 Etapele cheie în imprimarea 3D a genunchierei

Procesul de imprimare standard poate fi împărțit în patru secțiuni: învelișuri (shell), straturi inferioare (bottom layers), straturi superioare (top layers) și volum (infill). Parametrii acestor secțiuni pot fi modificați în mod individual pentru a optimiza designul genunchierei (figura 5.3).

Codul de secționare stabilește amplasarea unuia sau mai multor modele în interiorul volumului de printare al imprimantei și setează înălțimea stratului de termoplastice depus.

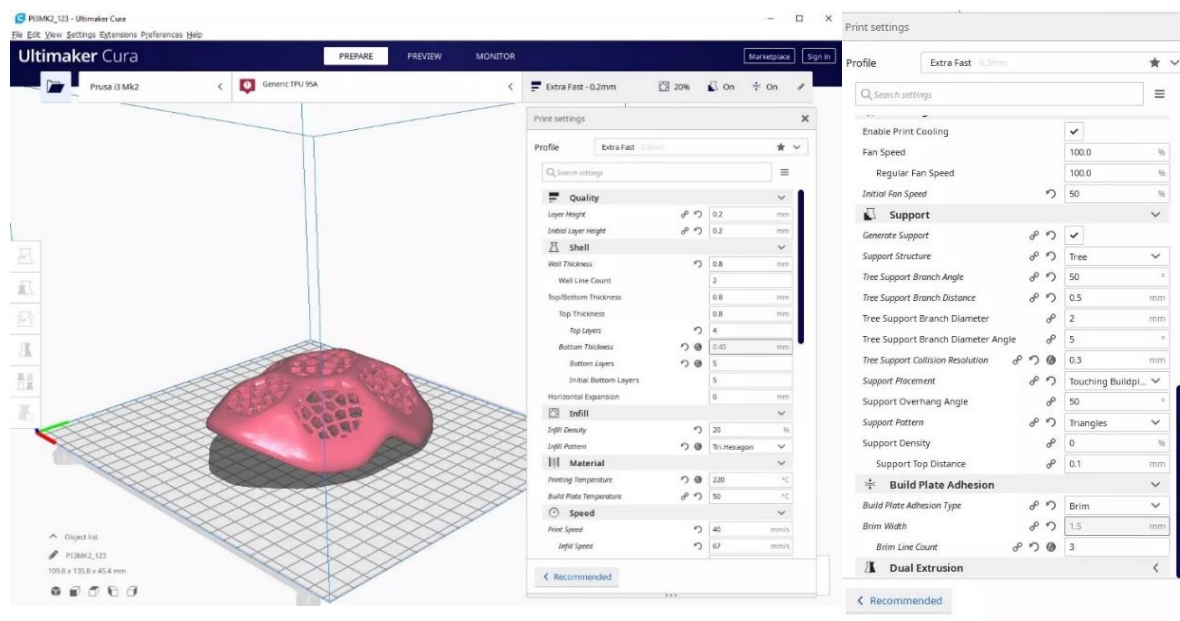


Figura 5. 3 Exportul modelului 3D al genunchierelor și setările de imprimare pentru varianta de material

TPU

Realizarea unei imprimări corecte este esențială, deoarece elementele geometrice ale genunchierei personalizate (adaptată la forma anatomică a genunchiului sportivului) sunt cele care suportă efortul în timpul contactului cu stâncă. Modul în care sunt aleși și definiți parametrii procesului de imprimare are efect asupra calității produsului obținut. Parametrii precum viteza de imprimare, temperatura și aderența la platformă, influențează, în mod direct, aspectul genunchierei în ceea ce privește nivelul detaliilor, finisajul și precizia formei construite.

În final, imprimanta primește setările obținute în urma etapei de slicing, și anume, un traseu bine definit sub formă de comandă numerică (figura 5.4).

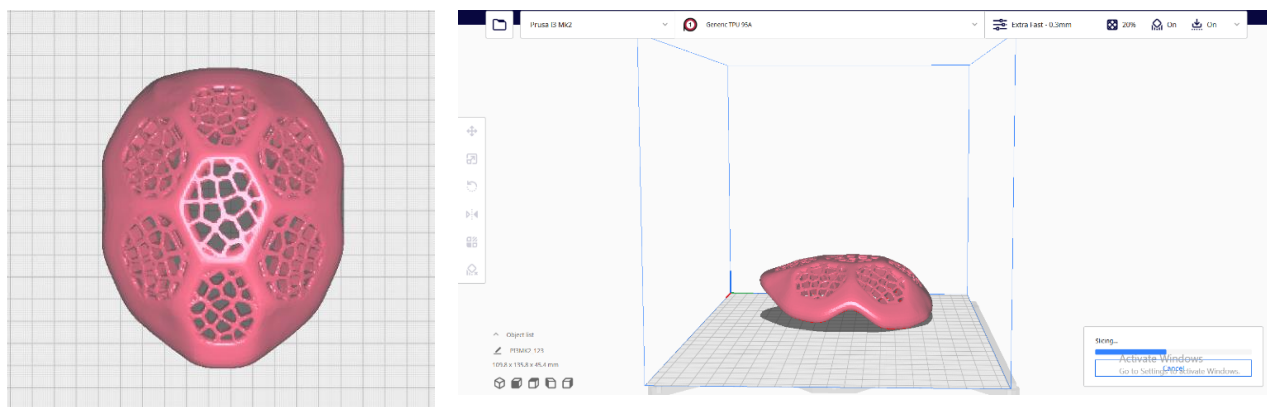


Figura 5. 4 Etapa de Slicing

5.1.3. Etape postprocesare

Etapile de postprocesare pentru genunchiera 3D printată variază în funcție de necesitățile specifice ale proiectului de cercetare și de cerințele mediului de aplicare. În general, etapa de postprocesare presupune operațiuni precum: curățarea, șlefuirea, lustruirea, netezirea cu vapor, netezirea prin pistol cu aer cald, sudarea la rece, umplerea, vopsirea, hidroimprimarea, acoperirea sau placarea și inspectarea finală.

5.2. Materiale utilizate în imprimarea 3D

5.2.1. Materiale folosite în cadrul metodei de imprimare 3D

Filamentele utilizate în tehnologia de imprimare 3D se aleg în funcție de proprietățile mecanice, iar acestea pot fi: elastice, plastice-rigide sau compozite. În figura 5.19, este prezentată clasificarea materialelor sub aspectul curbei de încărcare față de deformație.

Procesul de imprimare

După analiza materialelor și a posibilităților tehnologice, s-a optat pentru realizarea elementului protector, prin fabricare aditivă, pe o imprimantă 3D modelul Prusa i3 MK2. S-au testat următorii parametri de proces: înălțimea stratului, densitatea de umplere, modelul de umplere și viteza de imprimare, pentru trei materiale: acid polilactic (PLA), poliuretan termoplastic (TPU) și elastomer termoplastic (TPE) denumit comercial NinjaFLEX.

Procesul de imprimare folosind cele trei filamente (PLA, TPU și TPE) este ilustrat în figurile 5.5-5.7.

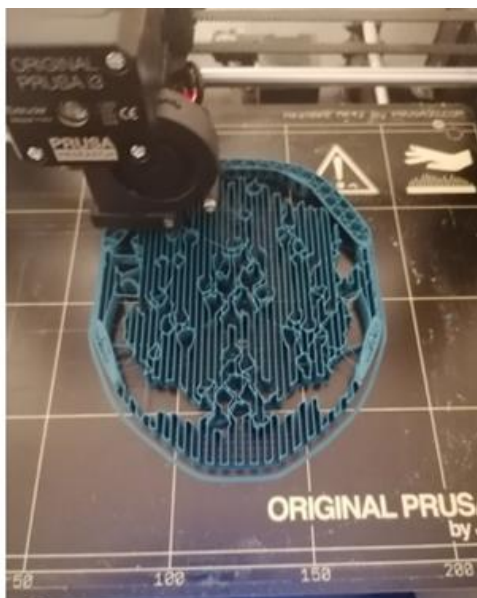


Figura 5. 5 Imprimare 3D cu filament PLA

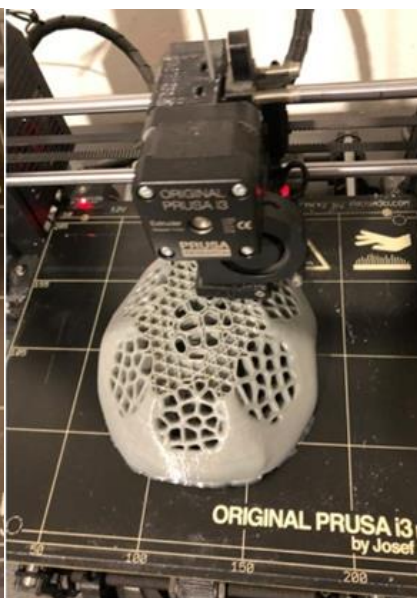


Figura 5. 6 Imprimare 3D cu filament TPU



Figura 5. 7 Imprimare 3D cu filament TPE

Datorită caracteristicilor distincte ale celor trei tipuri de filament, se poate evalua și aprecia gradul de rigiditate oferit de fiecare variantă de genunchieră.

În figura 5.8 se poate observa aspectul final al prototipurilor de genunchiere proiectate și realizate prin imprimare 3D.



Figura 5. 8 Aspectul final al prototipurilor de genunchiere proiectate și realizate

Testarea genunchierei după imprimare presupune, mai întâi, o inspecție vizuală pentru a verifica dacă sunt defecte de ordin vizual (de exemplu: goluri, fisuri, deformări sau straturi depuse incorect) sau la nivel de suprafață (de exemplu: suprafață zimțată sau contur îngroșat) și dacă sunt diferențe

dimensionale. După inspecția variantelor de prototip este necesară aprecierea metodelor de postprocesare adecvate (de exemplu: netezirea cu vaporii pentru genunchiera realizată din filamentul TPU sau prin topire cu pistol cu aer cald pentru genunchiera realizată din TPE).

5.2.2. Materiale textile utilizate pentru confecționarea pantalonului

Cercetarea vizează pe lângă realizarea practică a genunchierei și testarea acesteia împreună cu pantalonul dezvoltat pentru cățăărători. Pe baza rezultatelor obținute din procesarea datelor chestionarului și din cercetarea teoretică privind cerințele de proiectare a pantalonilor pentru cățăărători, caracteristicile materialelor textile au fost definite în subcapitolul 3.2.1. Se analizează și se selectează materialele pentru confecționarea pantalonului, având în vedere următoarele caracteristici: ventilație, permeabilitate, culoare, vizibilitate și protecție UV.

1 - pentru reperele principale, s-a ales o țesătură ripstop având următoarea compoziție: 72% Nylon, 11% Cordura, 10% Poliester și 7% Elastan.

Materialul este scanat și introdus în baza de date a programului Clo3D cu valori ale proprietăților fizico-mecanice pentru a testa prototipul (figura 5.9 a). Se construiește un model virtual precis folosind materialul propus și în mediu digital (figura 5.9 b). Acest proces facilitează o evaluare detaliată a performanței și compatibilității materialului înainte de implementarea sa în prototipul fizic (figura 5.9 c).

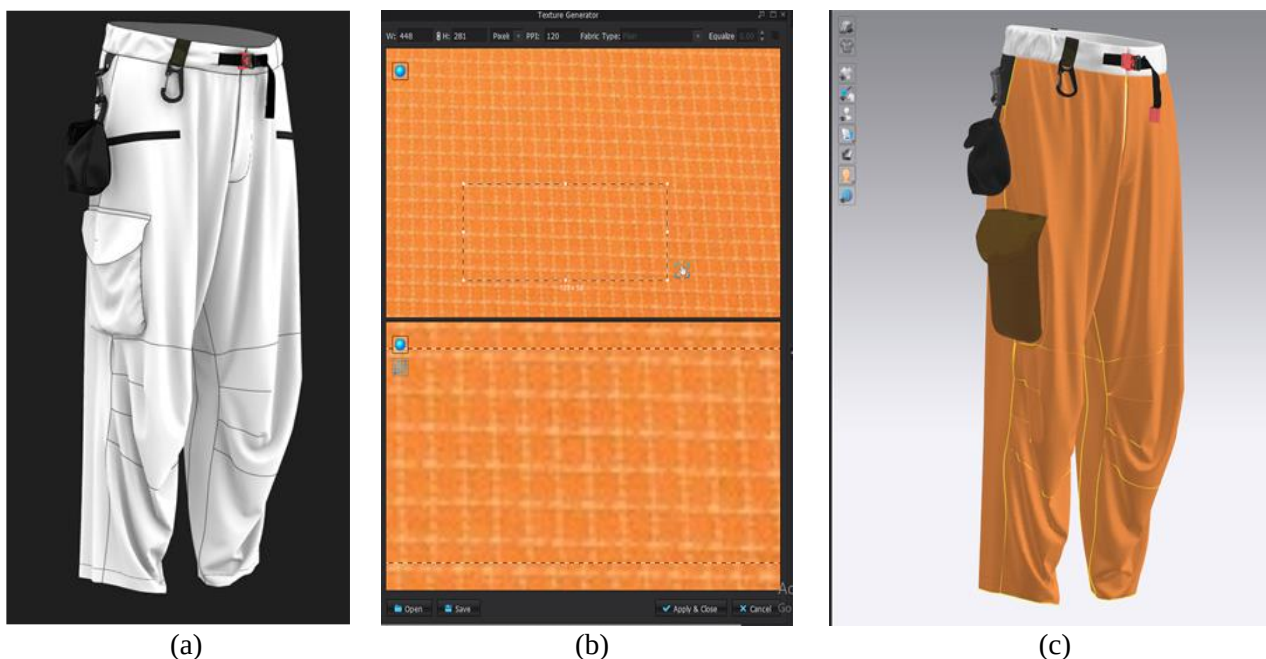


Figura 5. 9 Materialul principal folosit pentru realizarea produsului - țesătura ripstop

2 - pentru reperul de genunchi se propune țesătura UltraStretch datorită combinației sale unice de durabilitate și elasticitate (figura 5.10). Compoziția țesăturii este: 70% Nylon 6.6, 20% Lycra, 10% UHMW-PE (Ultra).

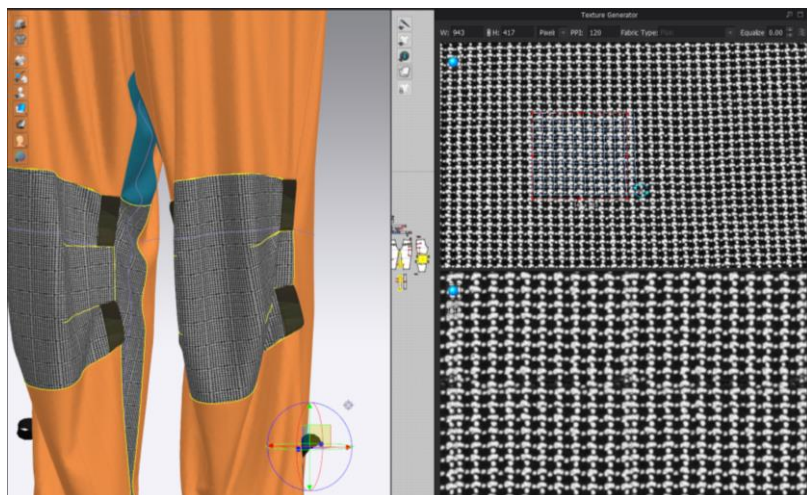


Figura 5. 10 Materialul secundar folosit pentru realizarea reperului de genunchi– țesătura UltraStretch

3 - se alege un alt material pentru reperele platcă spate și clin interior (figura 5.11), zone în care este utilă preluarea transpirației și uscarea rapidă. Materialul din poliamidă elastică compoziție: 89% Nylon reciclat, 11% Elastan.

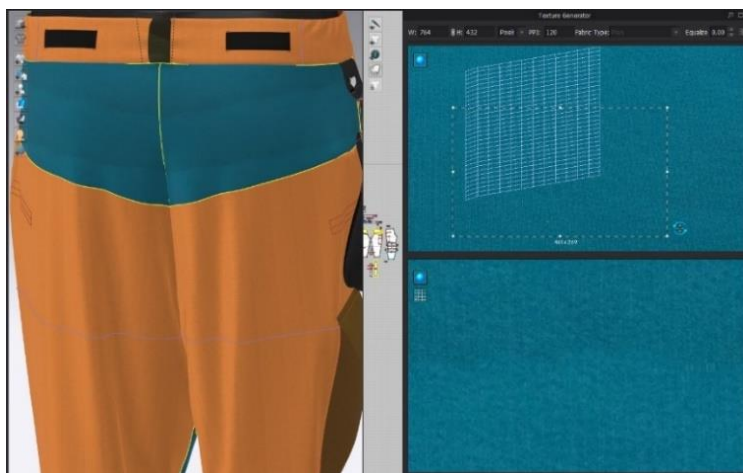


Figura 5. 11 Materialul secundar folosit pentru realizarea reperelor platcă spate și clin interior – țesătură din poliamidă

Materialele alese provin din stocuri de materiale neutilizate în urma proceselor de producție.

În figura 5.12 se prezintă aspectul final al prototipului virtual.



Figura 5. 12 Aspect final prototip virtual

5.3.Validarea ansamblului produs-genunchieră în poziție dinamică de escaladă

După definirea materialelor pentru prototipul virtual, se recomandă potrivirea (figura 5.13) și simularea integrării formei geometrice de genunchieră, în structura produsului vestimentar – pantalon pentru cățărători (figura 5.14), pentru aprecierea întregului ansamblu (5.15).

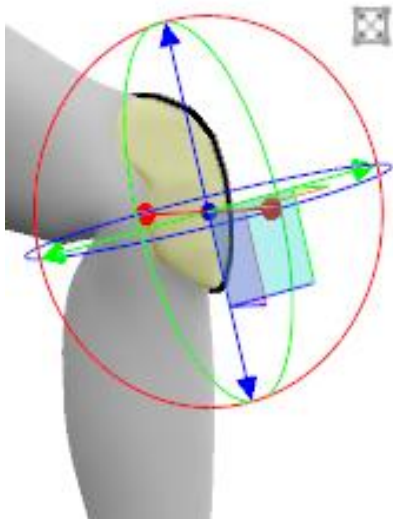


Figura 5. 13 Potrivirea genunchierei pe avatar

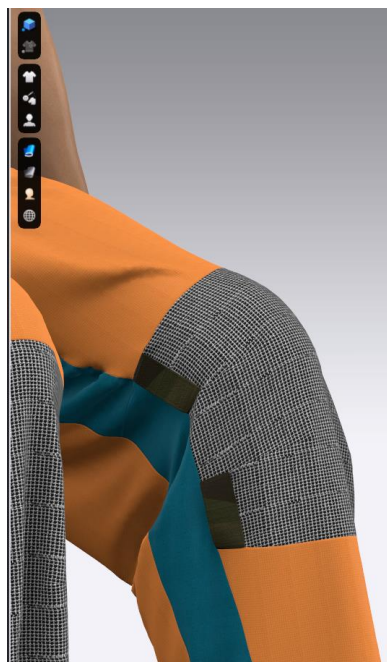


Figura 5. 14 Integrarea genunchierei în ansamblul vestimentar

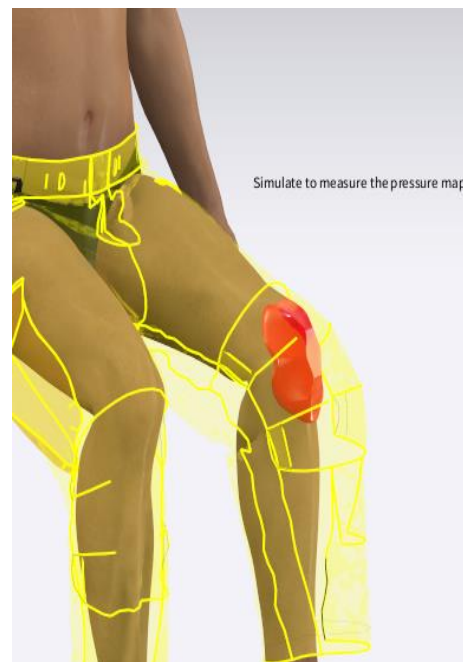


Figura 5. 15 Forma volumetrică a genunchierei integrate în prototipul virtual

Genunchiera, testată inițial în etapa de modelare și, apoi prin metoda de analiză cu elemente finite, se realizează prin imprimare 3D. Aceasta preia șocul și nu se deformează, fapt ce înseamnă că nu transmite mai departe și asigură nivelul de protecție.

În figura 5.13 se prezintă potrivirea genunchierei, în raport cu membrul inferior al avatarului. Pentru această etapă, inițial s-a realizat importul fișierului cu modelul 3D de genunchieră. Se verifică dimensiunile genunchierei și se utilizează instrumentul de poziționare Gizmo.

În figura 5.14 se prezintă forma volumetrică a genunchierei (forma 3D) integrată în prototipul virtual.

În figura 5.15 este ilustrată simularea, pe poziția corpului în șezut, pentru analiza ansamblului constituit de corp-genunchieră-produs vestimentar. Se urmărește evaluarea potrivirii genunchierei și se aplică harta de potrivire.

Figura 5.16 ilustrează faptul că în simularea zonei de contact (corp-genunchieră-produs vestimentar) nu se înregistrează probleme de potrivire.



Figura 5. 16 Simulare - distribuția punctelor la potrivire și ajustare



Figura 5. 17 Simulare – harta de deformare

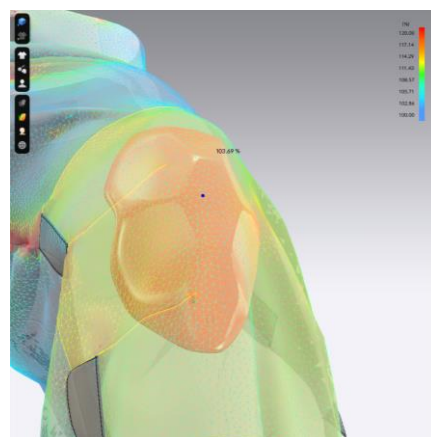


Figura 5. 18 Simulare – harta de tensiune

Figura 5.17 ilustrează menținerea posturii de analiză și simularea ansamblului la deformare. La activarea hărții, presiunea maximă înregistrată (1.47 kPa) pe zona genunchiului este în limitele admise.

În figura 5.18 se prezintă simularea întregului ansamblu (poziție șezut) cu activarea hărții de tensiune, la care înregistrarea valorii maxime (103.69%) se regăsește într-un interval care nu semnalează probleme.

Se analizează dacă, în poziții extreme de utilizare, specifice escaladei (nivel intermediar și expert), ansamblul ridică sau nu probleme.

În figură 5.19 se prezintă dezvoltarea unor posturi ale avatarului și îmbunătățirea bibliotecii de poziții (figura 5.20), conform fazelor de separare a mișcării de urcare pentru atingerea prizei, în cadrul ciclului constituit din: stabilizare, pregătire și deplasare. Proiectarea avatarului a avut ca referință informațiile din tabelul de codificare a gradelor de dificultate în escaladarea traseelor.

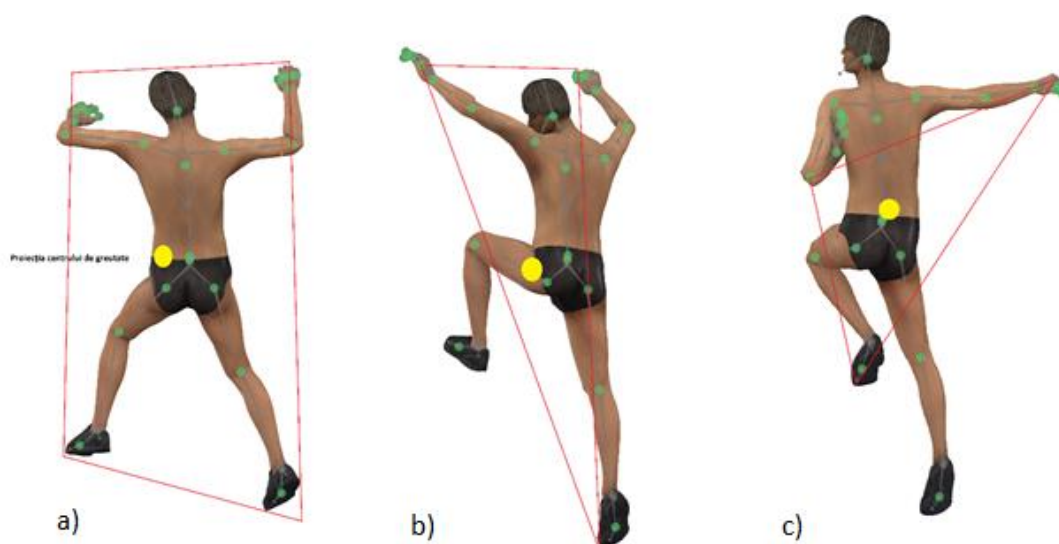


Figura 5. 19 Mișcarea de atingere a prizei pe faze – a) stabilizare; b) pregătire; c) deplasare

Proiectarea manechinelor virtuale în diferite poziții dinamice, specifice sportului de cățărare, va contribui la popularea bazei de date a programului în care se realizează simularea.

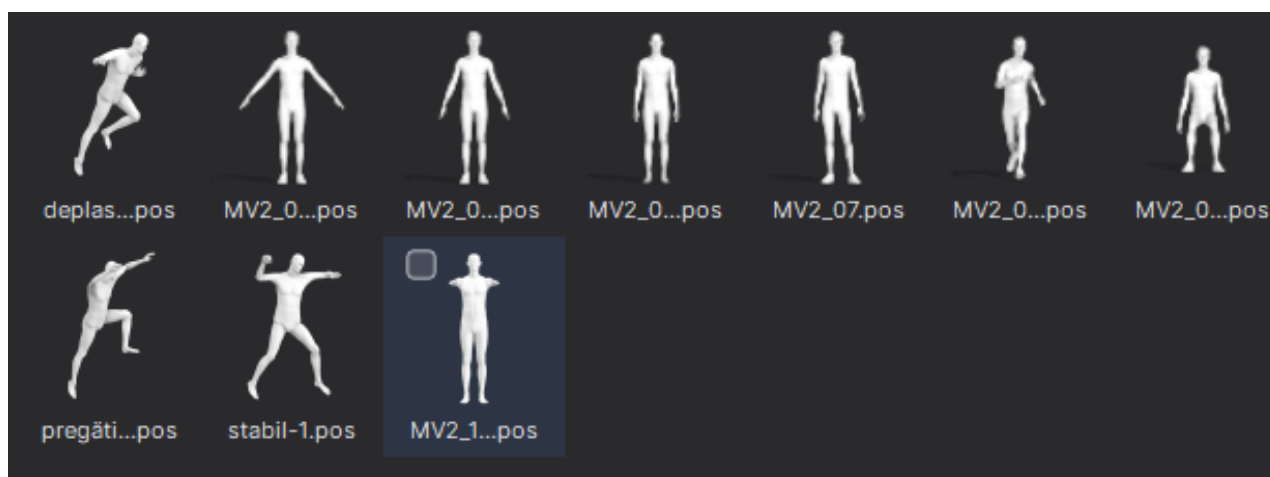


Figura 5. 20 Bibliotecă de poziții pentru avatar

Pentru validarea modelului proiectat se impune verificarea prototipului virtual pe diferite secvențe de mișcare. Fazele de cățărare sunt la fel pentru traseele cu dificultate medie și ridicată; amplitudinea mișcărilor este diferită. Verificarea modelului pentru diferite secvențe de mișcare, în funcție de fazele procesului de escaladă și gradul de dificultate, conform sistemului francez (nivel >6) au fost aplicate în mod succesiv.

În faza de stabilizare (figura 5.19 a), cățărătorul menține contactul cu suprafața de cățărare și urmărește să își asigure stabilitatea posturii; pentru această situație are loc contracția izometrică a mușchilor flexori ai antebrațului și ai degetelor, împreună cu mușchii laterali ai trunchiului, și ai membrilor inferioare (cățărătorul stabilește modul de abordare al traseului și calculează care sunt punctele și distanțele).

În faza de pregătire (figura 5.19 b), corpul uman trebuie să aibă o poziție stabilă; această poziție este rezultatul contracției izometrice ai mușchilor antebrațului și ai flexorilor degetelor, timp în care

mușchii umărului, ai trunchiului și ai membrelor inferioare sunt utilizați dinamic și izometric pentru a ajusta poziția corpului în vederea menținerii stabilității.

În faza de deplasare (figura 5.19 c), pentru a ajunge în ultima fază a procesului de cățărare (priza), cățărătorul efectuează două poziții succesive de mișcare, în care sunt implicați mușchii flexori ai antebrățului și ai degetelor, mișcarea este direct influențată de direcția de deplasare, ca efect al contracției mușchilor de la nivelul liniei umerilor, trunchiului și a membrelor inferioare.

În figurile 5.21 – 5.23 se prezintă validarea întregului ansamblu produs-genunchieră în faza de stabilizare (simularea și evaluarea la presiune), în faza de pregătire (simularea și evaluarea la potrivire) și în faza de deplasare (simularea și evaluarea la tensiune).

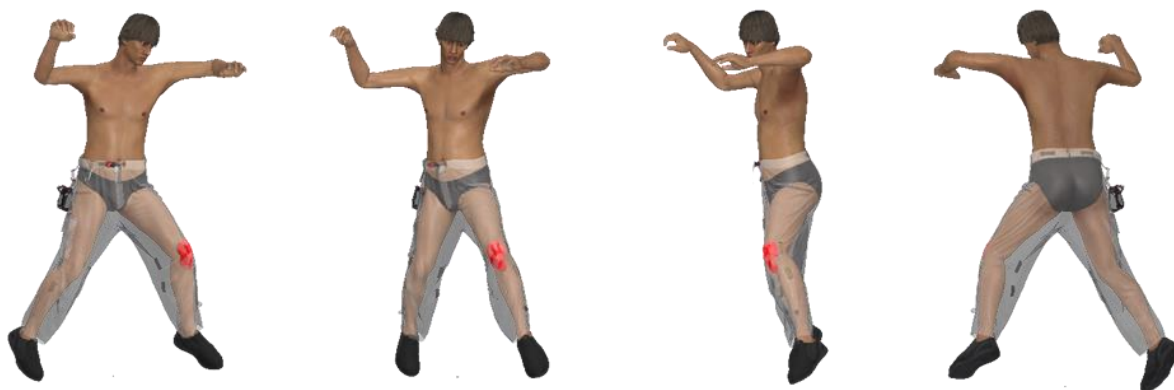


Figura 5. 21 Validare ansamblu produs-genunchieră în faza de stabilizare



Figura 5. 22 Validare ansamblu produs-genunchieră în faza de pregătire



Figura 5. 23 Validare ansamblu produs-genunchieră în faza de deplasare

La simularea și evaluarea cu instrumentele de cartografiere, se constată faptul că pe suprafața prototipul virtual (ansamblul produs vestimentar și genunchieră) nu se înregistrează tensiuni - zone critice, fapt ce sugerează că sunt îndeplinite cerințele de funcționalitate.

Analiza interacțiunii dintre corpul uman și produsul proiectat, pe baza secvenței mișcărilor specifice fiecărei faze de escaladă, prezintă următoarele aspecte cu privire la genunchiera integrată în structura produsului, în poziții extreme de utilizare:

- genunchiera (material elastic) și dimensiunea volumetrică a pantalonului permite efectuarea mișcării și nu limitează mobilitatea articulației genunchiului, asigură protecție.
- validarea formei volumetrice a produsului, detaliile estetice și stilistice care îi conferă acestuia funcționalitate și satisfac cerințele clientului la cel mai înalt nivel (produsul nu alunecă la spate, rămâne pe corp pe același nivel, deoarece echilibrul anteroposterior este calculat și dimensionat în mod corect, se acordă lejeritate membrului inferior pentru a putea face mișcarea de urcare, cu diferite unghiuri între axa coapsei și axa gambei, în funcție de gradul de dificultate al traseului de escaladă pe care cățărașul îl alege).
- Validarea ansamblului produs-genunchieră în poziție dinamică extremă, pe escaladă cu variantă de traseu intermediar.

Validarea prototipului dezvoltat conceptual (figura 5.24) s-a făcut în două etape distincte, impuse de particularitățile de utilizare ale modelului:

- validarea formei tridimensionale a produsului în condițiile dinamice specifice activității de cățărare prin analiza modului de comportare al modelului pe secvențe de mișcare;
- validarea modelului care are inserată genunchiera (element suplimentar de protecție a articulației genunchiului)



Figura 5. 24 Validarea prototipului dezvoltat conceptual

În aceste condiții, după validarea prototipului virtual – genunchiera și reperele de model pot fi utilizate ca modele de referință în generarea prototipului fizic. Genunchiera se trimite prin exportul fișierului de model către imprimanta 3D. Tiparele reperelor de la pantalon pot fi folosite pentru proiectarea șabloanelor, respectiv a tiparelor de producție.

5.4. Testarea și evaluarea prototipului fizic

Modelul de pantalon pentru bărbați prezintă talie reglabilă și este prevăzut cu o centură interioară pentru reglaj, clin între picioare, buzunare accesibile în timpul cățărării, genunchi preformați, găici pentru adăugarea elementelor suplimentare și lungime reglabilă. În figura 5.25 a) și b) sunt prezentate aspectele principale ale designului pantalonilor pentru cățărare.



(a) față



(b) spate

Figura 5. 25 Aspectul prototipului fizic

În figurile 5.26-5.27 sunt fotografiate detaliile privind zona genunchiului. S-au propus două soluții pentru integrarea genunchierei în ansamblul vestimentar. Prima variantă implică dezvoltarea unui element de îmbrăcăminte cu un sistem dublat în zona genunchilor, de tip buzunar aplicat (interior) special conceput.



(a) buzunar interior



(b) genunchiera integrată în pantalon

Figura 5. 26 Soluția de integrare a genunchierei într-un compartiment de tip buzunar

În a doua variantă, genunchiera este integrată într-un suport special conceput pentru a-i asigura

fixarea optimă. În figura 5.27 se prezintă soluția găsită în dezvoltarea suportului pentru genunchieră și integrarea acestuia în pantalon. Soluția de prindere permite în același timp libertate de mișcare și protecție.



(a) suport de genunchieră



(b) integrarea pe pantalon a suportului pentru genunchieră

Figura 5. 27 Soluția de integrare a genunchierei într-un suport cu benzi elastice

În contextul evaluării practice, subiectul a fost rugat să testeze genunchiera prin purtarea pantalonului, participând la o simulare a activității de cățărare. Procesul de testare a avut ca scop obținerea unor date relevante privind confortul, mobilitatea și eficiența protecției oferite de pantalonul cu genunchieră, în timpul activităților specifice. Subiectul a fost rugat să execute mai multe mișcări (figura 5.28) pentru a evalua genunchiera, asigurându-ne că aceasta nu restricționează mișcările necesare pentru cățărare.



(a) mișcare de flexie



(b) genunchi îndoiti (genunchiera în buzunar interior)



(c) genunchi îndoiti (genunchiera în suport)

Figura 5. 28 Testarea prototipului de către subiect – aprecierea mobilității

În figura 5.29 este prezentată activitatea de cățărare pe care subiectul a fost rugat să o realizeze

purtând pantalonul și genunchiera. Se evaluează dacă soluțiile propuse pentru integrarea genunchierei asigură o fixare eficientă pe genunchi. S-au efectuat mișcări tipice de cățărare pe stâncă, timp în care genunchiera a fost observată pentru a verifica dacă își păstrează stabilitatea în poziția dorită.

Prototipul a fost testat pe teren, în timpul activităților de cățărare desfășurate pe pereții abrupti și calcaroși ai platoului Repedea din Iași. Activitatea pe teren a permis monitorizarea și evaluarea eficienței genunchierei (variantele PLA, TPU și TPE) în protejarea genunchiului la impact și abraziune cu stâncă.



Figura 5. 29 Testarea pe teren de escaladă și bouldering

Evaluarea efectuată de către subiect a sugerat că designul genunchierelor 3D printate nu limitează mobilitatea cățărătorului, iar suportul ajustabil se dovedește util pentru personalizarea conform preferințelor individuale. Acestea permit o gamă completă de mișcări de cățărare pe stâncă. Dintre variantele testate, s-a concluzionat că atât pantalonul, cât și genunchiera au primit un feedback pozitiv în timpul purtării, cel mai apreciat fiind elementul protector realizat din TPU. Pentru testarea durabilității genunchierei, este necesar să evaluăm capacitatea materialelor de a rezista la o utilizare intensă, în urma unor sesiuni repetate de escaladă. Sunt necesare mai multe teste pentru a putea evalua genunchiera și la celelalte suprafețe stâncoase de granit și gresie.

Tehnologia de imprimare 3D reprezintă o alternativă rapidă în dezvoltarea unui prototip. Față de tehnologiile tradiționale, procesul de pregătire a unui model 3D pentru fabricare aditivă nu implică o logistică foarte complicată sau utilaje costisitoare pentru crearea geometriei.

Pentru a valida aspectele practice ale genunchierei, și pentru a fi integrată în ansamblul vestimentar, s-au făcut investigații suplimentare care au confirmat evaluarea comportamentului elementului în condițiile de presiune simulate încă din etapa de modelare, cu rezultatele generate de analiza cu elemente finite (FEA). Aceste etape au condus la alegerea tipului de material pentru etapa de imprimare 3D a modelului.

Realizarea unei imprimări corecte este esențială, deoarece elementele geometrice ale genunchierei personalizate (adaptată la forma anatomică a genunchiului sportivului) sunt cele care suportă efortul în timpul contactului cu stânca. Modul în care sunt aleși și definiți parametrii procesului de imprimare are efect asupra calității produsului obținut. Parametrii precum viteza de imprimare, temperatura și aderența la platformă, influențează, în mod direct, aspectul genunchierei în ceea ce privește nivelul detaliilor, finisajul și precizia formei construite. Sub aspect funcțional, dacă parametrii nu sunt conformi, pot conduce la erori în procesul de imprimare, provocând un efect negativ asupra modelului, precum găuri sau deformări. Dacă nu se realizează o aderență suficientă la nivelul platformei de imprimare, elementul protector se poate desprinde în timpul procesului, caz în care este afectată funcționalitatea produsului realizat.

Echilibrarea parametrilor asigură obținerea unui prototip optim ce satisface cerințele de ordin estetic și funcțional, prevăzute inițial.

În testare, parametrii precum materialul de imprimare, densitatea umpluturii, grosimea pereților, creează relații de interdependență ce vor influența comportamentul elementului protector. Aceștia influențează în mare măsură flexibilitatea și rigiditatea/duritatea prototipului, în acest caz, a genunchierei.

Evaluarea celor 3 materiale (PLA, TPU și TPE), s-a realizat prin aprecierea și testarea de către utilizatorul central - cățărătorul, integrat în acest proces de dezvoltare a pantalonului cu protecție pentru genunchi. Genunchiera a fost testată în condiții reale de cățărare pentru a verifica durabilitatea

și performanța sa pe teren (suprafață calcar). Cercetări suplimentare pot stabili o metodă standard pentru designul pantalonilor funcționali pentru cățărători, adaptată la diverse tipuri și dimensiuni corporale.

Analiza interacțiunii dintre corpul uman și produsul proiectat, pe baza secvenței mișcărilor specifice fiecărei faze de escaladă, prezintă următoarele aspecte cu privire la genunchiera integrată în structura produsului, în poziții extreme de utilizare:

- genunchiera (material elastic – asigură nivelul de protecție) și împreună cu dimensiunea volumetrică a pantalonului permite efectuarea mișcărilor și nu limitează mobilitatea articulației genunchiului.
- validarea formei volumetrice a produsului, detaliile estetice și stilistice care îi conferă acestuia funcționalitate și satisfac cerințele clientului la cel mai înalt nivel (produsul nu alunecă la spate, rămâne pe corp pe același nivel, deoarece echilibrul anteroposterior este calculat și dimensionat în mod corect, se acordă lejeritate membrului inferior pentru a putea face mișcarea de urcare, cu diferite unghiuri între axa coapsei și axa gambei, în funcție de gradul de dificultate al traseului de escaladă pe care cățărătorul îl alege).
- validarea ansamblului produs-genunchieră în poziție dinamică extremă pe escaladă cu variantă de traseu intermediar.

Prototipul realizat își propune să răspundă nevoilor exprimate de cățărători în chestionarul aplicat și să satisfacă cerințele de funcționalitate la cel mai înalt nivel.

CAPITOLUL 6. CONCLUZII GENERALE ȘI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

6.1. Concluzii finale și contribuții personale

Cercetările teoretice și experimentale realizate în această teză au vizat dezvoltarea unor **echipamente de protecție individuală cu performanțe îmbunătățite pentru cățărători**. Au fost stabilite și urmărite obiectivele specifice, fiecare abordat în capitole distincte, demonstrând contribuția esențială a fiecărei etape în dezvoltarea modelului optimizat de pantaloni, prevăzut cu protecție în zona genunchiului. Cercetările efectuate includ:

- **Analiza bibliografică** și cercetările referitoare la tehnologiile moderne de proiectare și simulare pentru evaluarea performanței îmbrăcăminte, necesare pentru stabilirea direcției studiului prezent;
- Identificarea și analiza aspectelor legate de funcționalitate și estetică, bazate pe feedback-ul individual al utilizatorului obținut prin **chestionar**, și integrarea acestora în procesul de proiectare, având în vedere **profilul antropometric al cățărătorului**;
- Studiarea și implementarea metodelor de modelare, simulare și evaluare a performanței îmbrăcăminte, ținând cont de dinamica mișcării cățărătorului (model cinematic experimental), pentru a proiecta și dezvolta un **prototip virtual**;
- Dezvoltarea în mediu virtual a unui **element de protecție personalizat** pentru zona genunchiului;
- Elaborarea unui **model de încărcare** care prezice și evaluează comportamentul genunchierii în diverse scenarii de utilizare, aplicând metoda de analiză cu elemente finite;
- **Elaborarea prototipurilor fizice pentru genunchieră și pantaloni** a permis efectuarea de teste pentru evaluarea modului în care prototipul satisface nevoile cățărătorului.

Cercetarea efectuată pune în evidențiază următoarele concluzii generale și contribuții originale la rezolvarea temei de cercetare:

1. Dezvoltarea tehnologică a transformat procesarea digitală într-un aspect esențial pentru industria modei, integrând noi instrumente software și tehnologii, cum ar fi cele 3D, pentru a facilita și optimiza procesul de design, generând și noi direcții de cercetare în proiectare, modelare și simulare a prototipurilor virtuale. Includerea tehnologiilor de **prototipare rapidă** și de **imprimare 3D** reflectă o abordare inovatoare pentru dezvoltarea echipamentelor cu rol de protecție. Aceste tehnologii pot fi folosite în metodologiile și procesele de fabricare a echipamentelor de protecție individuală, facilitând **personalizarea, eficiența și îmbunătățirea performanțelor**.

2. Proiectarea echipamentului pentru escaladă și bouldering implică o **abordare personalizată** care ia în considerare mișcările și tensiunile specifice acestui sport. Tema de proiectare se bazează pe înțelegerea provocărilor cu care se confruntă sportivul și este definită, în primul rând, prin studiul literaturii existente referitoare la tehnici și mișcări, elemente de biomecanică, istoricul medical general al practicantului tipic și echipamentele generice de protecție. În al doilea rând, tema de proiectare implică aplicarea unui **chestionar** prin care sportivul este abordat personal pentru a înțelege nevoile sale specifice în urma experienței escaladei pe stâncă. Studiul s-a realizat pe un eșantion de 79 de persoane și prezintă aspecte privind performanța echipamentului textil de sezon cald utilizat de cățărători, fiind menționate condițiile de mediu, nevoile cronice și acute, precum și sugestii și întrebări deschise în dialogul cu respondenții. Analiza datelor din chestionar a evidențiat zonele care pot fi îmbunătățite în designul pantalonilor, în special în regiunea genunchilor, și a subliniat faptul că un echipament eficient poate preveni leziunile în timpul activităților de cățărare. Rezultatele obținute reprezintă o contribuție semnificativă la conturarea profilului cățărătorului și la identificarea nevoilor acestuia, având ca scop dezvoltarea de produse adaptate și cu performanțe îmbunătățite pentru practicanții acestui sport. Pentru a îmbunătăți performanțele și confortul alpinistului, îmbrăcămintea trebuie să fie proiectată ergonomic, ținând cont de limitările fizice, tehnicile de mișcare și condițiile de mediu. Conform cercetării, pantalonii trebuie să fie confortabili, elastici, să aibă genunchi întăriți, talie înaltă cu opțiuni diverse în sistemele de ajustare și buzunare specifice.

3. Cercetarea abordează provocările specifice cu care se confruntă cățărătorii și promovează implicarea utilizatorului într-un proces de design colaborativ. Implicarea cățărătorului în dezvoltarea produsului vestimentar permite personalizarea acestuia pentru a asigura un confort optim, atât fizic, cât și psihologic. Acest demers poate contribui la reducerea impactului asupra mediului asociat cu produsele fast-fashion sau nepotrivite, având ca scop dezvoltarea unui echipament de protecție individuală adaptat nevoilor cățărătorilor. Mediul digital oferă o oportunitate de colaborare - validare cu utilizatorul final în vederea dezvoltării prototipului virtual. Aplicațiile software specializate în prototiparea virtuală 3D permit dezvoltarea și îmbunătățirea tiparelor de îmbrăcămintă prin adaptarea avatarurilor pe baza datelor antropometrice și evaluarea comportamentului produselor în diferite scenarii de stres. Aceste metode avansate facilitează vizualizarea și testarea potrivirii și confortului virtual, contribuind la proiectarea echipamentelor personalizate pentru cățărători. Dezvoltarea prototipului virtual oferă posibilitatea utilizatorului individual de a fi parte determinantă în procesul de proiectare având posibilitatea de a lua decizii rapide în ceea ce privește numărul sau aspectul elementelor personalizabile din echipamentul de protecție. Prototiparea virtuală reprezintă un mediu de lucru dinamic, în care aplicațiile software sunt actualizate și îmbunătățite frecvent. Acest proces iterativ și complex permite combinarea mai multor programe, implicând conversii de fișiere între

aplicații diferite, operațiuni care necesită flexibilitate și capacitate de adaptare constantă. Filiera de modă digitală presupune folosirea mai multor programe pentru a crea un prototip virtual: de la crearea unui avatar personalizat și dezvoltarea tiparelor, la asamblarea reperelor și potrivirea îmbrăcăminte pe manechin pentru evaluare, generarea texturilor și verificarea drapajului de materiale, până la crearea mediilor de prezentare virtuale pentru a integra animație și randare. O contribuție personală este **studiul asupra particularităților corpului în poziții specifice de cățărare** pentru perfecționarea metodelor de construcție a tiparelor (3D-2D și 2D-3D) pentru o anumită grupă de produse de îmbrăcăminte și de utilizatori. Rezultatele obținute în acest capitol expun o contribuție importantă în **actualizarea literaturii de specialitate într-un segment mai puțin documentat. În literatura de specialitate românească consultată nu s-au regăsit încă studii și cercetări aplicative privind proiectarea unor elemente de protecție de genunchi integrate în echipamente textile pentru cățărătorii pe stâncă.**

4. Metodologia de lucru elaborată în vederea dezvoltării unui echipament cu performanțe îmbunătățite utilizând prototiparea rapidă reprezintă o contribuție originală. Este analizat și fotografiat genunchiul unui subiect folosind o tehnologie accesibilă și o aplicație specializată pentru reconstrucție digitală (Polycam). Studiul documentează etapele parcurse în programele utilizate (Blender și Rhino) pentru procesarea formei piciorului, esențiale pentru proiectarea și modelarea elementului de protecție personalizat. O altă contribuție originală o reprezintă integrarea în modelul de genunchieră a unui **model geometric de inspirație organică**. În etapele inițiale de modelare-testare-implementare, se utilizează plugin-ul Kangaroo al software-ului Grasshopper, pentru a simula descărcările de forță într-un volum dat, instrument care facilitează predicția modelului. În continuare, pentru evaluarea aprofundată a modelului se utilizează metoda elementului finit (FEM) și analiza cu elemente finite (FEA). Procesul de evaluare se desfășoară în mai multe etape și presupune dezvoltarea unor scenarii de utilizare pentru simularea comportamentului genunchierei. Se folosește aplicația software Ansys 17.2 Academic Research Mechanical pentru analiza unui model continuu simplificat. În etapa de pre-procesare s-a realizat pregătirea și verificarea geometriei genunchierei, cu propunerea și selectarea proprietăților materialelor pentru ansamblul constituit din: stâncă, picior și genunchieră. S-a definit o rețea de linii de tip mesh pe suprafața componentelor (genunchieră, picior și stâncă) și s-au stabilit contactele reale și poziția acestora definind astfel modelul de analiză. S-au stabilit constrângerile, presiunile și forțele care intervin conform scenariului de cățărare. S-a evaluat modelul de încărcare la suprafețe de sprijin diferite (suprafață stâncoasă de granit, calcar și gresie). S-au configurat doi parametri importanți de examinare, și anume deformația totală și distribuția eforturilor echivalente la nivelul câmpului pentru ansamblul genunchieră – picior – stâncă. În etapa de post-procesare s-au efectuat simulările și s-au înregistrat datele și modificările care se produc conform scenariilor definite la configurările de timp și forțe impuse. Au fost centralizate rezultatele obținute,

reprezentând valorile maxime înregistrate pentru câmpul deformației rezultante (deformația totală - mm) și câmpul eforturilor echivalente Von Mises (tensiune echivalentă - MPa), împreună cu modificările clare, definite de hărțile de culori. Analiza datelor în urma simulărilor a permis evaluarea comportamentului modelului de genunchieră în variantele de material definite. S-au selectat materialele optime pentru fabricarea genunchierelor, conform distribuției tensiunilor înregistrate pe genunchieră și pe suprafața genunchiului în contact cu tipurile de rocă de stâncă. Această abordare din teză aduce **contribuții originale** prin: metodologia descrisă și modelul de încărcare dezvoltat (stâncă - picior - genunchieră) pentru analiza în elemente finite aplicată genunchierei.

5. Studiul realizat în domeniul producerii de elemente de protecție (faza de prototip) prin prototipare rapidă este inovator și facilitează obținerea unor metodologii axate pe proiectarea, simularea și fabricarea prototipului funcțional – genunchieră. S-au prezentat și definit parametrii procesului de imprimare (grosimea stratului, suport, model de umplere, viteză, temperatură, aderență la platforma) și configurările urmărite în etapele de pregătire, imprimare și post-procesare a genunchierei. S-au descris materialele necesare realizării prototipului. S-a realizat genunchiera în trei variante diferite de filamente termoplastice și s-a confecționat produsul de îmbrăcăminte. Pentru pantaloni, s-a propus utilizarea materialelor reciclate din stocurile de producție pentru a promova sustenabilitatea și a reduce risipa de resurse. O **contribuție proprie** o reprezintă **dezvoltarea unor posturi ale avatarului și îmbunătățirea bibliotecii de poziții, conform fazelor de separare a mișcării de urcare pentru atingerea prizei, în cadrul ciclului constituit din: stabilizare, pregătire și deplasare**. Aceste realizări practice confirmă potențialul de utilizare al tehnologiilor 3D și al instrumentelor de simulare testate și implementate în teză pentru proiectarea, modelarea, simularea și dezvoltarea prototipului de echipament de protecție individuală cu performanțe îmbunătățite.

6. **Validarea prototipului** dezvoltat conceptual s-a făcut în mediu virtual în două etape distincte impuse de particularitățile de utilizare ale modelului:

- validarea formei tridimensionale a produsului în condițiile dinamice specifice activității de cățărare analizând modul de comportare al modelului pe secvențe de mișcare;
- validarea modelului care are inserată genunchiera (element suplimentar de protecție a articulației genunchiului)

Pentru **validare**, prototipul dezvoltat a fost testat și evaluat pentru a obține feedback direct de la utilizator cu privire la confort, ergonomie în mișcare și protecție.

Contribuția originală a tezei este susținută de proiectarea optimizată a unui pantalon cu element de protecție integrat în zona genunchiului. Metodologia dezvoltată beneficiază de aplicarea rapidă a tehnologiilor de ultimă generație în proiectarea și modelarea în mediu virtual introducând o abordare nouă pentru integrarea elementelor de protecție. Scopul este de a obține un proces eficient

și sustenabil prin fabricarea personalizată a genunchierelor pe comandă, integrate în pantaloni personalizați.

6.2. Direcții viitoare de cercetare

Continuarea cercetărilor implică elaborarea de rapoarte detaliate și cuprinzătoare pentru a evalua modul în care elementul de protecție se comportă pe suprafețele stâncoase de granit și gresie, în timpul sesiunilor prelungite de escaladă, precum și pentru a analiza satisfacția altor utilizatori față de prototip. Aceste studii pot include și opinii de la cățărători experimentați, putând fi testate mișcări complexe de cățărare pe trasee cu grade ridicate de dificultate. Astfel, printr-o cercetare extinsă se pot identifica (dacă este cazul) limitările designului sau a materialelor.

Dacă studiile vor sugera optimizarea designului, se vor testa și alte forme sau structuri interne diferite pentru volumul de umplere al genunchierelor. De asemenea, se vor explora materiale noi, reluând procedura de simulare și evaluare a metodei cu elemente finite. Piața actuală a materialelor pentru imprimarea 3D a obiectelor este în continuă dezvoltare, existând promisiunile unor noi generații de filamente care ar putea oferi protecție mai bună, greutate redusă sau flexibilitate sporită. Se pot testa materiale compozite și inteligente, pentru a cerceta adaptarea la mediu și durabilitatea în condiții de solicitări intense. Testarea unor noi materiale poate fi o etapă potrivită și pentru investigarea posibilității de integrare a unor sisteme de monitorizare în timp real, care să înregistreze valorile solicitărilor mecanice sau de impact. Integrarea unor senzori poate permite colectarea de date importante din punct de vedere biomecanic, contribuind astfel la dezvoltarea unui echipament mai sigur și mai eficient pentru cățărători.

Corpul unui cățărător experimentat ar putea fi scanat, în timpul unei mișcări complexe de cățărare, pentru a dezvolta un echipament textil, care să includă, în mod deosebit partea superioară. Studiul antropometric poate fi comparat cu literatura curentă, care abordează modificările posturale cauzate de practica escaladei, cum ar fi cifoza toracică și umerii rotunjiți spre față, cunoscută sub denumirea de „spate de alpinist”, ca urmare a cerințelor specifice ale sportului. Astfel, se pot propune soluții de proiectare și produse cu sprijin pe umeri adaptate la această categorie. De asemenea, se poate dezvolta un costum din două piese pentru antrenamentul în sala de cățărat.

Direcțiile de proiectare în acest sens pot fi numeroase. Cercetările pot fi extinse la cățărători cu grade diferite de dificultate, inclusiv la persoane cu nevoi specifice de adaptare a îmbrăcăminte sau în cadrul articolelor vestimentare destinate copiilor. Există cerințe pentru elaborarea unor forme de pantaloni special concepuți pentru cățărare, destinați persoanelor cu anumite dizabilități fizice (cum ar fi deficiențe de vedere, auz, tulburări neuromotorii, picioare protetice, atrofierea musculaturii etc.), care urmează trasee cu dificultate mai redusă și necesită obiecte speciale pentru susținere. Se urmărește asigurarea stării de bine, siguranței și confortului pentru cei care nu pot desfășura activități fizice în mod normal, astfel se impune analiza acestor nevoi și elaborarea modelului potrivit. La

nivelul Uniunii Europene, există directive care precizează necesitatea asigurării de șanse egale pentru persoanele din grupuri defavorizate (incluziune socială).

Teza asigură un punct de plecare pentru dezvoltarea unui prototip de pantalon personalizat, care poate include un element de protecție de tip genunchieră personalizată. Această cercetare și dezvoltare metodologică a avut ca scop îmbinarea tehnologiilor moderne și accesibile de prototipare rapidă, cum ar fi metoda fotogrammetrică de reconstrucție digitală, modelarea 3D, simularea virtuală și tehnologia de imprimare 3D. Deși validarea prin studiu este exploratorie, rezultatele pot ghida proiectarea formelor geometrice pentru repere de produse vestimentare sau elemente complexe de protecție, studierea și evaluarea materialelor textile și a filamentelor noi, precum și integrarea sistemelor electronice pentru monitorizare.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- [7] Arribas, V., & Alfaro, J. A. (2018). 3D technology in fashion: From concept to consumer. *Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal*, 22(2), 240–251. <https://doi.org/10.1108/JFMM-10-2017-0114>
- [8] Papachristou, Evridiki - Eurydice & Bilalis, N.. (2016). Can 3D Virtual Prototype Conquer the Apparel Industry?. 4. 10.4172/2329-9568.1000134.
- [9] Wang, Zhujun & Tao, Xuyuan & Zeng, Xianyi & Xing, Yingmei & Xu, Zhenzhen & Bruniaux, Pascal. (2023). Design of Customized Garments Towards Sustainable Fashion Using 3D Digital Simulation and Machine Learning-Supported Human–Product Interactions. *International Journal of Computational Intelligence Systems*. 16. 16. 10.1007/s44196-023-00189-7.
- [10] Rizkiah, M & Widiaty, I & Mulyanti, Budi. (2020). Fashion pattern maker of software application development. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 830. 042096. 10.1088/1757-899X/830/4/042096.
- [11] Moniruzzaman, Md., Rita, A. A., & Oishe, S. H. (2022). An approach to design solutions for garments using a CAD system. *Journal of Textile Engineering & Fashion Technology*, 8(5), 145–148. <https://doi.org/10.15406/jteft.2022.08.00313>
- [15] Holly McQuillan (2020): Digital 3D design as a tool for augmenting zero-wastefashion design practice, *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*, DOI:10.1080/17543266.2020.1737248
- [21] R. Universidad CES. Escuela de Ingeniería de Antioquia., A. Alonso Becerra, and A. Hernández González, “Revista EIA.,” *Rev. EIA*, vol. 13, no. 26, pp. 47–59, 2016, [Online]. Available:<http://www.scielo.org.co/>.
- [32] E. Brolin, *Anthropometric diversity and consideration of human capabilities – Methods for virtual product and production development*. 2016.
- [33] R. Marshall and S. Summerskill, *Posture and anthropometry*, no. 1952. Elsevier Inc., 2019.
- [34] STEPHEN PHEASANT, *Bodyspace Anthropometry, Ergonomics and the Design of Work*, SECOND EDI. Taylor & Francis, 2003.
- [35] SR ISO 8559-1:2017 Poziționarea punctelor antropometrice. Prelevarea cotelor antropometrice.

- [60] Leipner, Anja & Krzywinski, Sybille. (2013). 3D Product Development Based on Kinematic Human Models. 310-316. 10.15221/13.310.
- [61] Kozar, Tatjana & Rudolf, Andreja & Cupar, Andrej & Simona, Jevšnik & Stjepanovič, Zoran. (2014). Designing an adaptive 3D body model suitable for people with limited body abilities. Journal of textile science & engineering, ISSN 2165-8064. 4. 1-13. 10.4172/2165-8064.1000165.
- [62] Robinette, K., Blackwell, S., Daanen, H., Boehmer, M., Fleming, S., Brill, T., Hoeferlin, D., Burnsides, D., Anthropometry resource (caesar) final report, volume I: Summary, 2002
- [63] Pan, J., Chen, L., Yang, J., Qin, H., Automatic skinning and weight retargeting of articulated characters using extended position-based dynamics, In: The Visual Computer, 2018, 34. 1-13. <https://doi.org/10.1007/s00371-017-1413-6>
- [64] Aburumman, N., Fratacangeli, M., Skin Deformation Methods for Interactive Character Animation, In: Communications in Computer and Information Science, 2017, 8, 153-174, https://doi.org/10.1007/978-3-319-64870-5_8
- [65] SMPL. A Skinned Multi-Person Linear Model, Available at: <https://smpl.is.tue.mpg.de/> [Accessed on July 28, 2021]
- [66] Dyna. A Model of Dynamic Human Shape in Motion, Available at: <http://dyna.is.tue.mpg.de/> [Accessed on July 28, 2021]
- [67] Wang, H., Guler, R.A., Kokkinos, I., Papandreou, G., Zafeiriou, S., BLSM: A Bone-Level Skinned Model of the Human Mesh, In: Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV), 2020, August
- [68] Marcard, T., Henschel, R., Black, M., Rosenhahn, B., Pons-Moll, G., Recovering Accurate 3D Human Pose in the Wild Using IMUs and a Moving Camera, At: 15th European Conference, Munich, Germany, 2018, Proceedings, Part X. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01249-6_37
- [69] Y. Tian, H. Zhang, Y. Liu and L. Wang, "Recovering 3D Human Mesh From Monocular Images: A Survey," in IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 45, no. 12, pp. 15406-15425, Dec. 2023, doi: 10.1109/TPAMI.2023.3298850.
- [70] Yan J, Wang S, Lin J, Li P, Zhang R, Wang H. GaitSG: Gait Recognition with SMPLs in Graph Structure. Sensors. 2023; 23(20):8627. <https://doi.org/10.3390/s23208627>
- [71] Meixner, C. and Krzywinski, S., 2018. Development of a method for an automated generation of anatomy-based, kinematic human models as a tool for virtual clothing construction. Computers in Industry, 98, pp.197-207.

- [80] Vasile, S., Cools, J., De Raeve, A., Malengier, B., & Deruyck, F. (2021). Effect of rowing posture on body measurements and skin–sportswear interface pressure and implications on garment fit. *Journal of Industrial Textiles*, 51(2), 206-224.
- [81] Vasile, Simona & Cools, Joris & De Raeve, Alexandra & Malengier, B. & Deruyck, Frank. (2020). Fit evaluation of sportswear for Belgian elite male rowers in static and dynamic rowing postures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 827. 012024. 10.1088/1757-899X/827/1/012024.
- [84] Zhou H. 2019 Research on optimization design of female road cycling clothing based on 3D fitting software Jiangnan University. D
- [85] Thijs van Druenen, Bert Blocken, Aerodynamic impact of cycling postures on drafting in single paceline configurations, *Computers & Fluids*, Volume 257,2023,105863, ISSN 0045-7930,<https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2023.105863>.
- [86] LIU, Kaixuan & Wang, Jianping & Zhu, Chun & Hong, Yan. (2016). Development of upper cycling clothes using 3D-to-2D flattening technology and evaluation of dynamic wear comfort from the aspect of clothing pressure. *International Journal of Clothing Science and Technology*. 28. 10.1108/IJCST-02-2016-0016.
- [92] Jolly, K., Krzywinski, S., Rao, P. and Gupta, D. (2019), "Kinematic modeling of a motorcycle rider for design of functional clothing", *International Journal of Clothing Science and Technology*, Vol. 31 No. 6, pp. 856-873. <https://doi.org/10.1108/IJCST-02-2019-0020>
- [93] Jolly, Kanika & Gupta, Deepti & Rao, P.V.M.. (2018). Kinematics of a Motorcyclist for the design of Ergonomic Clothing.
- [96] Wu, Xinzhou & Zhe, Cheng & Kuzmichev, Viktor. (2023). Dynamic Fit Optimization and Effect Evaluation of a Female Wetsuit Based on Virtual Technology. *Sustainability*. 15. 2197. 10.3390/su15032197.
- [100] Wang, Yongrong & Li, Haixia & Li, Jiayi. (2020). The skin deformation during cycling on terrains for practical application of compression sportswear. *The Journal of the Textile Institute*. 112. 1-9. 10.1080/00405000.2020.1777622.
- [109] Aluculesei, B., Krzywinski, S., Curteza, A. and Avadanei, M., 2019. Implementation of 3D CAD programs in the garment construction for wheelchair users. In *Conferința tehnico-științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor* (Vol. 2, pp. 314-317).

- [110] Aluculesei, B., Krzywinski, S., Curteza, A. and Avadanei, M., 2021, October. Digital methods in developing textile products for people with locomotor disabilities. Materials Research Forum LLC.
- [112] Florea-Burduja, Elena & Aliona, Raru & Irovan, Marcela & Farima, Daniela. (2023). TEHNICI DE PERSONALIZARE A AVATARILOR VIRTUALI PENTRU PROIECTAREA DIGITALĂ A ÎMBRĂCĂMINTEI FUNCȚIONALE. 2. 29.
- [113] Jiayin, Liu & Zhaohua, Zhang. (2021). Research and evaluation of functional clothing for patients with paraplegia of both lower limbs. Journal of Physics: Conference Series. 1790. 012038. 10.1088/1742-6596/1790/1/012038.
- [114] Habib, M.A. and Alam, M.S., 2024. A Comparative Study of 3D Virtual Pattern and Traditional Pattern Making. Journal of Textile Science and Technology, 10(01), pp.1-24.
- [115] Mong Hien, Nguyen & Doan, My & Pham, Nhat. (2022). Designing Functional Clothing for People with Locomotor Disabilities. TEKSTILEC. 65. 170-180. 10.14502/tekstilec.65.2022038.
- [116] Rudolf, Andreja & Stjepanović, Zoran & Cupar, Andrej. (2019). Designing the functional garments for people with physical disabilities or kyphosis by using computer simulation techniques. Industria textilă. 70. 182-191. 10.35530/IT.070.02.1592.
- [119] Mosleh, Sara & Abtew, Mulat & Bruniaux, Pascal & Tartare, Guillaume & Xu, Yukang. (2021). Developments of Adapted Clothing for Physically Disabled People with Scoliosis Using 3D Geometrical Model. Applied Sciences. 11. 10.3390/app112210655.
- [120] Irovan, Marcela & Indrie, Liliana & Frunze, Valentina & Florea-Burduja, Elena & Aliona, Raru. (2023). Digital methods in the development of adaptive clothing for people with disabilities. Industria Textila. 74. 28-34. 10.35530/IT.074.01.202295.
- [121] N, Farzana & M, Sangamithra & S, Dr. (2023). Exploring Innovations in Adaptive Clothing for Elderly People. INTERANTIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC RESEARCH IN ENGINEERING AND MANAGEMENT. 07. 1-11. 10.55041/IJSREM26003.
- [122] Imbesi S, Scataglini S., A User Centered Methodology for the Design of Smart Apparel for Older Users. Sensors. 2021; 21(8):2804. <https://doi.org/10.3390/s21082804>
- [123] Bhandari, Babita. (2024). Adaptive Clothing Brands in Mainstream Fashion. Journal of the Textile Association. 84. 151-154.
- [124] Salgueiro-Oliveira A, Rêgo AdS, Santos-Costa P, Bernardes RA, Filipe L, Sousa LB, Barboza R, Carvalho M, Bouçanova M, Lopes MCFdG, et al. Design of Innovative Clothing for Pressure Injury Prevention: End-User Evaluation in a Mixed-Methods Study. International Journal of

Environmental Research and Public Health. 2023; 20(18):6773.
<https://doi.org/10.3390/ijerph2018677>

[125] Haixia, L., & Yongrong, W. (2020). Structural optimization of yoga top based on 3D virtual-reality technology. *The Journal of the Textile Institute*, 111(6), 916–923.
<https://doi.org/10.1080/00405000.2019.1680092>

[126] Bogović, Slavica & Stjepanović, Zoran & Cupar, Andrej & Simona, Jevšnik & Rogina-Car, Beti & Rudolf, Andreja. (2018). The Use of New Technologies for The Development of Protective Clothing: Comparative Analysis of Body Dimensions of Static and Dynamic Postures and Its Application. *Autex Research Journal*. 10.1515/aut-2018-0059.

[127] Hong, Yan & Bruniaux, Pascal & Zeng, Xianyi & LIU, Kaixuan & chen, yan & Dong, Min. (2017). Virtual Reality Based Collaborative Design Method for Designing Customized Garment of Disabled People with Scoliosis. *International Journal of Clothing Science and Technology*. 29. 10.1108/IJCST-07-2016-0077.

[128] Porterfield, A., & Lamar, T. A. M. (2021). A framework for incorporating virtual fitting into the costume design and production process. *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*, 14(1),91–100. <https://doi.org/10.1080/17543266.2020.1864484>

[129] Hudson, K., & Hwang, C. (2022). Application of 3D Prototyping to Promote Size-Inclusive Design Practices for Plus-Size Apparel. *Fashion Practice*, 14(1), 5–25.
<https://doi.org/10.1080/17569370.2020.1804152>

[130] Moskvina, Aleksei & Wijnhoven, Martijn & Moskvina, Mariia. (2021). The equipment of a Germanic warrior from the 2nd–4th century AD: Digital reconstructions as a research tool for the behaviour of archaeological costumes. *Journal of Cultural Heritage*. 49. 10.1016/j.culher.2021.03.003.

[131] Sitotaw, D. B., Ahrendt, D., Kyosev, Y., & Kabish, A. K. (2020). Additive manufacturing and textiles—state-of-the-art. *Applied Sciences*, 10(15), 5033.

[132] Korger, M., Glogowsky, A., Sanduloff, S., Steinem, C., Huysman, S., Horn, B., Ernst, M. and Rabe, M., 2020. Testing thermoplastic elastomers selected as flexible three-dimensional printing materials for functional garment and technical textile applications. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 15, p.1558925020924599.

[133] Kozior, T., Blachowicz, T. and Ehrmann, A., 2020. Adhesion of three-dimensional printing on textile fabrics: Inspiration from and for other research areas. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 15, p.1558925020910875.

- [134] Milošević, P. and Bogović, S., 2018. 3D technologies in individualized chest protector modelling. *Textile & Leather Review*, 1(2), pp.46-55.
- [135] Bogović S, Čorak A. A New Method for Testing the Breaking Force of a Polylactic Acid-Fabric Joint for the Purpose of Making a Protective Garment. *Materials*. 2022; 15(10):3549. <https://doi.org/10.3390/ma15103549>
- [136] Park, Jung & Jung, Hee-kyeong & Lee, Jeong. (2018). Design of Fall Impact Protection Pads Using 3D Printing Technology and Comparison of Characteristics according to Structure. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*. 42. 612-625. 10.5850/JKSCT.2018.42.4.612.
- [137] Park, Jung & Lee, Jin & Lee, Jeong. (2018). Development and Evaluation of Fall Impact Protection Pad. *Fashion & Textile Research Journal*. 20. 422-428. 10.5805/SFTI.2018.20.4.422.
- [140] Hong, Kyunghwa & Lee, Heeran. (2020). Development of hip protectors for snowboarding utilizing 3D modeling and 3D printing. *Fashion and Textiles*. 7. 10.1186/s40691-020-00236-3.
- [142] Yahaya, Suleiman & Muniru, I. & Saminu, Sani & Ibitoye, M. & Ajibola, T. & Jilantikiri, L. & mohd ripin, Zaidi & Ridzwan, Mohamad. (2023). APPLICATION OF SUPPORT VECTOR REGRESSION MODELLING FOR THE PREDICTION OF IMPACT ATTENUATION OF 3D PRINTED HIP PROTECTORS.
- [143] Lee, Hyojeong & Eom, Ran-i & Lee, Yejin. (2019). Evaluation of the Mechanical Properties of Porous Thermoplastic Polyurethane Obtained by 3D Printing for Protective Gear. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2019. 1-10. 10.1155/2019/5838361.
- [144] So young Park, Hee ran Lee, Kyung hi Hong, and Ye jin Lee, "Modeling of Crotch Protector for Cyclewear using 3D Printing," in *한국생활과학회 학술대회논문집*, 2018, pp. 114-114.
- [145] Park, Soyoung & Lee, Heeran & Lee, Yejin. (2019). Sugestion of Crotch Protector Prototype for Cyclewear Based on 3D Modeling and Printing. *Korean Journal of Human Ecology*. 28. 147-157. 10.5934/kjhe.2019.28.2.147.
- [146] Modhi I. Alarifi, Ibrahim M. Alarifi, Comprehensive structural evaluation of composite materials in 3D-printed shin guards, *Journal of Materials Research and Technology*, Volume 27,2023, Pages 6912-6923, ISSN 2238-7854, <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.11.131>.
- [147] Lee, H., Eom, R., & Lee, Y. (2016). Development of Ergonomic Leg Guard for Baseball Catchers through 3D Modeling and Printing. *Journal of Fashion Business*, 20(3), 17–29. <https://doi.org/10.12940/JFB.2016.20.3.17>

- [148] Wang, P., Yang, J., Hu, Y., Huo, J. and Feng, X., 2021. Innovative design of a helmet based on reverse engineering and 3D printing. *Alexandria Engineering Journal*, 60(3), pp.3445-3453.
- [149] Li, Peng & Corner, Brian & Hurley, Matthew & Powell, Celia & LaFleur, Annette. (2015). Three-dimensional (3D) Analysis of Knee Shape for Designing a Knee-pad. *Procedia Manufacturing*. 3. 10.1016/j.promfg.2015.07.790.
- [150] Anirudh, K. & Yeole, Shivraj Narayan. (2021). Development of a 3D printed knee protective pad prototype. *Materials Today: Proceedings*. 44. 10.1016/j.matpr.2020.12.488.
- [151] Lee, Hyojeong and Lee, Yejin (2017) “Segmental Hard Shell Design of Knee Protector for Children Using 3D Printing,” *Journal of Fashion business*. 한국패션비즈니스학회, 21(4), pp. 116–126. doi: 10.12940/JFB.2017.21.4.116.
- [152] Jung, H. J., Lee, H. R., Chung, I. H. (2022). Development of the 3D knee protector for yoga. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 46(4), 657-671. doi:10.5850/JKSCT.2022.46.4.657
- [153] Man, Kaice & Yue, Fei & Tian, Wenda. (2022). A Design Method of Knee Pad Based on User Data. 10.1007/978-3-031-05906-3_14.
- [154] Li, X. Y., Park, J. H. and Lee, J. R. (2023) “Design and Evaluation of a Knee Protector using a 3D Printing Pad,” *Fashion & Textile Research Journal*. The Korean Society for Clothing Industry. doi: 10.5805/sfti.2023.25.2.221.
- [155] <https://sci-bc.ca/protective-climbing-pants-for-adaptive-climbing/>
- [156] <https://thisiswilson.design/deta/2021-2/hanae-yaskawa/>
- [157] <https://www.red-dot.org/project/resilience-paraclimbing-pants-54337>
- [159] Priego-Quesada JI. Exercise biomechanics and physiology. *Life*. 2021;11(2):159. doi:10.3390%2Flife11020159
- [160] Baci, Gheorghe. Manual de anatomie și morfologie sportivă. - Ed. a 2-a. – Chișinău: S. n., 2016. ISBN 5-372-01380-X.
- [161] American Council on Exercise. Planes of Motion Explained.
- [163] Earle, Roger. (2008). *Essentials of Strength Training and Conditioning*, 3E.
- [164] Low, C.J. (2005). Biomechanics of rock climbing technique. Dissertation, The University of Leeds.

- [165] Bourdin C, Teasdale N, Nougier V. High postural constraints affect the organization of reaching and grasping movements. *Exp Brain Res*. 1998 Oct;122(3):253-9. doi: 10.1007/s002210050513. PMID: 9808298.
- [166] Bourdin, Christophe & Teasdale, Norman & Nougier, Vincent & Bard, Chantal & Fleury, Michelle. (1999). Postural constraints modify the organization of grasping movements. *Human Movement Science*. 18. 87-102. 10.1016/S0167-9457(98)00036-0.
- [172] Federația Română de Alpinism și Escaladă <http://www.fralpinism.ro/>
- [174] The Mountaineers Books (2010). *Mountaineering: The Freedom of the Hills* (8th ed.). Swan Hill Press. p. 592. ISBN 978-1594851384. OCLC 688611213.
- [175] Pesterfield, Heidi (2011). *Traditional Lead Climbing: A Rock Climber's Guide to Taking the Sharp End of the Rope* (2nd ed.). Wilderness Press. p. 11. ISBN 978-0899975597.
- [176] "Olympic Games Tokyo 2020". International Federation of Sport Climbing. 2020.<https://www.ifsc-climbing.org/>
- [180] <https://climbagain.ro/>
- [181] <https://www.climbromania.com/>
- [182] Long, John(1998). *How to Rock Climb!* (3rd ed.). Helena, Mont: Falcon. ISBN 1575401142.
- [183] Qiu, Xianrong. (2011). The Advantage of Rock-Climbing. 489 - 492. 10.1109/ICFCSE.2011.125.
- [190] Seifert, Ludovic & Wolf, Peter & Schweizer, A., (2016). *The science of climbing and mountaineering*.
- [191] X. Yang, "Application of Clothing Ergonomics in Fashion Design," *Int. Conf. Arts, Des. Contemp. Educ. (ICADCE 2016) Appl.*, no. Icadce, pp. 618–621, 2016, doi: 10.2991/icemet-16.2016.207.
- [192] Mark S. Elliott, *The Greatest Guide to Walking & Mountain Hiking*, Greatest Guides, 2012
- [235] Lutter, C., Tischer, T., Cooper, C., Frank, L., Hotfiel, T., Lenz, R., & Schöffl, V. (2020). Mechanisms of Acute Knee Injuries in Bouldering and Rock Climbing Athletes. *The American journal of sportsmedicine*, 48(3),730–738. <https://doi.org/10.1177/0363546519899931>
- [242] <https://www.barrabes.com/en/blog/tips/2-206/upf-clothing-ultraviolet-protection-in>

- [243] Carr, Thomas & Smith, Kelsey & Peckham, Mackenzie & Agtarap, Stephanie. (2024). “Climb On”: Exploring the benefits of a single recreational therapy climbing session for participants with either SCI or ABI. 10.13140/RG.2.2.11602.32966.
- [244] <https://theclimbingdoctor.com/adaptive-climbing>
- [248] <https://www.polartec.com/news/polartec-offers-solutions-for-inclusive-apparel-design-and-adaptive-climbing>
- [252] Teyeme, Y., Malengier, B., Tesfaye, T., Ciesielska, I., Musa, A., Van Langenhove, L., A Review of Contemporary Techniques for Measuring Ergonomic Wear Comfort of Protective and Sport Clothing, In: Autex Research Journal, 2020, 21, <https://doi.org/10.2478/aut-2019-0076>
- [253] <https://www.mixamo.com/>
- [254] Avadanei, M.; Cretu, M.; Papaghiuc, V.; Nicolaiov, P.; Florea, A.; Loghin, M.; Ionescu, I. Proiectarea constructivă a produselor de îmbrăcăminte. In Manualul Inginerului Textilist; Ministerul Educației, Cercetării și Tineretului, Banca Comercială Română: Bucharest, Romania, 2003; Volume II, pp. 783–1044.17.
- [255] SR 13544/2010; Clothing. Men’s Body Measurement and Garment Sizes. ASRO: Bucharest, Romania, 2010.
- [256] Avadanei, Manuela & Sabina, Olaru & Ionut, Dulgheriu & Ionesi, Dorin & Loghin, Emil & Ionescu, Irina. (2022). A New Approach to Dynamic Anthropometry for the Ergonomic Design of a Fashionable Personalised Garment. Sustainability. 14. 7602. 10.3390/su14137602.
- [258] Yang, J. et al. Use of discretionary protective equipment and rate of lower extremity injury in high school athletes. Am. J. Epidemiol. 161, 511–519 (2005).
- [260] Lou, CW., Lu, CT., Lin, CM. et al. Process technology and performance evaluation of functional knee pad. Fibers Polym 11, 136–141 (2010). <https://doi.org/10.1007/s12221-010-0136-3>
- [261] Mora M. (1996). A closed pelvic fracture from wheels-in-line skating. The Journal of emergency medicine, 14(6), 711–713. [https://doi.org/10.1016/s0736-4679\(96\)00101-1](https://doi.org/10.1016/s0736-4679(96)00101-1)
- [262] Powers, Christopher & Ward, Samuel & Fredericson, Michael & Guillet, Marc & Shellock, Frank. (2003). Patellofemoral Kinematics During Weight-Bearing and Non-Weight-Bearing Knee Extension in Persons with Lateral Subluxation of the Patella: A Preliminary Study. The Journal of orthopaedic and sports physical therapy. 33. 677-85. 10.2519/jospt.2003.33.11.677.

[263] Sterett, William & Briggs, Karen & Farley, Timothy & Steadman, J. (2006). Effect of Functional Bracing on Knee Injury in Skiers with Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Prospective Cohort Study. The American journal of sports medicine. 34. 1581-5. 10.1177/0363546506289883.

[277] Blender (Version 4.0.0) [Computer software]. <https://www.blender.org>

[286] Cheung, Jason & Zhang, Ming. (2006). Finite element modeling of the human foot and footwear. ABAQUS Users' Conference. 145-159.