



MINISTERUL EDUCAȚIEI
Universitatea Națională de Știință și
Tehnologie POLITEHNICA București
Școala Doctorală de
Inginerie Industrială și Robotică



As. Univ. drd. ing. Florin – Felix M. RĂDUICĂ

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

Conducător științific
Prof. Univ. dr. ing. Ionel SIMION (UNSTPB)

București
-2024-

As. drd. ing. Florin – Felix M. RĂDUICĂ

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

Contribuții la proiectarea și optimizarea structurală a unui braț bionic realizat prin tehnologii de fabricație prin adiție
Contributions to the design and structural optimization of a bionic limb made with additive manufacturing technology

Domeniul de doctorat – Inginerie Industrială

COMISIA DE DOCTORAT

Prof. Univ. dr. ing. Liviu Daniel GHICULESCU

Universitatea Națională de Știință și Tehnologie
POLITEHNICA București

Președinte

Prof. Univ. dr. ing. Ionel SIMION

Universitatea Națională de Știință și Tehnologie
POLITEHNICA București

Conducător științific

Prof. Univ. dr. ing. Lorena DELEANU

Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

Referent oficial

Prof. Univ. dr. ing. Alina DUȚĂ

Universitatea din Craiova

Referent oficial

Prof. Univ. dr. ing. Sorin CĂNĂNĂU

Universitatea Națională de Știință și Tehnologie
POLITEHNICA București

Referent oficial

Cuprins

PREFAȚĂ	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
LISTĂ DE FIGURI	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
LISTĂ DE TABELE	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
LISTA DE ABREVIERI	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
CAPITOLUL 1. ÎNCADRAREA ÎN DOMENIU A TEZEI	6
1.1 CONTEXTUL CERCETĂRII	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
1.2 OBIECTIVELE TEZEI.....	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
1.3 TIPURI DE PROTEZE DE MEMBRU SUPERIOR STUDIATE ÎN CADRUL TEZEI	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
1.4 ANALIZA SWOT A SECTORULUI DE INDUSTRIA PROTEZELOR	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
1.5 CONCLUZII ASUPRA ÎNCADRĂRII ÎN DOMENIU	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
CAPITOLUL 2. ASPECTE PRIVIND STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRII ÎN DOMENIU	7
2.1 DEFINIREA, CLASIFICAREA ȘI FUNCȚIILE PROTEZELOR DE MEMBRU SUPERIOR	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
NEDEFINIT.	
2.2 REABILITAREA PRIN PROTEZE CU COST REDUS	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
2.3 ALGORITMI DE CONTROL ȘI PROCESARE A SEMNALELOR.....	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
2.4 PROVOCĂRILE FUNCȚIONALE ALE PROTEZELOR FABRICATE 3D	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
2.5 REABILITAREA REDUCERII PARȚIALE A MĂINII	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
2.6 INTERVENȚIA CHIRURGICALĂ PENTRU REALIZAREA PROTETICĂ OPTIMĂ.	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
2.7 ÎMBUNĂȚĂȚIRI ALE FEEDBACK-ULUI PROPRIOCEPTIV	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
2.8 MONTAREA INIȚIALĂ ȘI INSTRUIREA	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
2.9 TESTAREA DISPOZITIVELOR PROTETICE.....	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
2.10 IMPLEMENTAREA TEHNOLOGIEI FFF DE IMPRIMARE 3D	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
2.11 FABRICAREA DISPOZITIVELOR	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
2.12 PROTEZE PEDIATRICE.....	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
2.13 DEZVOLTARE VIITOARE.....	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
2.14 PROTEZE DE TRANZIȚIE FABRICATE 3D	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
2.15 TIPURI DE PROTEZE PARȚIALE DE MEMBRU SUPERIOR	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
2.15.1 <i>Proteze pentru degete</i>	<i>Eroare! Marcaj în document nedefinit.</i>
2.15.2 <i>Proteză parțială a mâinii cu toate degetele amputate</i>	<i>Eroare! Marcaj în document nedefinit.</i>
nedefinit.	
2.15.3 <i>Proteză parțială a mâinii cu încheietura mâinii slabă</i>	<i>Eroare! Marcaj în document nedefinit.</i>
nedefinit.	
2.15.4 <i>Proteza de mână parțială pediatrică</i>	<i>Eroare! Marcaj în document nedefinit.</i>
2.16 CONCLUZIE ASUPRA LITERATURII DE SPECIALITATE STUDIATE.....	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
CAPITOLUL 3. STUDIU COMPARATIV AL PERFORMANȚEI PROTEZELOR DE MEMBRU SUPERIOR ...	8
3.1 PHOENIX HAND V3	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
3.2 MÂNA BIOELECTRICĂ DEXTRA.....	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
3.3 MÂNA BIOELECTRICĂ BRUNEL	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
3.4 MÂNA BIONICĂ HRI	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
3.5 ROBOTUL INMOOV	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
3.6 ROBOTUL PROTO1	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
3.7 PROTEZELE NAKED PROSTHETICS.....	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
3.8 MÂNA BIONICĂ ZEUS.....	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
3.9 PROTEZA X-LIMB	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
3.10 MÂNA BIONICĂ TASKA	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.

3.11	PROTEZA BIONICĂ NEXUS COVVI	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
3.12	BRAȚUL BIONIC HERO ARM	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
3.13	PROTEZA TRUELIMB	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
3.14	PROTEZA BEBIONIC	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
3.15	BRAȚUL BIONIC VICTORIA	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
3.16	CONCLUZII ASUPRA ANALIZEI COMPARATIVE A PROTEZELOR	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
CAPITOLUL 4.	PROIECTAREA UNEI PROTEZE PARȚIALE DE MÂNĂ.....	9
4.1	ASPECTE PRIVIND FOLOSIREA PACHETELOR DE PROGRAME	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
4.2	MODELAREA GEOMETRICĂ A MANȘETEI PROTEZEI	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
4.3	PROIECTAREA SISTEMULUI DE BLOCARE	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
4.4	PROIECTAREA FALANGELOR PROTEZEI	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
4.5	PROIECTAREA ZONEI PALMARE A PROTEZEI.....	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
4.6	PROIECTAREA ANSAMBLULUI PROTEZĂ.....	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
4.7	PARAMETRIZAREA PROTEZEI ȘI GENERAREA DE NOI DIMENSIUNI	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
4.8	OPTIMIZAREA FORMEI.....	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
4.9	CONCLUZII ASUPRA PRIMEI VARIANTE PROIECTATE	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
CAPITOLUL 5.	ANALIZA STRUCTURALĂ FOLOSIND METODA ELEMENTULUI FINIT	10
5.1	CĂLCULUL REZISTENȚEI LA SOLICITAREA DE TRACȚIUNE	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
5.2	PREGĂTIREA STUDIULUI MEF COMPUTERIZAT	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
5.3	STABILIREA SARCINII MAXIME DE ÎNCĂRCARE	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
5.4	STUDIUL DE ANALIZĂ A OBOSELII	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
5.5	CARACTERISTICA DE PERFORMANȚĂ A PROTEZEI.....	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
5.6	CONCLUZII ASUPRA STUDIULUI LA SOLICITĂRI.....	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
CAPITOLUL 6.	DESIGN PENTRU FABRICAȚIE ȘI ASAMBLARE A UNUI BRAȚ BIONIC.....	11
6.1	ASPECTE PRIVIND DESIGN PENTRU FABRICAȚIE ȘI ASAMBLARE (DFMA)	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
6.2	PROGRAMUL DE REPROIECTARE DFMA BOOTHROYD DEWHURST	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
6.3	STUDIUL PENTRU FABRICAȚIE ȘI ASAMBLARE A UNUI BRAȚ BIONIC	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
6.4	PROIECTARE PENTRU FABRICAREA ȘI ASAMBLAREA UNUI DISPOZITIV PROTETIC.....	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
6.5	CONCLUZII CU PRIVIRE LA STUDIUL DFMA	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
CAPITOLUL 7.	STUDIUL PRIVIND SISTEMELE PROPRIOCEPTIVE.....	12
7.1	ASPECTE GENERALE PRIVIND SISTEMELE PROPRIOCEPTIVE	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
7.2	ANALIZA LITERATURII DE SPECIALITATE REFERITOARE LA SISTEMELE PROPRIOCEPTIVE.....	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
7.3	MODELAREA 3D A MĂINII UMANE.....	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
7.4	AJUSTAREA NIVELULUI DE DETALIU AL SUPRAFEȚEI	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
7.5	METODE DE LUCRU FOLOSITE PENTRU STABILIREA MODELULUI VIRTUAL.....	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
7.6	REZULTATELE EXPERIMENTĂRII VIRTUALE OBȚINUTE	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
7.7	SENZORI EMG PENTRU CONTROL VIRTUAL AL MĂINI	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
7.8	CONCLUZII ASUPRA EXPERIMENTELOR VIRTUALE EFECTUATE	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
CAPITOLUL 8.	DEZVOLTAREA UNUI ALGORITM DE GENERARE A UNUI DEGET PROTETIC.....	13
8.1	ASPECTE GENERALE PRIVIND ALGORITMI DE PERSONALIZARE	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
8.2	DEZVOLTAREA APLICAȚIEI DE PERSONALIZARE A PROTEZEI.....	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
8.3	REZULTATE ȘI INTERPRETARE A MODELULUI RETURNAT.....	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
8.4	CONCLUZIILE STUDIULUI FOLOSIND SCRIPTUL DEZVOLTAT	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
CAPITOLUL 9.	MATRICEA DE DECIZIE MULTICRITERIALĂ PENTRU ALEGEREA MATERIALULUI DE FABRICAȚIE A PROTEZEI	14
9.1	CONDIȚII ÎNȚIALE ȘI CRITERII	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.

9.2 STABILIREA CRITERIILOR ȘI EXTRAGEREA PROPRIETĂȚILOR MATERIALELOR	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
9.3 ALOCAREA PUNCTAJELOR ȘI CALCULUL PENTRU LUAREA DECIZIEI.....	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
9.4 CONCLUZII PUNCTAJELOR ASUPRA MATRICEI DE DECIZIE	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
CAPITOLUL 10. FABRICAȚIA PRIN ADIȚIE A UNUI PROTOTIP DE PROTEZĂ PENTRU MEMBRU SUPERIOR	14
10.1 PROIECTAREA MODELULUI PROTOTIPULUI PROTEZEI DE MEMBRU SUPERIOR DUBLU-AȚIONAT	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
10.2 FABRICAȚIA PROTOTIPULUI PROTEZEI DE MEMBRU SUPERIOR DUBLU-AȚIONAT ...	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
10.3 ASAMBLAREA PROTOTIPULUI PROTEZEI DE MEMBRU SUPERIOR DUBLU-AȚIONAT	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
10.4 ASPECTE ECONOMICE.....	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
10.5 CONCLUZII ASUPRA PROCESULUI DE PROIECTARE, FABRICAȚIE, ASAMBLARE ȘI CHELTUIELI CU REALIZAREA PROTOTIPULUI	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
CAPITOLUL 11. ASPECTE ESTETICE ȘI DE INTERACȚIUNE CU MEMBRE SUPERIOARE ROBOTICE CU EFECTE ASUPRA PROIECTĂRII ȘI FUNCȚIONĂRII	15
11.1 METODA DE EVALUARE A PERCEPȚIEI INTERACȚIUNII OM - MAȘINĂ ...	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
11.2 REZULTATELE CHESTIONARULUI	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
11.3 CONCLUZII ASUPRA STUDIULUI PE BAZA CHESTIONARULUI HRI.....	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
CAPITOLUL 12. ÎNCERCAREA PROTOTIPULUI ȘI OBTINEREA DATELOR EXPERIMENTALE	16
12.1 BANCUL DE PROBE	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
12.2 STUDII EXPERIMENTALE ASUPRA PROTOTIPULUI PROPUȘ	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
12.3 STUDIUL PERFORMANȚELOR UMANE VS. PROTOTIPUL PROPUȘ.....	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
12.4 STUDIUL EXPERIMENTAL AL PROTEZEI AȚIONATE[FOLOSIND SENZORII BIOELECTRICI	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
12.5 CONCLUZII ASUPRA DATELOR EXPERIMENTALE	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
CAPITOLUL 13. CONCLUZII FINALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE.....	17
13.1 CONSIDERAȚII FINALE	18
13.2 CONTRIBUȚII ORIGINALE	19
13.3 CERCETĂRI ULTERIOARE ȘI PERSPECTIVE.....	21
13.4 LISTĂ DE LUCRĂRI ȘTIINȚIFICE PUBLICATE	22
BIBLIOGRAFIE	26
ANEXE	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
A.1. ANEXA VALORI PARAMETRICE PROTEZA ADULT	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
A.2. ANEXA VALORI PARAMETRICE PROTEZĂ COPIL	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
A.3. ANEXA ELEMENTE PENTRU STABILIREA PERFORMANȚEI PROTEZEI	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
A.4. ANEXA CAZURILE DE ÎNCĂRCARE PENTRU STUDIUL STATIC STRUCTURAL	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
A.5. ANEXA CAZURILE CONSIDERATE PENTRU STUDIUL LA OBOSEALĂ.....	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
A.6. ANEXA COD SCRIPT AUTOMATIZARE PROIECTARE PROTEZĂ	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
A.7. ANEXA DATE CHESTIONAR	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.

Cuvinte cheie: braț bionic, proteze de membru superior, tehnologii de fabricație prin adiție, sistem proprioceptiv, proteze cu cost redus.

Capitolul 1 Încadrarea în domeniu a tezei

În acest capitol se stabilește contextul cercetării din prezenta lucrare. Se prezintă obiectivul general și obiectivele specifice asumate. Se prezintă tipurile de proteză de membru superior studiate în teză. Se realizează o analiză SWOT a sectorului de industria protezelor.

Pe parcursul desfășurării lucrării se urmărește proiectarea unui braț bionic și fabricarea acestuia cu tehnologii de fabricație prin adăuție. Se urmărește stabilirea unui prototip final, prin validarea fizico-mecanică a modelului, studiat cu metoda elementelor finite. Studiul este menit să aducă îmbunătățiri într-un domeniu de cercetare în expansiune. Acest subiect se încadrează în partea de proiectare asistată a dispozitivelor medicale. Se abordează domeniul ingineriei industriale în scopul inovării.

În studiul problemei proiectării unei proteze de membru superior cu tehnologii de fabricație prin adăuție intervin mai multe ramuri ale ingineriei, dar și medicinei, ceea ce determină caracterul multidisciplinar. Pentru acest demers este nevoie de interconectarea mai multor ramuri ale ingineriei atât la nivel computațional cât și experimental. Lucrarea de față are ca obiectiv general stabilirea unei metodologii de proiectare ce poate conduce la fabricația dispozitivului în condițiile unui cost redus. În același timp sunt identificate metode de calcul computațional care să ajute în dezvoltarea protezelor de membru superior. Contribuții științifice în domeniul protetic folosind fabricația cu tehnologii aditive vor fi aduse prin realizarea unor modele geometrice și structurale îmbunătățite.

Obiectivele specifice ale acestei lucrări sunt după cum urmează:

- (1) Studiul literaturii de specialitate pentru a constata tendințele înregistrate, atât pe plan tehnic, cât și comercial. Studiul comparativ al dispozitivelor existente. Implementarea și validarea unui algoritm de selecție a variantelor de componente de interfață, de componente funcționale, de componente de aliniere, de componente structurale și de componente de finisare în scopul alegerii variantelor constructive optime. În acest sens se vor studia variante constructive existente.
- (2) Modelarea și studiul cu proiectare parametrică a unor prototipuri virtuale. Modelarea geometrică parametrizată a unui model virtual de proteză de membru superior cu implementarea algoritmului de selecție a variantelor constructive în scopul detectării și remedierii erorilor de proiectare. Modelul geometric va avea funcția de generare a geometriei plecând de la dimensiunile de gabarit ale membrului sănătos.
- (3) Studiu structural cu metoda elementelor finite. Implementarea și validarea unui modul de calcul al modelului mecanic - structural al protezei în scopul determinării solicitărilor și reducerii rebuturilor în urma fabricației. Se va stabili

modelul structural bazat pe modelul geometric parametrizat. Se va lucra cu mai multe cazuri de încărcare pentru a facilita selecția variantei optime.

(4) Studiul privind îmbunătățirea modelului propus. Analiza privind proiectarea pentru fabricație și asamblare (DFMA).

(5) Studiu asupra sistemului proprioceptiv. Dezvoltarea unor metode de adaptare a sistemului la absența membrului superior cu ajutorul unor instrumente virtuale.

(6) Fabricarea dispozitivelor reieșite din modelare și analiză, folosind tehnologiile de fabricație aditivă FDM. Implementarea și validarea prototipului experimental al protezei ca urmare a implementării algoritmului de selecție a variantelor constructive, a realizării modelului geometric și a rezultatelor analizei structurale în vederea fabricației prin adiție. Implementarea algoritmului de automatizare a producției.

(7) Studiu asupra selecției materialului optim pentru fabricarea protezei folosind matricea multicriterială de decizie.

(8) Realizarea unui model fizic experimental. Modelarea și adaptarea pentru imprimarea 3D a unui prototip de proteză pentru a servi la aplicarea metodologiilor propuse în prezenta lucrare

(9) Efectuarea unui studiu pentru a afla nivelul de acceptare al prototipului propus atât din postura de purtător al protezei cât și din punct de vedere al interacționării cu o persoană, purtătoare a protezei.

(10) Efectuarea unui experiment pentru a determina intensitatea curentului la acționarea dispozitivului. Realizarea unei serii de măsurători pentru a determina curbele de curent în timpul poziționării prototipului proteză în poziții cheie ale funcționării acesteia.

(11) Obținerea unor soluții cu cost redus, pentru acces larg. În demersul de proiectare se va pune accent pe accesibilitatea dispozitivului din punct de vedere al costului.

(12) Studiul comportamentului prototipului la acționarea bioelectrică.

Cele mai recente cercetări în domeniu, deși au rezultate inovative, nu au implementat toată capacitatea Ingineriei Asistate de Calculator (Computer Aided Engineering – CAE) și pot beneficia încă și mai mult în urma dezvoltării tehnologiilor de fabricație prin adiție. Impactul pe care acest proiect de cercetare îl poate avea asupra domeniului constă în implementarea unei metodologii îmbunătățite de folosire oferită de CAE. În proiectarea și fabricația pentru dispozitive medicale este un loc care poate fi ocupat de acest proiect de cercetare. Prin acest proiect de cercetare se propune aplicarea CAE și Tehnologiei de fabricație prin Adiție (TfA) pentru domeniul inginerie industrială cu aplicații medicale

Extinderea acestui domeniu de cunoștințe va permite inovarea și designul unor produse medicale superioare. Rezultatul cercetării va fi un dispozitiv medical și o serie de metodologii de proiectare pentru fabricație prin adiție în ingineria industrială cu aplicații medicale. Dată fiind experiența folosirii uneltelor CAE, aplicarea ei în ingineria medicală poate genera noi informații utile pentru procesul de design din acest domeniu.

Capitolul 2 Aspecte privind stadiul actual al cercetării în domeniu

În acest capitol se definesc, clasifică și se prezintă funcțiile protezelor de membru superior. Se prezintă de asemenea, un studiu amplu al stadiului actual bazat pe studiarea literaturii de specialitate din domeniu.

Dezvoltarea protezelor comerciale și a fabricării aditive a dat naștere protezelor parțiale de mână tranzitorii cu costuri reduse. La început, acestea sunt o prezență timidă, dar pe măsură ce tehnologia de ultimă generație evoluează, se strecoară și în domeniul dispozitivelor cu cost redus. Mai mult, ca și în cazul protezelor comerciale, este posibil să vedem echipe multidisciplinare formate pentru a prescrie pacientului o proteză de tranziție înainte de a primi pe cea comercială. Ca urmare a dezvoltării senzorilor, este posibil să vedem soluții inovatoare pentru tehnologia de detectare. În consecință, mai multe proiecte de cercetare vor fi dezvoltate în aplicații practice ale protezelor de tranziție bazate pe feedback.

Una dintre provocările alegerii dispozitivelor protetice parțiale de mână de tranziție imprimabile 3D cu costuri reduse este multitudinea de baze de date disponibile. În plus, numărul mare de rezultate și duplicatele găsite pot introduce un nivel mai ridicat de dificultate în alegere. În consecință, specialiștii se pot baza pe lucrări de sinteză ca prezenta teză pentru a restrânge căutarea pacienților lor. Din fericire, există și mai multe platforme de conținut selectiv. Catalogele comunității Enable și schimbul de imprimare 3D NIH reprezintă astfel de exemple.

Numărul mic de rezultate în testele clinice, precum și lipsa literaturii în domeniul testării unor astfel de dispozitive le face mai greu de recomandat. Capacitatea de a diferenția între aceste tipuri de dispozitive se bazează în prezent pe experiența personală și nu pe rezultatele experimentale. Astfel de limitări, împreună cu altele semnalate de lucrări similare, deschid calea pentru cercetarea și dezvoltarea viitoare.

Capitolul 3 Studiu comparativ al performanței protezelor de membru superior

În acest capitol se prezintă un studiu asupra protezelor existente. Se descrie funcționarea acestora. Se enumeră principalele funcții. În final se realizează un studiu comparativ al protezelor.

Au fost analizate, comparativ, performanțele protezelor de membru superior cele mai folosite. În Tabelul 0.1 este prezentat studiul comparativ.

Tabelul 0.1 Studiul comparativ

1	Nume	Nivel protezare	Motorizare
1	Phoenix hand V3	Sub încheietură	Manual
2	Dextra	Deasupra încheieturii	Motoare în curent continuu
3	Brunel	Deasupra încheieturii	Servomotoare
4	HRI	Experimental	Multiple motoare
5	InMoov	Experimental	Multiple motoare
6	PROTO1	Experimental	Multiple motoare
7	Naked Prosthetics	Multiple	Manual
8	Zeus	Deasupra încheieturii	Servomotoare
9	X-limb	Deasupra încheieturii	

10	Taska	Deasupra încheieturii	Servomotoare
11	Nexus	Deasupra încheieturii	Servomotoare
12	Hero	Deasupra încheieturii	Servomotoare
13	TrueLimb	Deasupra încheieturii	Servomotoare
14	Bebionic	Deasupra încheieturii	Servomotoare
15	Victoria	umăr	Manual

Capitolul 4 Proiectarea unei proteze parțiale de mână

Designul antropomorf necesită un grad ridicat de complexitate atât în structura, cât și în acționarea mâinii umane. Gradul de articulare influențează performanța dispozitivelor protetice [1].

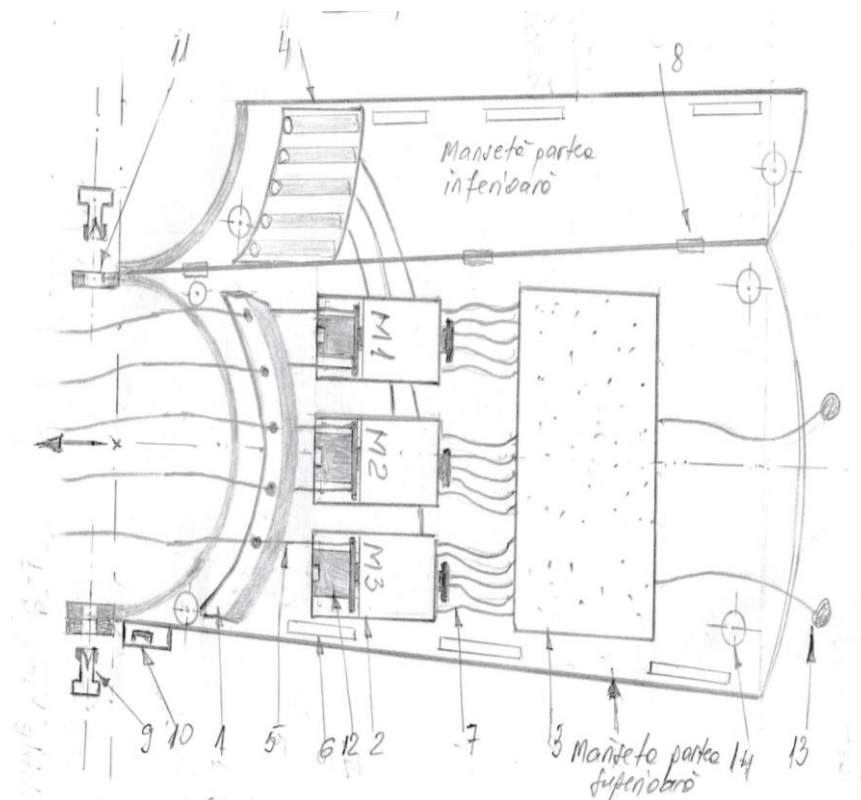


Figura 0.1 Proiectarea conceptuală a unei manșete de proteză pentru membru superior unde: 1- suport ghidaj cablu acționare; 2- set motoare (degete 1/2, 3/4, 5); 3- placă electronică; 4- baterie electrică; 5- cablu acționare degete; 6- orificiu fixare bretele prindere; 7- cabluri electrice motor/placă; 8- balamale; 9- știft prindere palmă; 10- dispozitiv de blocare; 11- orificiu prindere de palmă; 12- mosor înfășurare cablu degete; 13- senzori acționare; 14- suporturi prindere carcasă exterioară.

Pe parcursul acestui capitol s-a realizat un prim design conceptual. S-au constatat mai multe erori conceptuale și a fost remediat designul propus. La transpunerea dispozitivului schițat în CAD s-au descoperit anumite erori de forma intersecțiilor între componentele în mișcare. Erori ce s-au remediat conducând la prima variantă a modelului 3D a dispozitivului pentru membru superior uman propus.

Capitolul 5 Analiza structurală folosind metoda elementului finit

În acest capitol se prezintă studiul structural asupra ansamblului protetic. S-a realizat calculul numeric urmat de analiza structurală computerizată folosind analiza sau metoda elementelor finite. S-a folosit diagrama din Figura 5.2.

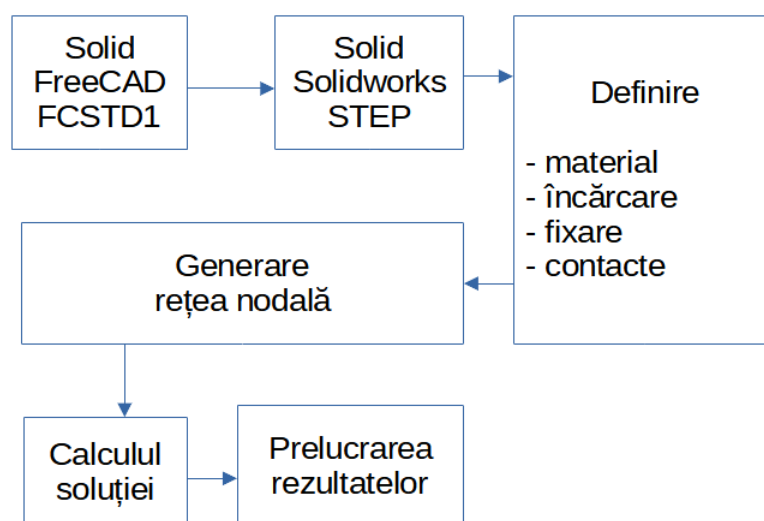


Figura 0.2 Diagrama studiului structural

Ideea prezentată pentru acest nou tip de protezare este originală, negăsind niciun studiu despre proteza parțială a mâinilor cu acționare atât externă, cât și corporală.

O proteză alimentată electric poate fi mai utilă decât un dispozitiv protetic acționat corporal, dar atunci când bateria este epuizată, avantajul utilității se echilibrează înapoi la un dispozitiv cu acționare corporală. Deci, un dispozitiv combinat electric și acționat și corporal este ideal. Alegerile de design pentru întruchiparea ideii au fost luate pentru a accelera dezvoltarea modelului. Abordarea antropomorfă și bio-inspirată a fost folosită pentru a obține o bază bună de model.

Rezultatele studiului static depind de randamentul materialului ABS. Unele rapoarte tehnice propun 60 MPa, în timp ce studii mai conservatoare propun 40 MPa; aceste valori corespunzătoare unei încărcări între 10 N și 15N pentru modelul propus în teză.

Rezultatele testului de oboseală pot oferi o estimare a duratei de viață a protezei. Durata de viață estimată de 1 an se bazează pe numărul de cicluri până la deteriorarea completă.

Capitolul 6 Design pentru fabricație și asamblare a unui braț bionic

Proiectarea pentru fabricație și asamblare DFMA permite optimizarea proiectelor de dezvoltare de produs. Acest lucru este datorat considerării simultane, din timpul fazei de proiectare, a proceselor de asamblare și fabricație.

Un considerent important în proiectare, mai ales pentru domeniul studiat, este ingineria concurentă. Aceasta asigură o metodologie de proiectare bazată pe comunicarea strânsă pe tot parcursul proiectului a principalilor participanți la dezvoltarea de produs.

Programele ce implementează metodologii de proiectare și optimizare a produselor industriale, ajută la obținerea unor produse performante. Se pot optimiza cheltuieli de producție, de asamblare, de material și a tuturor elementelor ce intră în procesul de dezvoltare de produs.

Deși programele de proiectare de tip DFMA sunt foarte utile, ele nu se pot aplica pentru toate procesele industriale. Totuși, noi versiuni ale acestora apar anual și devin din ce în ce mai utile în procesul de proiectare.

În lucrul cu subprogramul DFM, s-au observat anumite curențe cu privire la faptul că nu dispune de modul pentru analiza cheltuielilor de fabricație pentru imprimarea 3D. Fapt pentru care a fost realizat un program în Microsoft Excel pentru a compensa această lipsă de funcționalitate. Subprogramul DFM poate fi îmbunătățit și din punct de vedere al normelor de proiectare. Subprogramul DFMPRO disponibil pentru SolidWorks, permite pe lângă atenționarea încălcării normelor de proiectare, lucru făcut și de DFMA, indicarea normelor specifice cu posibilitatea de refacere a modelului parametric și reanaliză pentru un anumit proces de fabricație.

În implementarea procesului DFM pentru proteza de membru superior s-a redus numărul de piese cu 27, numărul de operațiuni și cheltuielile cu asamblarea au scăzut cu 10% prin îmbinarea elementelor manșetă și suport motor. Acest lucru se poate considera o soluție inovativă de proiectare.

Prin folosirea metodologiei DFM s-au comparat cheltuielile ce derivă din producerea protezei de membru superior în cazul mai multor procese industriale de fabricație. S-a îmbunătățit funcționalitatea metodologică, programul DFMA neavând un algoritm de calcul al cheltuielilor cu fabricația. S-a implementat un calcul tabelar pentru a reuși realizarea comparației cheltuielilor între diferitele procese industriale.

Din punct de vedere social, dispozitivele protetice imprimate 3D pentru membrele superioare îmbunătățesc calitatea vieții pentru persoanele cu amputare. Prezenta cercetare este dedicată îmbunătățirii designului protetic pentru a împuternici persoanele cu acces redus la asigurările de sănătate. Există estimări de 3-4 persoane din 100.000 care suferă de pierderea membrelor din cauza amputării [2]. Deși aceste proteze sunt de obicei utilizate ca dispozitive de tranziție, gospodăriile cu venituri mici nu au de ales decât să le folosească drept dispozitive finale. În plus, protezele imprimate 3D sunt utilizate și în țările subdezvoltate și în zonele de război. Deși nici studiile disponibile, nici politica firmelor nu sunt suficiente, efortul de cercetare încearcă să îmbunătățească dispozitivele prin proiecte precum lucrarea de față.

Capitolul 7 Studiu privind sistemele proprioceptive

Recunoașterea modelelor de comportament este utilizată pentru a controla protezele bioelectrice. Deși există o cantitate semnificativă de cercetări în electromiografie EMG, puține studii sunt efectuate despre instruirea virtuală cu proteze. Testarea virtuală poate constitui o soluție pentru dezvoltarea ulterioară a protezelor. Scopul a fost dezvoltarea unei modalități de instruire a pacienților. A fost modelată o mână umană folosind Autodesk Maya. Modelul a fost apoi aranjat și pregătit pentru animație. Buclele animate ale gesturilor principale au fost controlate cu comenzi rapide de la tastatură atribuite în mediul Unity. A fost dezvoltat un sistem de mână virtuală care poate fi controlat folosind tastatura computerului. Pacienții care au nevoie de instruire cu EMG pot beneficia de utilizarea unei brățări senzoriale cu sistemul propus.

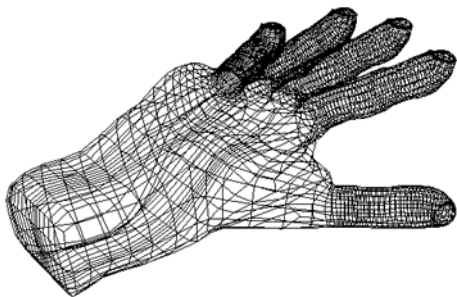


Figura 0.3 Prima versiune de mână virtuală

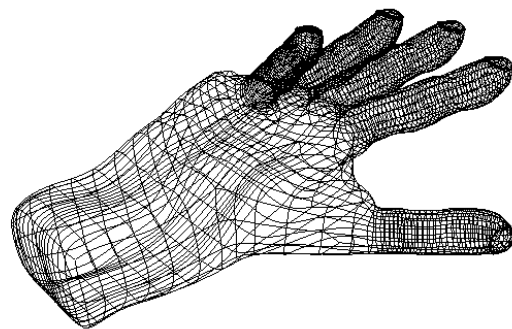


Figura 0.4 Model după optimizarea topologiei cu îndepărtarea găurilor și îndepărtarea triadelor/quad-urilor

În comparație cu [3], studiul ia în considerare echipamentul necesar pentru a efectua experimente folosind sisteme 3D, mai degrabă decât sisteme 2D prezentate în lucrarea citată. În ceea ce privește munca lui Mutlu et al [5], experimentele au inclus 2 persoane care au simțit acțiunile uneia ca feedback pentru cealaltă persoană. În cazul prezentei lucrări, sistemul transmite feedback-ul de pe ecran către un model de mână virtuală. La fel ca [9], s-a modelat o mână virtuală pentru a ajuta la cercetarea îmbunătățirii feedback-ului proprioceptiv pentru utilizatorii de proteze. Deși modelul descris aici nu este la fel de detaliat ca cel al [8] și [10], aplicația rezultată este potrivită pentru antrenamentul proprioceptiv al mâinilor.

De obicei, găsim cercetări privind optimizarea topologică fie atunci când vine vorba de analiza elementelor finite [18], fie în cazul pregătirii proiectării pentru fabricarea aditivă [4]. Cu toate acestea, în cazul de față a fost folosit pentru a dezvolta un model virtual și pentru a îmbunătăți feedback-ul proprioceptiv, reducând în același timp efectul de vale stranie [5]. Efectul de vale stranie apare atunci când un robot tinde să atingă punctul de asemănare umană perfectă dar nu reușește. Astfel, modelul prezentat a beneficiat de optimizare topologică adaptată din alte domenii.

Sistemul proprioceptiv uman este un mecanism care odată cu pierderea membrelor își menține în memorie prezența lor. Astfel, el trebuie să fie educat, să se poată adapta la noile condiții. Pentru aceasta a fost dezvoltat un model virtual pentru antrenarea pacienților cu lipsa membrelor în vederea posibilității folosirii ulterioare a unor proteze. Deoarece modelul nu trebuie să fie întocmai cu mâna nativă a pacientului, însă trebuie să respecte în linii mari anatomia mâinii, modelul a fost trecut prin stadii de îmbunătățire topologică ce au condus la un model îmbunătățit pentru aplicația urmărită.

Modelul a fost animat în mai multe stagii pentru ca pacientul să poată interacționa cu lumea virtuală prin intermediul său. Acest model a fost realizat în scopul folosirii sale cu un sistem de senzori plasați la suprafața pielii pacientului, în vecinătatea extremității membrului pierdut. Astfel senzorii trimit semnale care intră în procesarea algoritmilor descriși în acest capitol și ca urmare a gesturilor pacientului, produc efecte pe ecran, în lumea virtuală, asupra modelului realizat.

Prin sistemul propus, se poate realiza reeducarea sistemului proprioceptiv pentru ca acesta să poată permite pacientului un bun control al unei viitoare proteze. Cu cât sistemul este mai bine implementat, cu atât pacientul poate să se adapteze la cerințele necesare pentru a putea controla o proteză avansată.

În secțiunile prezentate s-au făcut experimente virtuale pentru a găsi un echilibru între fidelitatea înaltă și optimizarea topologică pentru un model virtual de mână umană. S-au descris primii pași către un sistem de feedback proprioceptiv utilizat pentru instruirea pacienților și pentru studiile de recunoaștere a modelelor de comportament. Deși s-a depus destul de multă muncă în această lucrare, trebuie depuse mai multe eforturi pentru a perfecționa sistemele. Limitările includ lipsa lucrărilor practice experimentale. Cu toate acestea, aceasta constituie o cale pentru cercetări viitoare.

Capitolul 8 Dezvoltarea unui algoritm de generare a unui deget protetic

Protezele, un dispozitiv util de asistență pentru pacienții care au suferit traume, se caracterizează prin personalizare extremă, adaptabilitate și design complex. Unul dintre principiile de bază pentru a avea o proteză bună este un design optimizat. Cu software-ul CAD tradițional, ceea ce selectează un designer va fi utilizat automat și aplicat unui model solid. Cu toate acestea, CAD nu este încă suficient de avansat pentru a oferi proiectanților biomedicali un instrument de personalizare fiabil. Un scop al prezentului capitol a fost de a dezvolta un cadru de dispozitiv protetic pentru degetul membrului superior. A fost utilizat un mediu software gratuit și liber licențiat pentru a dezvolta o proteză editabilă personalizată pentru deget [6]. Implementarea s-a făcut în limbajul de programare OpenSCAD. Rezultatul este o randare a unei proteze de deget complet personalizabile. Baza de cod poate fi modificată pentru a genera noi modele. Contribuția principală a lucrării este scriptul care

oferă o interfață pentru personalizarea protetică. O astfel de abordare poate oferi instrumente ușor de utilizat pentru tehnicienii ortopezi.

Îmbunătățirile ulterioare ale designului și optimizarea codului pot reduce timpul petrecut pentru fabricare. Cel mai mult timp este petrecut imprimând partea proximală a protezei pentru fiecare set. Ca și în cazul greutateii și lungimii materialului, un algoritm îmbunătățit de reducere a greutateii poate ajuta la reducerea greutateii, păstrând în același timp integritatea structurală.

Noutatea analizei prezentate constă în integrarea proceselor CAD și CAM pentru a facilita utilizarea unui design pentru imprimarea 3D protetică personalizată. Scriptul poate fi utilizat în legătură cu un dispozitiv de fabricare 3D pentru a ajuta utilizatorii să genereze modele personalizate fără cunoștințe prealabile de proiectare sau fabricație. Deși nu a fost utilizat niciun echipament de fabricație aditivă în studiu, acest lucru poate constitui o direcție pentru cercetări ulterioare în domeniu.

Capitolul 9 Matricea de decizie multicriterială pentru alegerea materialului de fabricație a protezei

În urma analizei cu matricea multicriterială de decizie s-a ales ca material de lucru PLA. A fost alcătuită o listă cu materiale din care se fabrică filamentul fuzibil folosit la imprimarea 3D. S-au considerat proprietățile acestor materiale și s-a alcătuit o matrice de decizie pentru alegerea materialului potrivit pentru fabricarea protezei.

Capitolul 10 Fabricația prin adiție a unui prototip de proteză pentru membru superior

În contextul în care protezele parțiale de membru superior se găsesc sub formă simplificată cu acționare corporală, a fost proiectată și fabricată prin adiție o proteză ce combină acționarea mecanică de tip corporal cu cea electrică externă. În subcapitolele următoare s-a descris proiectarea și fabricația pieselor, precum și asamblarea și modul de funcționare, dar a fost scos în evidență și calculul cheltuielilor cu aceste etape.

Într-un studiu din 2021 [7] se arată că tensiunea admisibilă a materialului PLA a scăzut cu 36% și timpul de imprimare al epruvetei a crescut de asemenea când s-a modificat poziția acesteia din poziția cu cea mai mare dimensiune de gabarit la orizontală la poziție verticală.

Mai recent autorii studiului [8] au explicat cum un mecanism de prehensiune făcut din material TPU cu un model matriceal dreptunghiular permit acestuia apucarea obiectelor de diverse forme și dimensiuni. Ei susțin că prin folosirea materialului Nylon Carbon 12 pentru piesele mai rigide precum roata cu cremalieră se poate fabrica întreg dispozitivul prin tehnologii aditive.

O posibilitate pentru îmbunătățirea performanțelor materialelor folosite în imprimarea 3D precum PLA, este descrisă în lucrarea [9]. Expunând piesa la o temperatură de 55 de grade la o presiune de 15 bar se poate obține un modul de elasticitate și o rezistență la rupere îmbunătățite. În plus, în lucrarea [10] este sugerată posibilitatea ca o piesă prototip să devină piesă funcțională, prin supunerea la tratament termic. S-a obținut o îmbunătățire a

performanței rezistenței la solicitarea la oboseală de 1,25 ori mai mare decât fără tratament termic. Variația grosimii filamentului topit influențează de asemenea izotropia. În lucrarea [11] se folosește analiza optică microscopică și analiza statistică pentru a determina variația grosimii filamentului extrudat. Se propune modificarea setărilor din programul CAM pentru a obține o grosime omogenă și constantă a grosimii filamentului.

Îmbunătățirea performanțelor pieselor imprimate 3D mai poate fi realizată și prin creșterea complexității geometriei interioare. În lucrarea [12] se descrie geometria folosită ca fiind cu suprafețe periodice minimale. În cadrul studiului s-a modelat structura internă folosind programul de proiectare parametrică Rhino împreună cu Grasshopper. S-a testat virtual eficacitatea designului propus folosind voxel-print plugin pentru ABAQUS FEM unde s-a folosit analiza non-liniară cu elemente finite, reușind să valideze rezultatele obținute virtual cu date experimentale. Influența geometriei interioare asupra performanțelor mecanice ale pieselor fabricate din PLA a fost studiată și în lucrarea [13]. În acest studiu s-a folosit ANSYS pentru simularea efectelor structurii interioare, iar pentru validarea experimentală s-a folosit o mașină universală de testare a performanțelor mecanice. Pe același principiu s-a mers și în lucrarea [14] unde s-a proiectat un model matriceal urmărind reducerea fracțiunii suprafeței de contact. În acest studiu s-a folosit tehnologia SLS cu PA12 ca material de lucru pentru fabricarea unei proteze. Se folosește, de asemenea, Rhino pentru generarea geometriei apoi se folosește Autodesk Inventor pentru a exporta SLS. Modelul matematic rezultat a fost implementat în ANSYS astfel putându-se genera structuri flexibile și ușoare pentru aplicații medicale.

La îmbunătățirea performanțelor mecanice ale pieselor fabricate prin tehnologia FFF poate contribui și alegerea materialului. O variantă mai bună decât PLA sau alte materiale simple este materialul ranforsat sau compozit. În lucrarea [15] se descrie integrarea unor materiale suplimentare de ranforsare în filamentele pentru fabricare FFF.

Realizarea modelului 3D final și pregătirea acestuia pentru fabricația prin aditie a permis producerea primului prototip al dispozitivului propus. S-a efectuat asamblarea dispozitivului și s-a realizat centralizarea cheltuielilor.

Capitolul 11 Aspecte estetice și de interacțiune cu membre superioare robotice cu efecte asupra proiectării și funcționării

Domeniul protezelor membrilor superioare în scopuri tranzitorii are o prezență considerabilă în literatura de specialitate și acest lucru este cauzat în principal de creșterea accesibilității la imprimantele 3D pentru fabricarea aditivă și de deschiderea de a include acest lucru în domeniul medical ca un pas intermediar pentru obținerea unei proteze comerciale.

În studiul de față s-a folosit o proteză imprimată 3D pentru membrele superioare utilizate în scopuri de tranziție de către pacienții cu dezarticulare parțială a membrilor superioare. Dispozitivul utilizează un amestec de piese din plastic și piese metalice standard. Piese metalice sunt în mare parte elemente de fixare și arcuri. Elementele de fixare sunt piese standardizate. De asemenea, dispozitivul utilizează un set de motoare electrice în scopuri de acționare externă. Dispozitivul este hibrid, fiind în același timp alimentat de corp și alimentat extern. Deși acesta este doar un prototip, sondajul este concludent, deoarece se poate îmbunătăți în continuare dispozitivul. Totuși, acest lucru nu înseamnă că rezultatele vor

influența designul general al prototipului considerat. În plus, trebuie să luăm în considerare numărul relativ redus de respondenți, doar 113 participanți. De asemenea, grupul de participanți a fost format în mare parte din studenți cu experiență limitată în design industrial.

Din rezultatele sondajului cu 4 secțiuni putem lua în considerare câteva idei despre atracția vizuală a prototipului considerat. De asemenea, putem trage, cu siguranță, câteva concluzii inițiale despre problema protezelor plastice versus metalice. În cele din urmă, putem extrage câteva cunoștințe despre detectarea UVE care apar în studiul actual de sondaj.

O temă fundamentală care apare în sondajul prezentat este problema antropomorfismului sau mecanomorfismului în rândul dispozitivelor protetice. Deși au fost adresate mai multe întrebări cu privire la acest lucru, problema este încă în discuție și ar putea necesita dezbateri suplimentare.

Respondenții au dat impresia că nu sunt interesați de materialul din care este confecționată proteza. Se pare că aceasta nu este întrebarea corectă care trebuie pusă și problema poate fi rezolvată, deoarece răspunsurile indică o problemă minimă în ceea ce privește materialele.

Deși au fost plasate intenționat mai multe întrebări în prezentul sondaj pentru a măsura UVE, nu se poate spune cu certitudine că acest lucru a apărut la subiecți în timp ce participau la sondaj. Cu toate acestea, acest lucru s-ar putea schimba dacă ar fi interacționat cu proteza în viața reală. Nu este cert, deoarece sondajul a fost făcut online, iar participanții au avut o singură referință ilustrată a prototipului considerat. Acest lucru lasă loc pentru discuții suplimentare și trebuie făcute cercetări pentru a evalua nivelul UVE în toți roboții, dar ar putea necesita o formă de standardizare.

În acest capitol se prezintă concluziile care au reieșit dintr-un sondaj efectuat pe studenții la inginerie despre un dispozitiv protetic al membrelor superioare în scopuri tranzitorii. Studiul evidențiază faptul că atracția vizuală este importantă pentru majoritatea respondenților și, deși nu îi deranjează să interacționeze cu un membru cu aspect artificial, preferă un dispozitiv cu aspect mai realist. S-a luat în considerare întrebarea dacă o proteză plastică este mai atrăgătoare din punct de vedere vizual decât una metalică, dar oricum s-a formulat întrebarea, răspunsul general a fost că această chestiune nu îi preocupă pe respondenți la fel de mult ca dezbaterea despre modelele antropomorfe versus mecanomorfe. În cele din urmă, s-a încercat să se detecteze UVE în sondajul prezentat, iar acesta reflectă o poziție intermediară (neutră) între atracție (acord puternic) și repulsie (dezacord), cu tendință spre dezacord în ce privește confortul (secțiunea 1) și reacția emoțională (secțiunea 2) fapt ce măsoară o prezență redusă a efectului UVE. Nu este nevoie de luat în considerare nici metalul, nici plasticul, dar există un efort important care trebuie făcut pentru a îmbunătăți aspectul pentru a fi cât mai antropomorf posibil. UVE ar fi putut fi mai evidențiată dacă s-ar fi realizat un sondaj mai interactiv. O versiune îmbunătățită a sondajului, alături de o sesiune practică cu oameni care interacționează cu mâini robotice sau dispozitive protetice ar duce la concluzii mai ferme. Sau chiar mai bine, organizarea unei sesiuni sau un atelier care implică persoane cu amputație pentru a interacționa atât cu respondenții sondajului, cât și cu cercetătorii spre a conduce la o mai bună stăpânire asupra a ceea ce este important pentru toți participanții.

Capitolul 12 Încercarea prototipului și obținerea datelor experimentale

Pentru a detecta modul de funcționare al prototipului experimental a fost făcută o serie de încercări. Pentru acestea s-a folosit un set de surse pentru alimentarea echipamentelor electronice, un laptop pentru comandarea echipamentelor și un set de alte instrumente utile pentru reglarea electrică și mecanică.

În acest capitol s-a realizat un banc experimental pentru testarea modului de comportament al prototipului proteză la absorbția de curent din rețea. Pentru aceasta s-au folosit 2 surse reglabile de tensiune conectate la rețeaua locală. Cu ajutorul acestora s-a putut măsura intensitatea curentului necesară motoarelor la acționarea acestora pentru poziționarea protezei.

A fost acționat prototipul folosind un laptop și s-au înregistrat datele oferite de sursele de alimentare la acționarea protezei. De asemenea, de-a lungul funcționării s-a calibrat dispozitivul folosind unelte adiacente precum multimetrul.

S-a realizat un experiment pentru testarea acționării prototipului propus. A fost montat senzorul bioelectric la una dintre plăcile de comandă și motoarele protezei au fost conectate la cea de a doua placă de dezvoltare. Cele 2 plăci au comunicat prin Bluetooth Low Energy – BLE pentru a elimina perturbațiile apărute în sistem. Folosirea celor 2 plăci de comandă a fost aleasă pentru asigurarea izolării galvanice.

Capitolul 13 Concluzii finale și contribuții personale

În acest capitol se prezintă un rezumat al principalelor contribuții. Se prezintă considerațiile finale. În final se reflectă asupra cercetărilor ulterioare. În **Eroare! Fără sursă de referință.** se prezintă un studiu comparativ între varianta propusă și alte modele existente. Modelele considerate cu proprietățile lor au fost după cum urmează: Phoenix hand V3 [16], Cyborg Beast [17], Flexy hand 2 [18], Knicks finger [19], Dextra hand [20], Brunel hand [21], MCP Driver [22], Zeus hand [23], X-limb [24], Taska hand [25], Nexus Covvi [26], Hero arm [27], True Limb [28], Bebionic [29] și Victoria Hand [30].

În primul rând, prototipul se diferențiază de o parte din protezele din **Eroare! Fără sursă de referință.** prin faptul că are în componența sa piese standardizate sau fabricate prin imprimare 3D. În același timp se poate observa faptul că, în timp ce unele dispozitive au fie acționare electrică, fie mecanică, varianta propusă dispune de ambele. Acționarea hibridă nu este ceva comun întâlnit la protezele de tranziție cu cost redus. În cursul studierii literaturii au mai fost găsite variante hibride doar la protezele de umăr, dar acestea constau în segmentarea protezei în 2, o parte mecanică și una electrică. În cazul de față același segment de proteză prezintă o variantă de acționare hibridă.

În al doilea rând, din punct de vedere al disponibilității echipamentelor și pachetelor de programe, se poate observa că varianta propusă este printre puținele care este dezvoltată cu ajutorul unui pachet CAD liber licențiat. Acest lucru favorizează preluarea și modificarea ulterioară de către pacienți sau clinicieni.

Din punct de vedere al prețului, deși varianta propusă este mai scumpă decât o parte din protezele comparate, ea se poate considera la un preț redus. Pe de o parte proteza are mai multe funcții decât variantele mai ieftine. Pe de altă parte cheltuielile pentru obținerea dispozitivului sunt cu mult mai mici decât prețul variantelor comerciale.

Prezența sistemului de rotire cu rulment și sistemului de revenire cu arc de torsiune permit un control mai sigur al mișcării. Acest beneficiu poate fi considerat util chiar dacă prin prezența acestor componente crește greutatea, complexitatea și prețul.

Forța de acționare măsurată, deși mai mică decât a protezelor comerciale, poate fi îmbunătățită. Motoarele folosite permit această flexibilitate. Cu un format similar din punct de vedere al dimensiunilor de gabarit, la un preț ușor mai mare, pot fi obținute valori mai bune ale performanței. Problemele care pot apărea însă, din acest punct de vedere, se referă la disponibilitatea acestui tip de motor în vecinătatea celor care doresc să reconstruiască proteza.

În final, avantajele oferite de dispozitiv precum sistemele implementate de acționare hibrid, de blocare, de rotire cu rulment, de revenire cu arc de torsiune, pot avea un impact mult mai mare decât punctele la care mai trebuie lucrat, precum greutatea, viteza de reacție, forța dezvoltată și cea statică.

Considerații finale

Teza își propune aducerea de contribuții asupra metodologiei de proiectare asistată a dispozitivelor medicale prin proiectarea și fabricarea unui braț bionic în condiții de cost redus. Considerând aspectele propuse se urmărește proiectarea de produse inovatoare în domeniul inginerie industrială cu aplicații medicale.

Lucrarea de față are ca obiectiv general stabilirea unei metodologii de proiectare ce poate conduce la fabricația dispozitivului medical cu cost redus. Studiul literaturii de specialitate (obiectivul 1) a cărui îndeplinire se poate observa, în general, pe parcursul întregii lucrări, și în particular este prezentată în capitolele 2 și 3. Pe parcursul acestora s-a realizat studiul stadiului actual. Dezvoltarea protezelor comerciale și a fabricării aditive a dat naștere protezelor parțiale de mână tranzitorii cu costuri reduse. La început, acestea sunt o prezență timidă, dar pe măsură ce tehnologia de ultimă generație evoluează, se transmite și în domeniul dispozitivelor cu cost redus. Mai mult, ca și în cazul protezelor comerciale, este posibil să vedem echipe multidisciplinare formate pentru a prescrie pacientului o proteză de tranziție înainte de a primi pe cea comercială. Ca urmare a dezvoltării senzorilor, este posibil să vedem soluții inovatoare pentru tehnologia de detectare. În consecință, mai multe proiecte de cercetare vor fi dezvoltate în aplicații practice ale protezelor de tranziție bazate pe buclă de reglare și răspuns.

Modelarea geometrică parametrizată a unei proteze de mână (obiectivul 2) a reprezentat un obiectiv ce considera posibilitatea de adaptare a unui model standard la pacient în funcție de caracteristicile individuale ale geometriei persoanei cu dizabilități. Evoluția acestui proiect este prezentată în capitolul 4.

Având ca obiectiv specific 3 studiul structural al modelului propus (obiectivul 3), a fost realizată o metodologie prezentată de-a lungul capitolului 5. În acesta s-a propus un design și a fost supus unor încercări virtuale. Ideea prezentată pentru un nou tip de protezare este originală, negăsind niciun studiu despre proteza parțială a mâinilor cu acționare atât

externă cât și corporală. Rezultatele studiului static depind de randamentul materialului ABS. Unele rapoarte tehnice propun 60 MPa, în timp ce studii mai conservatoare propun 40 MPa; aceste valori sunt corespunzătoare unei încărcări între 10 N și 15 N pentru modelul propus.

În vederea îmbunătățirii modelului propus (obiectivul 4) s-a realizat un studiu de dezvoltare a design-ului protetic prin adaptarea metodologiei DFMA la domeniul considerat. Programele ce implementează metodologii de proiectare și optimizare a produselor industriale, ajută la obținerea unor produse performante. Se pot optimiza cheltuieli de producție, de asamblare, de material și a tuturor elementelor ce intră în procesul de dezvoltare de produs. Acestea sunt descrise în capitolul 6 al prezentei lucrări. În capitolul 6 s-a studiat potențialul adus de metodologia DFMA asupra domeniului studiat și a fost propusă o metodologie de aplicare. Proiectarea pentru fabricație și asamblare DFMA permite optimizarea proiectelor de dezvoltare de produs. Acest lucru este datorat considerării simultane, din timpul fazei de proiectare, a proceselor de asamblare și fabricație. Un considerent important în proiectare, mai ales pentru domeniul studiat, este ingineria concurentă. Aceasta asigură o metodologie de proiectare bazată pe comunicarea strânsă pe tot parcursul proiectului a principalilor participanți la dezvoltarea de produs. Studiul DFMA și aplicarea algoritmului pentru proiectul propus a contribuit și la îndeplinirea obiectivului 11 al prezentei lucrări.

S-a realizat studiul sistemului proprioceptiv (obiectivul 5) prin alcătuirea unui set de algoritmi care servesc la reantrenarea sistemului proprioceptiv descrise în capitolul 7 al prezentei lucrări. Prin sistemul propus, se poate realiza reeducarea sistemului proprioceptiv pentru ca acesta să poată permite pacientului un bun control al unei viitoare proteze. Cu cât sistemul este mai bine implementat, cu atât pacientul poate să se adapteze la cerințele necesare pentru a putea controla o proteză avansată.

Dezvoltarea unui algoritm de realizare automată a producției (obiectivul 6) s-a dus la îndeplinire mai întâi prin conceperea unui algoritm de personalizare al unui model standard de proteză. Acestui algoritm i s-a adăugat un altul care preia modelul și-l trimite spre fabricație prin adiție. Așa cum este descris în capitolul 8 și pentru îndeplinirea obiectivului specific 6 s-a realizat un proces ce primește dimensiunile, generează modelul CAD/CAM și poate trimite spre fabricație proteza nou creată și adaptată pentru pacient.

Alegerea materialului de fabricație (obiectivul 7), s-a realizat prin alcătuirea unei liste cu materiale folosite în fabricația prin adiție. S-a realizat matricea multicriterială de decizie care luând în calcul proprietățile fizico-mecanice ale materialelor a permis alegerea potrivită pentru aplicația urmărită. Procesul este descris în capitolul 9 în detaliu.

Pentru realizarea unui model fizic experimental (obiectivul 8) a fost fabricat prin adiție și montat un prototip ce poate fi folosit în cercetări ulterioare la îmbunătățirea design-ului protetic propus în această lucrare. Acest lucru este descris în capitolul 10 unde de asemenea se prezintă și calculul cheltuielilor cu prototiparea (obiectivul 11) ce relevă costurile implicate și subliniază încadrarea prototipului în grupul dispozitivelor cu cost redus.

Pe parcursul capitolului 11 s-a studiat printr-un sondaj nivelul de acceptare al prototipului propus (obiectivul 9). Acest lucru a fost realizat spre îndeplinirea obiectivului specific 9 unde s-a pus accentul pe ce ar mai putea fi îmbunătățit la prototip și nivelul de acceptare al acestuia.

În capitolul 12 prototipul a fost supus la o serie de experimente (obiectivul 10) ce au constat în acționarea electrică. S-a monitorizat intensitatea curentului în timpul funcționării.

S-au consemnat valorile și s-au ridicat curbele graficelor ce descriu curentul măsurat în punctele cheie ale funcționării dispozitivului. În același timp, s-a studiat și comportamentul prototipului la acționarea bioelectrică (obiectivul 12).

Contribuții originale

Contribuții teoretice

1. În primul rând, s-a realizat un studiu bibliografic amplu. Acesta se poate observa de-a lungul lucrării. Scopul realizării acestui studiu a fost dobândirea unei bune înțelegeri a domeniului studiat. Au fost consultate baze de date internaționale precum Scopus, PubMed și DOAJ. Au fost studiate standarde din biblioteca ASRO. S-au analizat brevete de invenție din biblioteca Google Patents.

2. În al doilea rând, a fost realizat un studiu comparativ al performanței protezelor de membru superior.

Contribuții de modelare-simulare

3. S-a proiectat un model standard de proteză parțială de mână. A fost folosit un program liber licențiat cu acces deschis la codul sursă. S-a atașat acestui model un tabel parametric complet. Tabelul permite regenerarea modelului geometric pentru adaptarea sa la nevoile diverse ale pacienților. Cu alte cuvinte, poate servi la generarea protezelor parțiale de membru superior. Acest demers este descris în capitolul 4.

4. Totodată, s-a discretizat și efectuat calculul numeric pentru determinarea tensiunilor apărute în dispozitivul solicitat la tracțiune, obținând valori de ordinul 0,0958MPa. S-a introdus în program și analizat structural dispozitivul pentru stabilirea sarcinii maxime de încărcare. Aceasta a returnat o sarcină maximă admisibilă estimată de 12 N de încărcare. Pe baza analizei la oboseală efectuate putem vedea ciclul maxim de viață setat la ~ 45000 cicluri. Putem estima din aceasta o durată de viață de 1 an fără fisuri și 5 ani cu întreținere periodică. Desfășurarea studiilor este ilustrată în capitolul 5 al lucrării. Ideea prezentată pentru un nou tip de protezare este originală, negăsind niciun studiu despre proteza parțială a membrilor superioare umane cu acționare atât externă, cât și corporală. O proteză alimentată electric poate fi mai utilă decât un dispozitiv protetic acționat corporal, dar atunci când bateria este epuizată, avantajul utilității se echilibrează înapoi la un dispozitiv cu acționare corporală. Deci, un dispozitiv combinat electric și acționat și corporal este ideal.

Contribuții metodologice

5. O altă contribuție, prezentată în capitolul 6, este realizarea unei metodologii de proiectare bazată pe DFMA. În lucrul cu subprogramul DFM, s-au observat anumite curențe cu privire la faptul că nu dispune de modul pentru analiza cheltuielilor de fabricație pentru imprimarea 3D, fapt pentru care a fost realizat un program în Microsoft Excel pentru a compensa această lipsă de funcționalitate. În implementarea procesului DFM pentru proteza de membru superior s-a redus numărul de piese cu 27, numărul de operațiuni și cheltuielile cu asamblarea au scăzut cu 10% prin îmbinarea elementelor manșetă și suport motor. Acest lucru se poate considera o soluție inovativă de proiectare având ca rezultat direct scăderea costurilor. Prin folosirea metodologiei DFM s-au comparat cheltuielile ce derivă din producerea protezei de membru superior în cazul mai multor procese industriale de fabricație. A fost îmbunătățită funcționalitatea metodologică, programul DFMA neavând un algoritm de

calcul al cheltuielilor cu fabricația. S-a implementat un calcul tabelar pentru a reuși să realizez comparația cheltuielilor între diferitele procese industriale.

Contribuții experimentale

6. Următoarea contribuție este elaborarea unor algoritmi pentru îmbunătățirea sistemului proprioceptiv la persoanele cu lipsa membrilor superioare. Procesul descris în capitolul 7 cuprinde realizarea unui model virtual de mână, optimizarea topologică a acestuia, alcătuirea unui sistem care să permită interacțiunea pacientului cu modelul virtual printr-o interfață om-mașină și descrierea funcționării acestora.

7. O altă contribuție constă în realizarea unui sistem de proiectare și fabricație automată a unei proteze. Procesul descris în capitolul 8, a permis dezvoltarea unor algoritmi capabili să realizeze un model fizic pornind de la date de intrare oferite de un tehnician-operator.

8. Nu în ultimul rând, s-a realizat un studiu cu matrice multicriterială de decizie din care a rezultat materialul optim pentru imprimarea protezei ca fiind PLA. Acest proces este descris în capitolul 9 al lucrării.

9. În plus, s-a realizat fabricarea prin adăuție și montat un prototip de model protetic ce prezintă unele propuneri inexistente la modelele actuale. Sistemul de blocare al poziției este unul dintre sistemele care nu sunt prezente la multe dintre variantele actuale de proteze fabricate FDM de tranziție. Sistemul de pretensiune este mutat de la nivelul manșetei la nivelul subansamblului deget, lucru de asemenea original. În același timp posibilitatea de acționare fie mecanică, fie electrică prin implementarea unui sistem hibrid este ceva original nemaigăsind astfel de proiecte în literatura de specialitate. Dispozitivul folosește elemente 3D printate și elemente de asamblare, etanșare și de transmisie mecanică standardizate, ceea ce a determinat obținerea unui prototip la un cost redus. În capitolul 10 s-a exemplificat calculul cheltuielilor cu tehnologia de fabricație și costul final al prototipului.

10. Mai mult, a fost realizat un studiu menit să testeze nivelul de acceptare al prototipului în rândul oamenilor, atât din punct de vedere al folosirii personale, cât și din punctul de vedere al interacțiunii cu cineva care folosește acest dispozitiv.

11. S-au determinat experimental valorile intensităților curenților în timpul funcționării prototipului. S-a continuat cu ridicarea curbelor de curent pentru poziționarea protezei în modurile în care ar urma să fie folosită. A fost stabilită intensitatea maximă a curentului din circuit.

Contribuții la diseminarea rezultatelor cercetării

12. În final, s-au diseminat rezultatele cercetărilor astfel coroborate concretizate în articole științifice susținute în cadrul unor manifestări științifice internaționale și publicate în volumele unor reviste științifice apreciate la nivel internațional.

Cercetări ulterioare și perspective

În vederea obținerii unei imagini cât mai clare asupra domeniului, este necesară o documentare mai amplă. Astfel studiul stadiului actual prin consultarea revistelor științifice și participarea la conferințe științifice din domeniu vor constitui paliere pentru cercetări ulterioare. Extinderea căutărilor în baze de date ale publicațiilor Nature și Science pot

constitui un punct de pornire. Efectuarea de deplasări de documentare în cadrul unor laboratoare de renume internațional în domeniu, poate fi de asemenea o variantă.

Modelarea parametrică a unui model de proteză generic poate fi îmbunătățită. În acest sens se poate urmări utilizarea design-ului generativ și obținerea unor forme ergonomice care să îndeplinească nevoile pacienților. Aceasta presupune studierea unor programe și metodologii avansate de proiectare precum modelarea liberă și bazată pe curbe oferită de programul Rhinoceros 3D.

În sensul îmbunătățirii analizei structurale se intenționează considerarea unor studii de simulare cinematică și îmbunătățirea mecanismelor din componența dispozitivului. Aceste simulări integrate pot oferi posibilitatea unei analize mai ample a proiectului. În vederea obținerii de noi modele geometrice se poate porni de la o simulare amplă cu mai multe nivele de studii.

Funcționalitatea subprogramului DFM poate fi îmbunătățită și din punct de vedere al normelor de proiectare. Subprogramul DFMPRO disponibil pentru Solidworks permite pe lângă atenționarea încălcării normelor de proiectare, lucru făcut și de DFMA, indicarea normelor anume cu posibilitatea de refacere a modelului parametric și reanaliză pentru un anumit proces de fabricație. Această capacitate va permite o mai bună sincronizare între concept și varianta fabricată.

Sistemele proprioceptive pot influența decizia unui pacient de a folosi o proteză. Astfel prin studierea și îmbunătățirea algoritmilor ce stau la baza aplicațiilor de reeducare a acestora constituie un palier de cercetare ulterioară important. Totodată, senzorii EMG și sistemele electronice de detectare a intențiilor de mișcare pot fi îmbunătățite, astfel având o aparatură mai performantă și experiența în lucru cu protezele poate fi mai bună.

Algoritmii de proiectare și fabricare automată a protezelor pot fi considerați un palier ce trebuie dezvoltat pentru a îmbunătăți realizarea practică a acestor proteze, pornind de la o interfață grafică mai bună, o bază de cod ce poate fi îmbunătățită și integrarea cu mașinile de lucru din cabinetele viitorilor beneficiari ai acestui sistem.

Dezvoltarea unor chestionare care să releve părerea oamenilor despre proteze ar duce la un design mai bun menit să mărească gradul de acceptare al protezelor. O echipă multidisciplinară și un studiu mai amplu al literaturii ar putea conduce la rezultate bune în acest sens pe viitor.

Selecția materialelor de fabricație pentru proteze poate fi lărgită cu materiale noi. Iar modul de selecție poate include mai multe criterii de clasificare a materialelor. Astfel, în acest sens, se poate continua o cercetare în vederea alegerii materialelor, a îmbinării mai multor materiale, a extinderii la mai multe procese de fabricație pentru îmbunătățirea performanțelor protezelor cu cost redus.

În privința evaluării experimentale, mai multe seturi de teste sunt necesare pentru a aduce prototipul la nivelul la care să poată fi folosit de către pacienți. Accesul la aparatură mai performantă de fabricație, dar și un studiu profund asupra posibilităților de îmbunătățire a dispozitivului, vor permite în viitor îmbunătățirea dispozitivului protetic propus.

Listă de lucrări științifice publicate

Lucrări din domeniul studiilor doctorale

1. **Răduică F.-F.**, Simion I., Ioniță E., 2021, *A Study on Parametric Design of Line Tendon Based Prosthetic Finger Using Programming Techniques*, Journal of Industrial Design and Engineering Graphics, ICV 96.6, vol. 16, nr. 2, pag. 4-10, Online ISSN 2344-4681, tip document: Articol Jurnal, <http://www.sorging.ro/jideg/index.php/jideg/article/view/251/246>
2. **Răduică F.-F.**, Simion I., 2023, *Design For Manufacturing And Assembly Of A Finger Subassembly For A Prosthetic Device*, UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering, CiteScore 0.5, vol. 85, nr. 3, pag. 205–218, ISSN 1454-2358, tip document: Articol Jurnal, https://www.scientificbulletin.upb.ro/rev_docs_arhiva/fullce7_543303.pdf;
3. **Răduică F.-F.**, Simion I., 2023, *The Design Of An Upper-Limb Prosthetic Finger Using Algorithms For Full Customization*, prezentat la International Conference-Modern Technologies in Industrial Engineering ModTech 2023 și publicat în International Journal of Modern Manufacturing Technologies IJMMT, CiteScore 0.7, vol. 15, nr. 3, pag. 147-154 , ISSN 2067-3604, tip document: Articol Conferință, https://ijmmt.ro/download-paper/vol15no32023/16_Raduica%20Florin-Felix.pdf;
4. **Răduică F.-F.**, Simion I., Rugescu A. M. M., Enache I. C., Ioniță E., 2024, *Aesthetic Appeal of Robotic Limb Interactions and Effects on Design and Function*, prezentat la 9th International Conference on Engineering Graphics and Design ICEGD 2024 și publicat în Journal of Industrial Design and Engineering Graphics, vol. 19, nr. 1, pag. 181-190, Online ISSN 2344-4681, tip document: Articol Conferință, <http://sorging.ro/jideg/index.php/jideg/article/view/351/329>;
5. **Răduică F.-F.**, Simion I., Enache I. C., Chivu O. R., 2024, *Design Of Virtual Hand To Improve Proprioceptive Feedback For Upper-Limb Prosthetics Applications*, 2024, prezentat la 27th Innovative Manufacturing Engineering & Energy Conference IManEE2023 și publicat în ACTA TECHNICA NAPOCENSIS SERIES-APPLIED MATHEMATICS MECHANICS AND ENGINEERING, [IF]₂₀₂₃ = 0.1, Q4, vol. 67, nr. special 2, ISSN 1221-5872L, tip document: Articol Conferință; -în curs de publicare
6. Naddeo A., **Răduică F.-F.**, Simion I., Enache I. C., Valter N. E., 2024, *A perspective on rehabilitation through open-source low-cost 3D printed distal to the wrist joint transitional prosthetics. Towards autonomous hybrid devices*, Heliyon Cell Press, IF 3.4, Q1, vol., Nr., Online ISSN 2405-8440, tip document: Articol Jurnal, -în curs de publicare
7. **Răduică F.-F.**, Simion I., 2024, *Development of a Low-Cost 3D-Printed Upper Limb Prosthetic Device with Hybrid Actuation for Partial Hand Amputees*, MDPI Applied Sciences, DOI: 10.3390/app14198929, WOS: , [IF]₂₀₂₃ = 2,5, Q1, vol. 14, nr. 19, pag. 8929, EISSN 2076-3417, tip document: Articol Jurnal, <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/19/8929>.

Lucrări științifice publicare din domenii conexe

1. Enache I.C., Valter N., **Răduică F.-F.**, Chivu O., 2024, *Integrating Artificial Intelligence Into The Photographic Design Process*, prezentat la 9th International Conference on Engineering Graphics and Design ICEGD 2024 și publicat în Journal of Industrial Design and Engineering Graphics, vol. 19, nr. 1, pag. 143-148, Online ISSN 2344-4681, tip document: Articol Conferință, <http://www.sorging.ro/jideg/index.php/jideg/article/view/344/322>;
2. Enache I.C., Chivu O. R., Petre G, **Răduică F.-F.**, 2023, *Study on the Ecological Solutions For Sustainable Aviation*, Annals of 'Constantin Brancusi' University of Targu-Jiu. Engineering Series, nr. 3, pag. 25-33, Online ISSN 2537-530X, tip document: Articol Jurnal, https://www.utgjiu.ro/rev_ing/pdf/2023-3/03_i,%20c.%20enache,%20o.%20r.%20chivu,%20g.%20petre,%20f.%20raduica_study%20on%20the%20ecological%20solutions%20for%20sustainable%20aviation.pdf;
3. Enache I.C., Chivu O. R., Catana R.-T., **Răduică F.-F.**, 2023, *An analysis of the environmentally friendly furniture used in airports*, Journal of Research & Innovation for

Sustainable Society, vol. 5, nr. 2, pag. 35-44, ISSN: 2668-0416, tip document: Articol Jurnal, <https://jriss.4ader.ro/wp-content/uploads/2024/02/05.-Ioana-Catalina-Enache-Oana-Roxana-Chivu-Catana-Roxana-Teodora-An-analysis-of-the-environmentally-friendly-furniture-used-in-airports.pdf>;

4. Androniceanu A., Enache I.C., Valter E.-N., **Răduică F.-F.**, 2023, *Increasing energy efficiency based on the kaizen approach*, MDPI, Energies, DOI: 10.3390/en16041930, WOS:000939179400001, [IF]₂₀₂₃ = 3, Q3, vol. 16, nr. 4, pag. 1930, EISSN 1996-1073, tip document: Articol Jurnal, <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/4/1930>

5. Enache I.C., Barosan A., **Răduică F.-F.**, 2023, *The role of animations in the teaching-learning process*, prezentat la 13th International Conference on Education and New Learning Technologies și publicat în EDULEARN21 Proceedings, pag. 1944-1949, ISBN: 978-84-09-31267-2, ISSN: 2340-1117, DOI: 10.21125/edulearn.2021.0446 tip document: Articol Conferință, <https://library.iated.org/view/ENACHE2021ROL>;

6. Enache I.C., Barosan A., **Răduică F.-F.**, Dinca V. R., 2021, *Animation Used As Didactic Method Of Teaching-Learning*, prezentat la 17th International Scientific Conference "eLearning and Software for Education" și publicat în eLearning & Software for Education, 2021, vol. 1, pag. 139-146, DOI: 10.12753/2066-026X-21-018, tip document: Articol Conferință,

<https://proceedings.elseconference.eu/index.php?r=site/index&year=2021&index=papers&vol=38&paper=cdcaed543830716642d59a981453620d>;

7. Rugescu A. M. M., Simion I., **Răduică F.-F.**, Enache I. C., 2021, *How to access aesthetics for an educational project in aerospace engineering*, prezentat la 13th International Conference on Education and New Learning Technologies și publicat în EDULEARN21 Proceedings, pag. 8188-8194, ISBN: 978-84-09-31267-2, ISSN: 2340-1117, DOI: 10.21125/edulearn.2021.1655 tip document: Articol Conferință, <https://library.iated.org/view/RUGESCU2021HOW>;

8. **Răduică F.-F.**, Simion I, Enache I. C., Rugescu A. M. M., Răduică A.-M., 2020, *Research on Improving Energy Efficiency through Small-Scale Wind Turbine Integrated Structures*, prezentat la 7th International Conference on Innovation in Science and Technology și publicat în Proceedings of 7th ISTCONF, pag. 11-22, ISBN: 978-609-485-070-7, tip document: Articol Conferință, <https://www.dpublication.com/wp-content/uploads/2020/09/121-03.pdf>;

9. Rugescu A. M. M., **Răduică F.-F.**, Simion I., 2020, *When Aesthetics Meets Industrial Design (I), Embracing Cultural Approach and Appreciation Attributes to Industrial Design*, prezentat la 13th annual International Conference of Education, Research and Innovation și publicat în ICERI2020 Proceedings, pag. 520-525, ISBN: 978-84-09-24232-0, ISSN: 2340-1095, DOI: 10.21125/iceri.2020.0157, tip document: Articol Conferință, <https://library.iated.org/view/RUGESCU2020WHE>

10. **Răduică F.-F.**, Enache I. C., Simion I., Nicolau A. M., 2020, *Enhancing Educational Efforts By Implementing A Student centered Website For An Engineering Department*, prezentat la The 16th International Scientific Conference eLearning and Software for Education și publicat în The International Scientific Conference eLearning and Software for Education; Bucharest, Vol. 1, pag. 576-583, DOI:10.12753/2066-026X-20-075, tip document: Articol Conferință, <https://www.proquest.com/openview/e36a7390b01264291b650a8a01c0819a/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1876338>

11. Haraga G., **Răduică F.-F.**, Simion I., 2019, *B-Learning, the Best Way to Teach Ecodesign*, prezentat la 15th International Scientific Conference on eLearning and Software for Education (eLSE) - New Technologies and Redesigning Learning Spaces și publicat în eLearning & Software for Education, vol. 2, pag. 237-244, ISSN 2066-026X, DOI

- 10.12753/2066-026X-19-103, WOS:000473324400034, tip document: Articol Conferință, <https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Agcd%3A2%3A1274626/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Ascholar&id=ebsco%3Agcd%3A135939706&crl=c>
12. **Răduică F.-F.**, Enache I. C., Simion I., 2019, *Effective ways of managing Websites for academic institutions*, prezentat la 17th ICTEL 2019 – International Conference on Teaching, Education & Learning și publicat în PEOPLE: International Journal of Social Sciences, vol. 5, nr. 3, pag. 206-214, ISSN 2454-5899, DOI 10.20319/pjss.2019.53.206214, tip document: Articol Conferință, <https://grdspublishing.org/index.php/people/article/view/1215/1155>
13. **Răduică F.-F.**, Simion I., 2017, *Improving Structural Integrity of Wind Turbine in Extreme Conditions with the Help of Telecom Networks*, Journal of Industrial Design and Engineering Graphics, ICV , vol. 12, nr. 2, pag. 9-12, Online ISSN 2344-4681, tip document: Articol Jurnal, <http://sorging.ro/jideg/index.php/jideg/article/view/104/104>;
14. **Răduică F.-F.**, Rugescu A. M. M., *Developing 3D Awareness when Teaching Technical Drafting*, prezentat la 7th International Conference on Engineering Graphics and Design și publicat în Journal of Industrial Design and Engineering Graphics, ICV , vol. 12, nr. 1, pag. 237-240, Online ISSN 2344-4681, tip document: Articol Conferință, <http://sorging.ro/jideg/index.php/jideg/article/view/183/179>
15. **Răduică F.-F.**, Simion I., 2017, *Design Modelling and Analysis of a Wind Turbine Blade Support System*, prezentat la 7th International Conference on Engineering Graphics and Design și publicat în Journal of Industrial Design and Engineering Graphics, ICV , vol. 12, nr. 1, pag. 209-211, Online ISSN 2344-4681, tip document: Articol Conferință, <http://sorging.ro/jideg/index.php/jideg/article/view/177/173>;
16. **Răduică F.-F.**, 2016, *The Design of a Modular Wind Turbine Meant for Houses and Office Buildings*, Journal of Industrial Design and Engineering Graphics, ICV , vol. 11, nr. 2, pag. 22-27, Online ISSN 2344-4681, tip document: Articol Jurnal, <http://www.sorging.ro/jideg/index.php/jideg/article/view/191/187>.

Participări la conferințe internaționale

1. **Răduică F.-F.**, Simion I., 2023, *The Design Of An Upper-Limb Prosthetic Finger Using Algorithms For Full Customization*, prezentat la International Conference-Modern Technologies in Industrial Engineering ModTech 2023 și publicat în International Journal of Modern Manufacturing Technologies IJMMT, CiteScore 0.7, vol. 15, nr. 3, pag. 147-154 , ISSN 2067-3604, tip document: Articol Conferință, https://ijmmt.ro/download-paper/vol15no32023/16_Raduica%20Florin-Felix.pdf;
2. **Răduică F.-F.**, Simion I., Rugescu A. M. M., Enache I. C., Ioniță E., 2024, *Aesthetic Appeal of Robotic Limb Interactions and Effects on Design and Function*, prezentat la 9th International Conference on Engineering Graphics and Design ICEGD 2024 și publicat în Journal of Industrial Design and Engineering Graphics, vol. 19, nr. 1, pag. 181-190, Online ISSN 2344-4681, tip document: Articol Conferință, <http://sorging.ro/jideg/index.php/jideg/article/view/351/329>;
3. **Răduică F.-F.**, Simion I., Enache I. C., Chivu O. R., 2024, *Design Of Virtual Hand To Improve Proprioceptive Feedback For Upper-Limb Prosthetics Applications*, 2024, prezentat la 27th Innovative Manufacturing Engineering & Energy Conference IManEE2023 și publicat în n ACTA TECHNICA NAPOCENSIS SERIES-APPLIED MATHEMATICS MECHANICS AND ENGINEERING, [IF]₂₀₂₃ = 0.1, Q4, vol. 67, nr. special 2, ISSN 1221-5872L, tip document: Articol Conferință;

Participare la contracte de cercetare și dezvoltare

1. Enache I.-C., **Răduică F.-F.**, Simion I., Ioniță E., Geambașu G. G., 2024, ARUT
2. Simion I., **Răduică F.-F.**, Studiu privind designul logo-ului si identității vizuale, AE 2022,

3. Simion I., **Răduică F.-F.**, Studiu privind sistemele de orientare a panourilor fotovoltaice, CAMP 2022.

Bibliografie selectivă

- [1] P. Capsi-Morales, M. G. Catalano, G. Grioli, L. Schiavon, E. Fiaschi, și A. Bicchi, „Adaptable Poly-Articulated Bionic Hands Enhance Both Performance and User’s Perception in Bilateral Amputation: A Case Study”, *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng. Publ. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.*, vol. 30, pp. 2437–2445, 2022, doi: 10.1109/TNSRE.2022.3200308.
- [2] D. Latour, „Advances in Upper Extremity Prosthetic Technology: Rehabilitation and the Interprofessional Team”, *Curr. Phys. Med. Rehabil. Rep.*, vol. 10, nr. 2, pp. 71–76, 2022, doi: 10.1007/s40141-022-00342-x.
- [3] C. Nayak, A. Singh, și H. Chaudhary, „Topology optimisation of transtibial prosthesis socket using finite element analysis”, *Int. J. Biomed. Eng. Technol.*, iul. 2017.
- [4] S. Hällgren, L. Pejryd, și J. Ekengren, „(Re)Design for Additive Manufacturing”, în *Procedia CIRP*, în 26th CIRP Design Conference, vol. 50. ian. 2016, pp. 246–251. doi: 10.1016/j.procir.2016.04.150.
- [5] S. Sansoni, A. Wodehouse, A. McFadyen, și A. Buis, „The Aesthetic Appeal of Prosthetic Limbs and the Uncanny Valley: The Role of Personal Characteristics in Attraction”, *Int. J. Des.*, vol. 9, pp. 67–81, apr. 2015.
- [6] F.-F. Raduica, I. Simion, și E. Ionita, „A STUDY ON PARAMETRIC DESIGN OF LINE TENDON BASED PROSTHETIC FINGER USING PROGRAMMING TECHNIQUES”, *J. Ind. Des. Eng. Graph.*, vol. 16, nr. 2, Art. nr. 2, dec. 2021.
- [7] M. Eryildiz, „Effect of Build Orientation on Mechanical Behaviour and Build Time of FDM 3D-Printed PLA Parts: An Experimental Investigation”, *Eur. Mech. Sci.*, vol. 5, nr. 3, Art. nr. 3, sep. 2021, doi: 10.26701/ems.881254.
- [8] K. C. Bingham, M. Hessler, S. Lama, și T. Deemyad, „Design and Implementation of a Compliant Gripper for Form Closure of Diverse Objects”, *Appl. Sci.*, vol. 13, nr. 17, Art. nr. 17, ian. 2023, doi: 10.3390/app13179677.
- [9] Y. P. Shaik, J. Schuster, A. Shaik, M. Mohammed, și H. R. Katherapalli, „Effect of Autoclave Pressure and Temperature on Consolidation of Layers and Mechanical Properties of Additively Manufactured (FDM) Products with PLA”, *J. Manuf. Mater. Process.*, vol. 5, nr. 4, Art. nr. 4, dec. 2021, doi: 10.3390/jmmp5040114.
- [10] M. Jimenez-Martinez, J. Varela-Soriano, R. Carrera-Espinoza, S. G. Torres-Cedillo, și J. Cortés-Pérez, „Enhancement of Fatigue Life of Polylactic Acid Components through Post-Printing Heat Treatment”, *Designs*, vol. 8, nr. 1, Art. nr. 1, feb. 2024, doi: 10.3390/designs8010007.
- [11] B. Moreno-Núñez, C. Treviño-Quintanilla, J. C. Espinoza-García, E. Uribe-Lam, și E. Cuan-Urquizo, „Effect of Printing Parameters on the Internal Geometry of Products Manufactured by Fused Filament Fabrication (FFF)”, în *Proceedings of the 34th Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium – An Additive Manufacturing Conference*, 2023.
- [12] V. Sangiorgio, F. Parisi, F. Fieni, și N. Parisi, „The New Boundaries of 3D-Printed Clay Bricks Design: Printability of Complex Internal Geometries”, *Sustainability*, vol. 14, nr. 2, Art. nr. 2, ian. 2022, doi: 10.3390/su14020598.
- [13] S. Ganeshkumar *et al.*, „Investigation of Tensile Properties of Different Infill Pattern Structures of 3D-Printed PLA Polymers: Analysis and Validation Using Finite Element Analysis in ANSYS”, *Materials*, vol. 15, nr. 15, Art. nr. 15, ian. 2022, doi: 10.3390/ma15155142.

- [14] D. Rybansky *et al.*, „Design and Behavior of Lightweight Flexible Structure with Spatial Pattern Reducing Contact Surface Fraction”, *Polymers*, vol. 15, nr. 19, Art. nr. 19, ian. 2023, doi: 10.3390/polym15193896.
- [15] A. Kantaros, E. Soulis, F. I. T. Petrescu, și T. Ganetsos, „Advanced Composite Materials Utilized in FDM/FFF 3D Printing Manufacturing Processes: The Case of Filled Filaments”, *Materials*, vol. 16, nr. 18, Art. nr. 18, ian. 2023, doi: 10.3390/ma16186210.
- [16] A. Hughes, „Assembling the Phoenix Unlimbited hand”, 2020.
- [17] J. Zuniga *et al.*, „Cyborg beast: a low-cost 3d-printed prosthetic hand for children with upper-limb differences”, *BMC Res. Notes*, vol. 8, nr. 1, p. 10, 2015, doi: 10.1186/s13104-015-0971-9.
- [18] J. Koprnický, P. Najman, și J. Šafka, „3D printed bionic prosthetic hands”, în *2017 IEEE International Workshop of Electronics, Control, Measurement, Signals and their Application to Mechatronics (ECMSM)*, mai 2017, pp. 1–6. doi: 10.1109/ECMSM.2017.7945898.
- [19] M.-Y. Lee *et al.*, „Functional improvement by body-powered 3D-printed prosthesis in patients with finger amputation: Two case reports”, *Medicine (Baltimore)*, vol. 101, nr. 25, p. e29182, iun. 2022, doi: 10.1097/MD.00000000000029182.
- [20] A. Villoslada, „Dextra hand assembly manual”. Data accesării: 26 decembrie 2022. [Online]. Disponibil la: <https://hackaday.io/project/9890-dextra>
- [21] OpenBionics, „Brunel hand Humanoid Robotic Hand datasheet”.
- [22] Naked Prosthetics, „Naked Prosthetics Technical Specifications”, 2022.
- [23] „Zeus-Manua Instructions Manual”, 2022. Data accesării: 19 iunie 2024. [Online]. Disponibil la: https://www.ortoped.ca/pdf/AB_Zeus-Manual_EN.pdf?_gl=1*1y7haki*_up*MQ..*_ga*NDU4MTU2MTE0LjE3MTg4MDEc2NjA.*_ga_R3CXGZG1X6*MTcxODgwNzY1Ny4xLjAuMTcxODgwNzY1Ny4wLjAuMA..
- [24] A. Mohammadi *et al.*, „A practical 3D-printed soft robotic prosthetic hand with multi-articulating capabilities”, *PLOS ONE*, vol. 15, nr. 5, p. e0232766, mai 2020, doi: 10.1371/journal.pone.0232766.
- [25] „Taska Specifications”.
- [26] „Nexus Covvi Technical Manual”.
- [27] OpenBionics, „Hero-Arm User Manual”. Data accesării: 19 iunie 2024. [Online]. Disponibil la: https://openbionics.com/wp-content/uploads/2019/01/d100161_03_Hero-Arm-User-Manual.pdf
- [28] S. Nikolai, „Mechanical design of affordable below-elbow prosthetic for kids”, 2022. Data accesării: 19 iunie 2024. [Online]. Disponibil la: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/751251/Semin_Nikolai.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- [29] Ottobock, „Bebionic technical specifications”.
- [30] N. Dechev, K. Knights, K. Arklie, M. Martindale, și M. Peirone, „ACCESSIBLE PROSTHETIC ARMS: VICTORIA HAND PROJECT AND THE IMPACT OF 3D PRINTING”, *Can. Prosthet. Orthot. J.*, vol. 6, nr. 2, Art. nr. 2, dec. 2023, doi: 10.33137/cpoj.v6i2.42142.