

## MODELAREA UNUI SISTEM BIOMECANIC PENTRU MEMBRUL SUPERIOR / MODELLING OF A BIOMECHANICAL SYSTEM FOR THE HUMAN ARM

VIZIRU (ILIESCU) Mihaiela, FRENȚ (RADU) Gabriela Corina și RĂUCEA Mihai  
Facultatea: IMST, Specializarea: MSSMM, Anul de studii: I, e-mail: iliescumihaiela7@gmail.com

Conducători științifici: Ș.l.dr.ing. **Ovidiu ANTONESCU**, Ș.l.dr.ing. **Ileana DUGĂEȘESCU**

*ABSTRACT: There are more than 60 years that has been carried on research on biomechanical system for the human arm. The purpose is to make an easier life for people who lack their arm. This study evidences main aspects related to: kinematic analysis of thumb; 3D modeling of the biomechanical system; hardware – software platform; FDM printing.*

*CUVINTE CHEIE: sistem biomecanic, membru superior, model cinematic, model fuzzy, printare 3D.*

### 1. Introducere

Termenii "biomecanică" (1899) - substantiv și, "biomecanic" (1856) – adjectiv, își au originea în cuvintele grecești: βίος, "viață", și μηχανική, "mecanică" și se referă la studiul principiilor mecanice ale organismelor vii, în particular, la mișcarea și structura acestora [1]. Biomecanica are o istorie lungă și complicată, începând cu perioada lui Aristotel și a primilor filosofi. Acești oameni au căutat să înțeleagă forțele motrice din spatele vieții și, ca atare, au studiat modul în care animalele se deplasează și cauza acestor mișcări [2]. Gânditorii Renașterii au dezvoltat cunoștințele, astfel că Leonardo da Vinci, în lucrările sale de anatomie și fiziologie, elaborează unele dintre primele modele matematice din biomecanică. Teoria mecanicistă descrie modul în care omul se mișcă pe baza unor părți izolate individuale și nu a unui întreg integrat [3]. Conceptul de pârghii este și va constitui elementul de bază al cercetării în biomecanică (vezi figura 1).

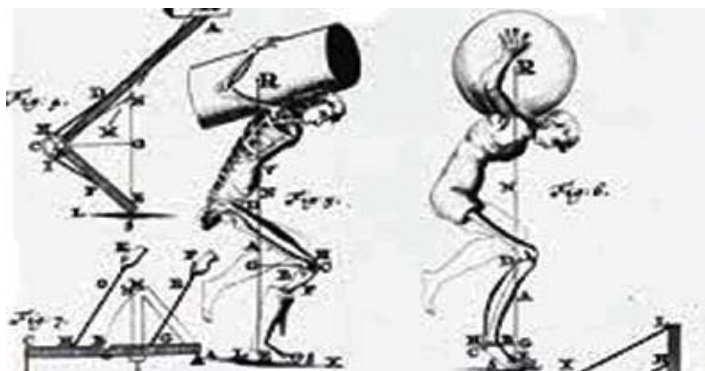


Fig. 1. Conceptul pârghiilor în biomecanică [3]

Biomecanica modernă are nenumărate avantaje față de perioada de pionierat. De exemplu, o înțelegere mai bună a impulsurilor nervoase a venit după inventarea EEG (test în care un computer monitorizează semnalele electrice care trec între celule). Progresele ulterioare în microbiologie și chimie au evidențiat structura microscopică internă a mușchilor. Noile progrese în biomecanică și biotehnologie permit tratamente noi cum ar fi implantarea de membre artificiale, sau transplant de organe [2]. În prezent, se pot produce organe prin printarea 3D a celulelor stem, iar aplicațiile și beneficiile biomecanicii se extind rapid (vezi figura 2).

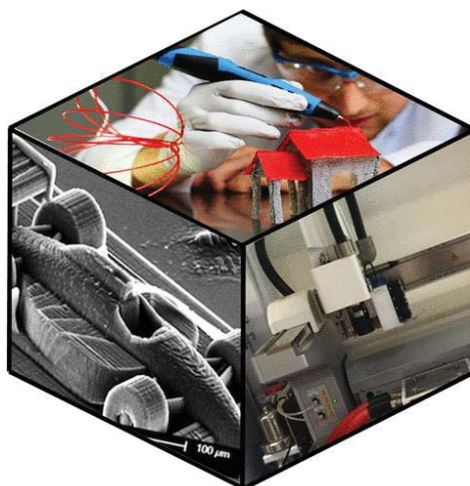


Fig. 2. Printare 3D și fabricarea aditivă individualizată [4]

Această lucrare prezintă aspecte ale cercetării și proiectării unui sistem biomecanic pentru membrul superior uman, mai exact, proteză bionică. Se intenționează ca aceasta să aibă masă redusă, precizie în mișcări, să fie ușor de acționat și, nu în ultimul rând, să implice costuri de fabricare și cheltuieli de întreținere, relativ, scăzute.

## 2. Stadiul actual

Din punct de vedere medical, se definește [5] proteza, ca fiind:

- înlocuirea unei părți lipsă, printr-un substituent artificial (ex. extremitate artificială);
- organ/parte artificială (ex. braț, palmă, articulație, valvă a inimii);
- dispozitiv care mărește performanțele sau funcțiile naturale (ex. dispozitiv auditiv)

Omul are un sentiment intuitiv referitor la poziția brațului și traiectoria acestuia – spre ce se îndreaptă și unde merge, în funcție de modul în care își simte mușchii și articulațiile. Acest simț al poziției corpului, cunoscut sub numele de kinestezie, s-a dovedit a fi dificil materializat în construcția brațelor protetice. În [6] se menționează faptul că s-a reușit crearea unui sentiment specific kinesteziei într-un braț protezat, prin transmiterea unor vibrații în pielea brațului și în umăr (vezi figura 3).

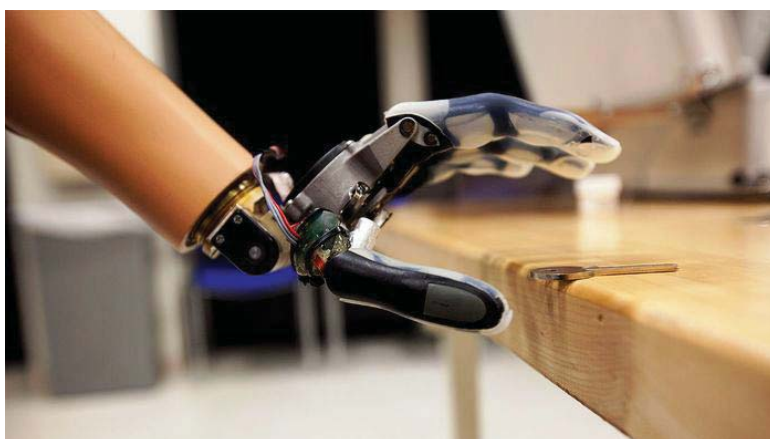


Fig. 3. Proteză mână bionică [6]

Mâna “RAPTOR” este proiectată astfel încât să permită o asamblare ușoară [7], fiind sub licența “Creative Commons-Attribution-Share Alike”. Fișierele asociate elementelor componente sunt accesibile online prin aplicația web e-NABLE’s. Accesând aplicația Handomatic, se generează fișierele STL, după

ce dimensiunile și/sau anumite elemente componente au fost modificate conform cu cerințele/nevoile utilizatorului. Câteva dintre modelele obținute prin printare 3D sunt prezentate în figura 4.

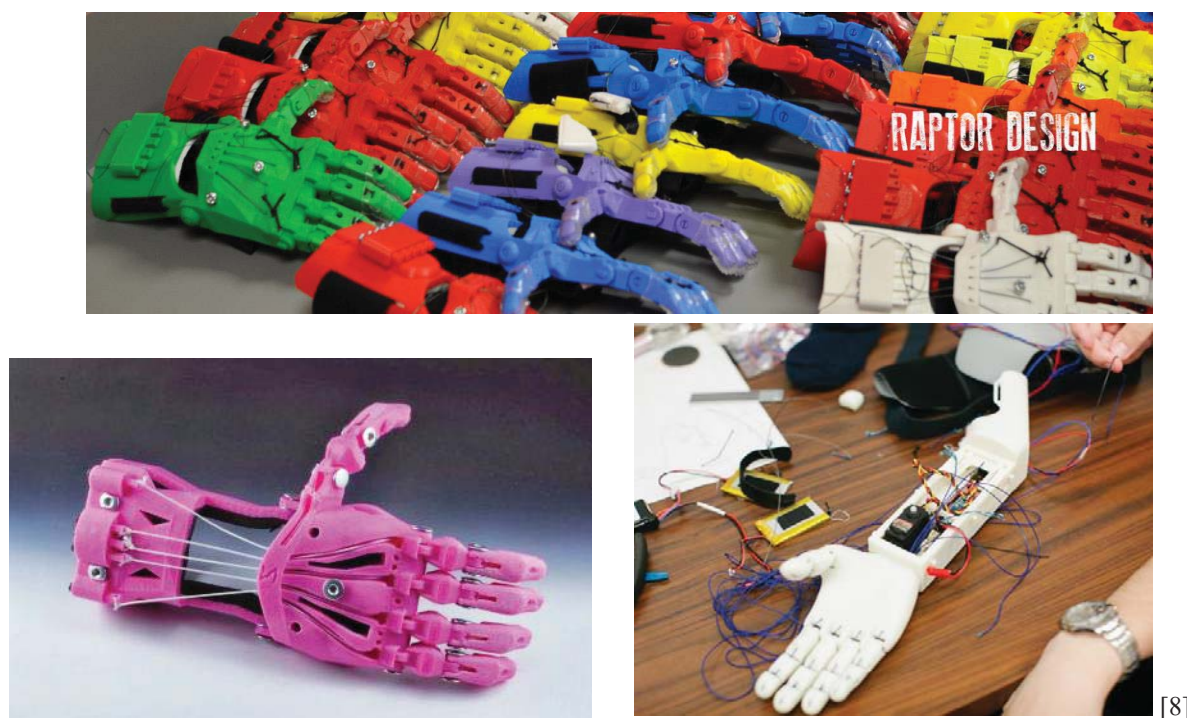


Fig. 4. Model 3D – prototip membru superior

### 3. Bazele analizei cinematice ale sistemului biomecanic pentru degetul mare

În limbaj formal, termenul *mână* se referă doar la porțiunea de la încheietură în jos, incluzând degetele, dar excluzând brațul și antebrațul. În anatomie termenii (substantivele) *mână*, *braț* și *membru superior* nu sunt sinonime. Colocvial însă, cei trei termeni sunt adesea interschimbabili [9]. Scheletul membrului superior liber este format din scheletul brațului (humerus), scheletul antebrațului (radius, ulna) și scheletul mâinii (oase carpiene, metacarpiene și falange) [10]. Sistemul osos al membrului superior uman este prezentat în figura 5.

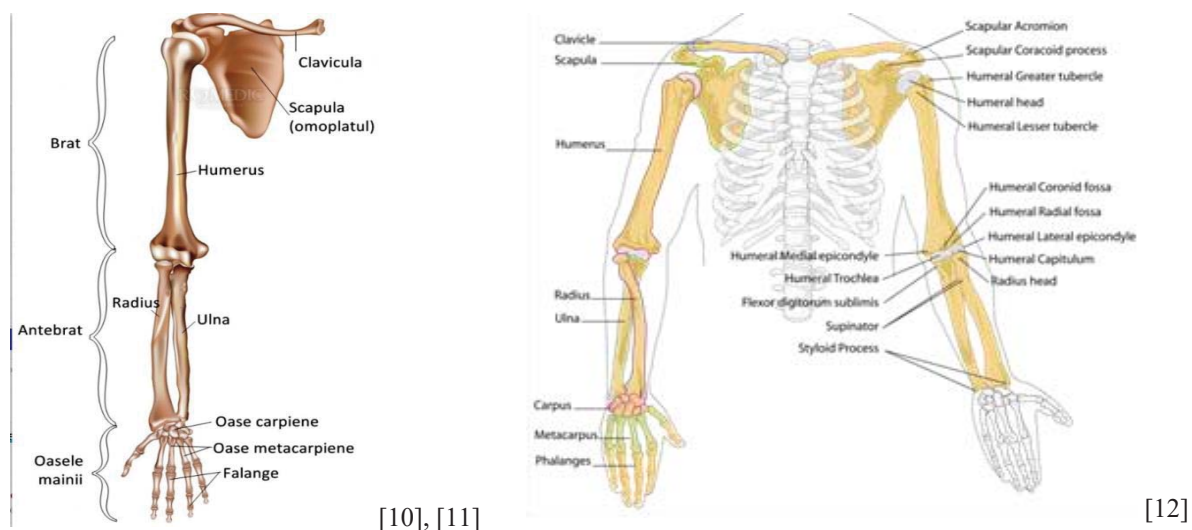
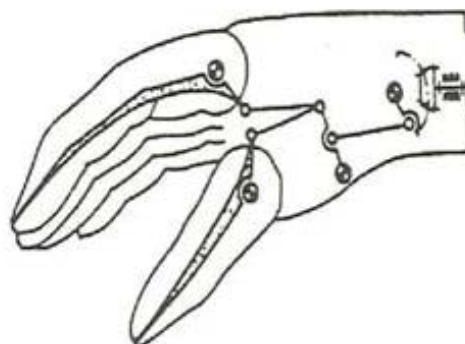


Fig. 5. Anatomie membru superior – sistemul osos

Având ca fundament elementele menționate anterior, o schemă cinematică de bază a sistemului de prindere – prin acționarea degetului mare și degetului arătător, este prezentată în figura 6 [13] fiind considerată utilă ca bază a acestei cercetări.



(Hufner, 1917)

Fig. 6. Schemă cinematică de bază a sistemului de prindere cu două degete [13]

Considerând schema cinematică de mai sus (Hufner, 1917), a fost realizată analiza cinematică a mișcării degetului mare (cu o falangă). Forma traiectoriei punctului superior (T), precum și viteza și accelerația asociate, s-au calculat și apoi s-au reprezentat grafic, utilizând software-ul Mathcad – versiune gratuită (vezi figura 7).

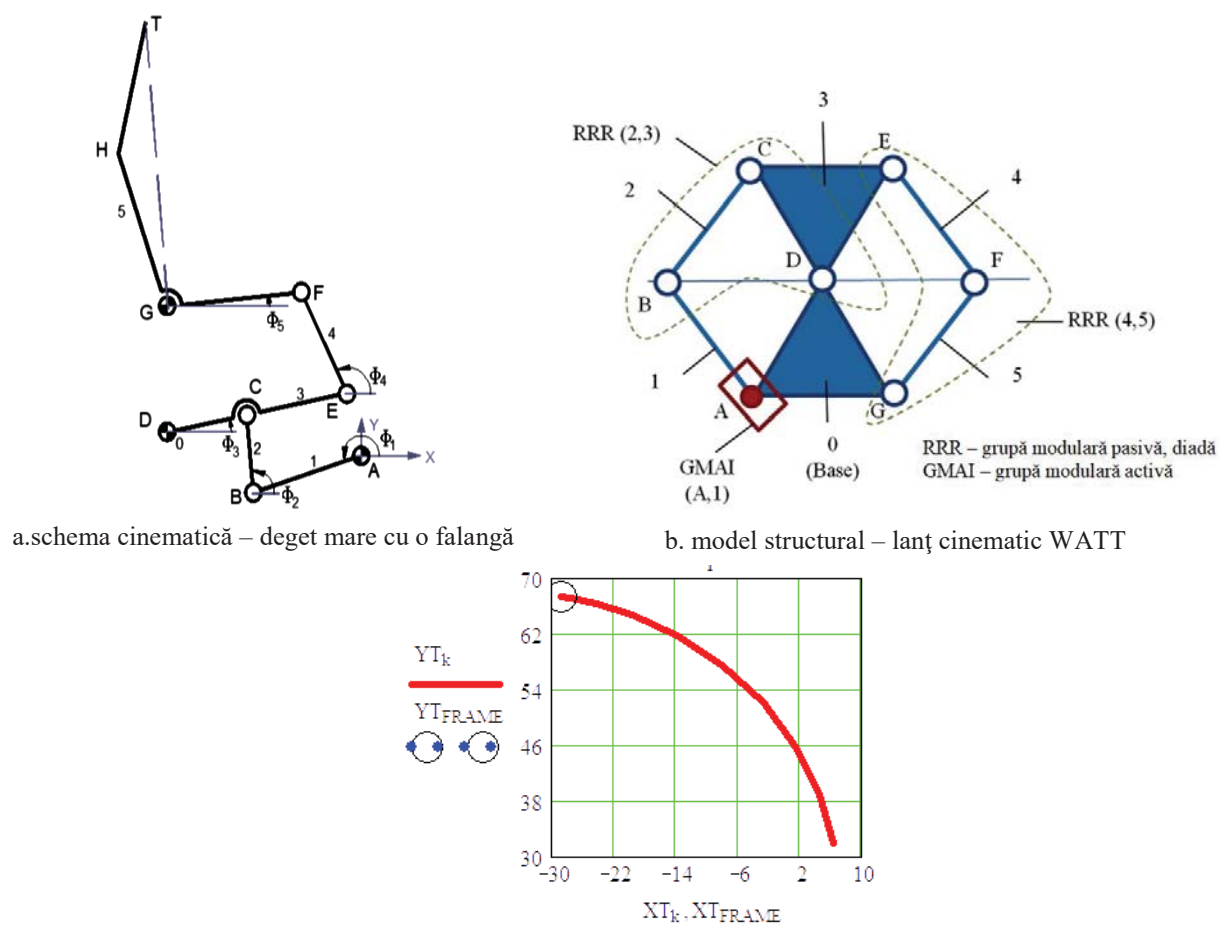


Fig. 7. Analiza cinematică pentru deget mare cu o falangă (model Hufner)

#### 4. Modelare sistem biomecanic pentru membru superior

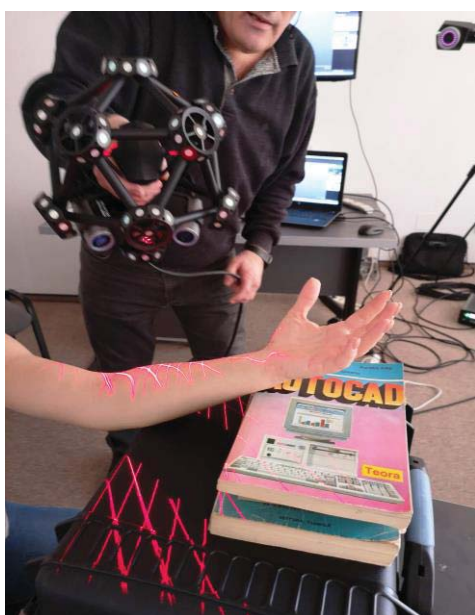
S-a realizat proiectarea preliminară a sistemului biomecanic pentru membrul superior, și anume: proteză pentru braț (montată pe bont), antebraț și mână.

Analiza cinematică a mișcărilor degetelor va fi continuată după ce va fi definitivată proiectarea tuturor elementelor componente. Alidarea sistemului se va face după imprimarea 3D și asamblarea componentelor mecanice; montarea senzorilor, actuatorilor și micro-motoarelor; configurarea și implementarea sistemului de comandă și control; testarea.

Modelul 3D a fost realizat pe baza dimensiunilor fizice ale membrului superior al persoanei fizice, obținut prin scanare laser (asistat de software-ul SolidWorks - versiune gratuită).

Caracteristicile acestui model sunt următoarele: fiecare deget are trei falange; patru, din cele cinci degete, are câte două mișcări de rotație independente, în jurul fiecărei axe OX și, respectiv, OZ; degetul mare (al cincilea) are numai mișcare de rotație, în jurul axei OX; antebrațul și mâna au, de asemenea, mișcări independente, ceea ce înseamnă rotații în jurul axelor OY și OZ.

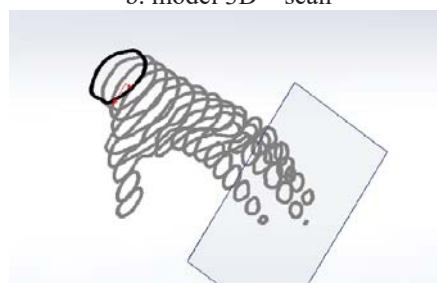
Imaginile modelului scanat și ale celui proiectat sunt prezentate în figura 8 și, respectiv, 9.



a. scanare 3D - cu laser



b. model 3D – scan

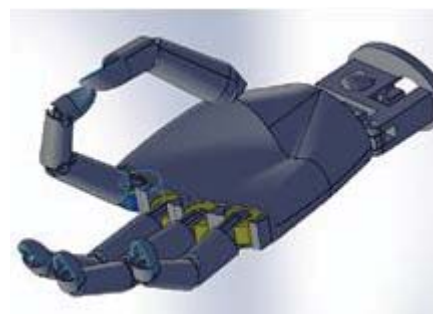


c. secționare (“slice”) – pentru determinare dimensiuni

Fig. 8. Scanare cu laser



model palmă – antebraț – braț



model palmă – simulare mișcări degete

Fig. 9. Model 3D – sistem biomecanic membru superior

Fiecare mișcare a componentelor sistemului biomecanic trebuie să aibă propria coordonare, realizată cu ajutorul mai multor tipuri de senzori, după cum urmează.

A. Senzorii EMG - sunt senzori care fac detecția potențialului electric al mușchilor. Acest semnal este preluat cu un electrod de suprafață, amplasat pe piele, perpendicular pe mușchi. Acest tip de senzor este folosit pentru coordonarea mișcării brațului și antebrățului.

B. Senzorii de măsurare a presiunii - sunt senzori potențiometrici, înglobați în sistemul falange. Aceștia, împreună cu actuatore și cabluri de tensiune, vor realiza funcția de strângere.

C. Senzorii de accelerare și girare - realizează funcția de poziționare a mâinii, antebrățului și brațului.

Platforma hardware-software care integrează tipurile, sus-menționate, de senzori are schema bloc evidențiată în figura 10.

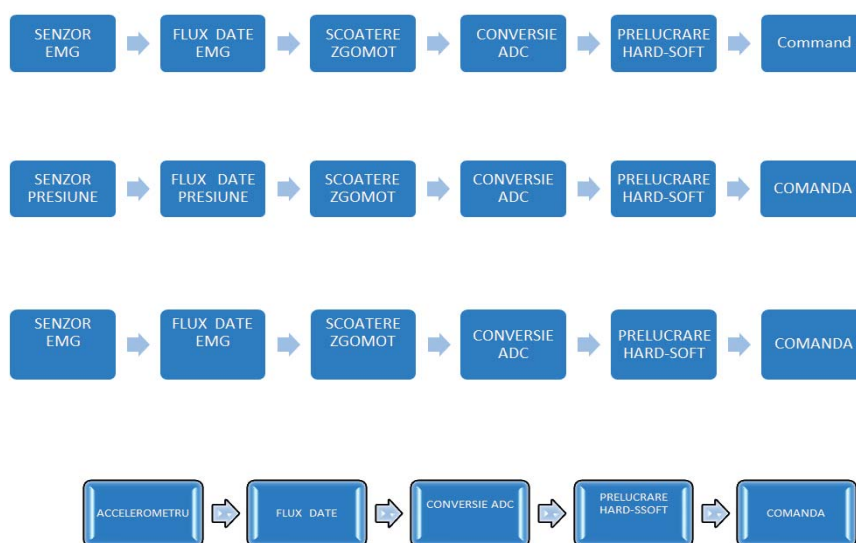


Fig. 10. Schema bloc a fluxurilor de date

## 5. Modelare fuzzy – comandă sistem biomecanic

Una dintre metodele studiate pentru realizarea controlului mișcării sistemului biomecanic este metoda fuzzy. Controlul mișcării de apropiere de un obiect, în vederea prinderii acestuia, a fost modelat, în MATLAB, aplicând logica Fuzzy. Variabilele de intrare considerate sunt: temperatura obiectului (ce trebuie prins),  $T$  [ $^{\circ}\text{C}$ ], și distanța,  $d$  [mm], până la acesta. Variabila de ieșire se consideră a fi accelerația mișcării de apropiere de obiect,  $a$  [mm/s<sup>2</sup>]. Exemplu ale modului de definire fuzzy este redat în figura 11.

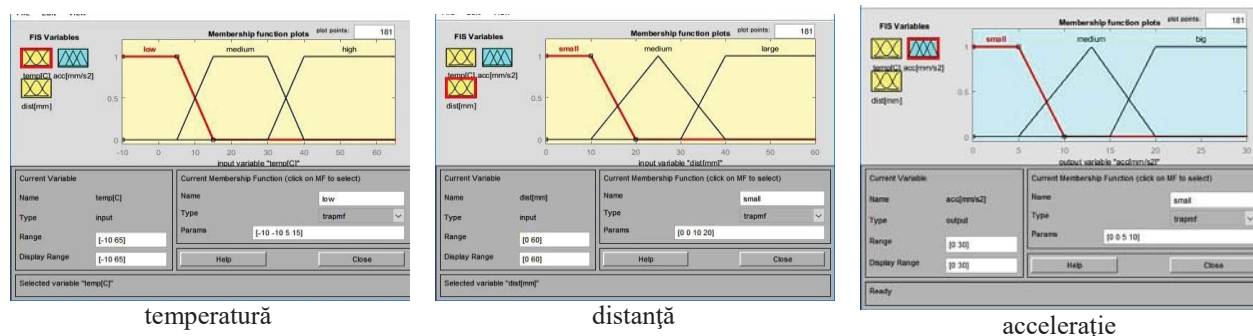


Fig. 11. Definiere variabile – logică fuzzy

Valorile mărimii de ieșire sunt prezentate în figura 12, pentru două dintre cazurile simulate.

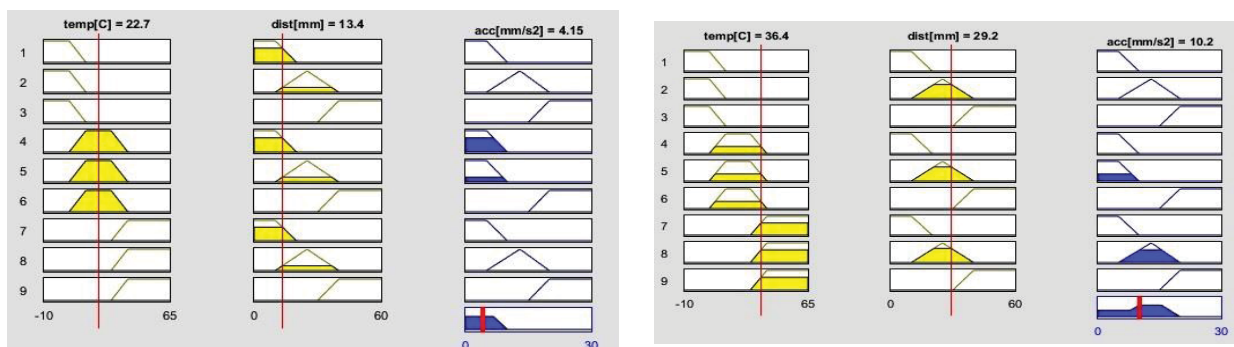


Fig. 12. Valori calculate ale mărimii de ieșire

## 6. Printare 3D – deget sistem biomecanic

În vederea realizării prototipului sistemului biomecanic pentru membrul superior, s-a realizat printarea 3D, prin tehnica FDM (Fused Deposition Modeling), a falangelor degetului arătător (vezi figura 13). Imprimarea s-a realizat pe echipament Creality ender 3-pro, materialul utilizat fiind PLA.

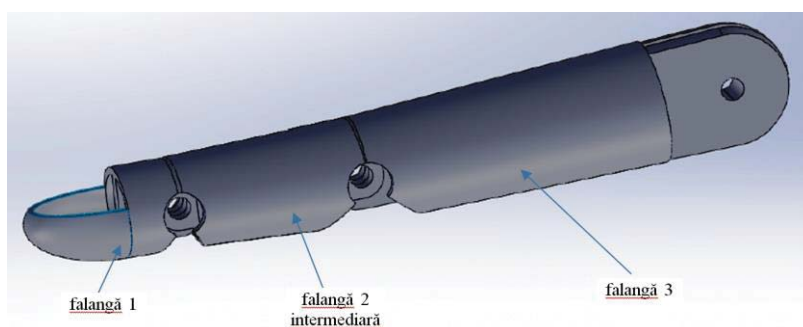


Fig. 13. Model 3D deget arătător

Simularea procesului de printare pentru falanga intermediară a degetului arătător, precum valorile parametrilor specifici procesului FDM sunt prezentate în figura 14.

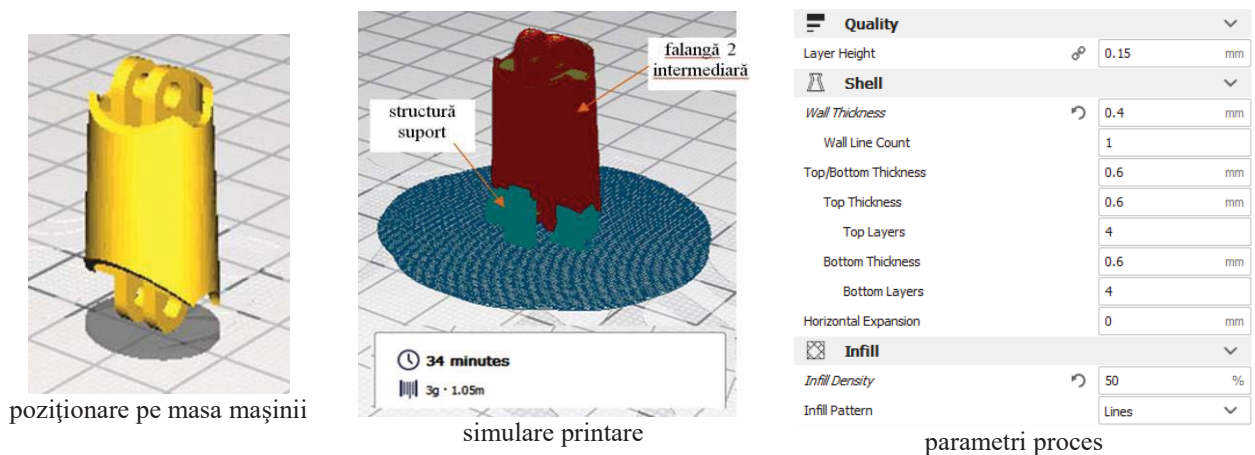


Fig. 14. Simulare proces FDM

Prototipul obținut, pentru falanga intermediară a degetului arătător este evidențiat în figura 15, iar prototipul întregului deget se remarcă în figura 16.

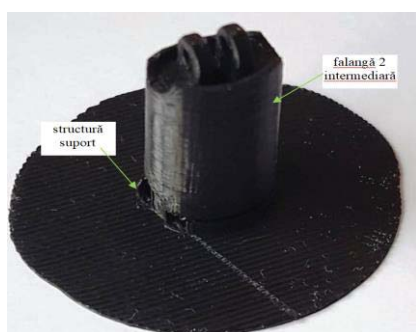


Fig. 15. Prototip falangă intermediară

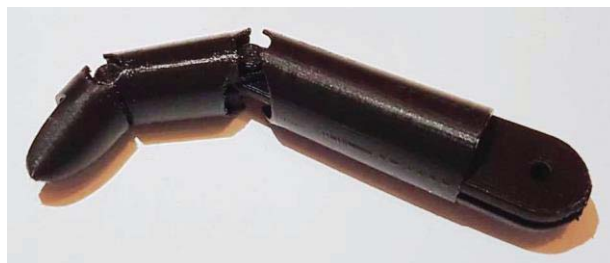


Fig. 16. Prototip deget arătător

## 7. Concluzii

Se prezintă aspecte ale cercetării și proiectării unui sistem biomecanic pentru membrul superior.

S-a realizat, în cadrul cercetării preliminare, analiza cinematică pentru degetul mare (model Hufner). S-a elaborat conceptul inovativ al sistemului biomecanic și s-au prezentat aspecte referitoare la: model 3D; platformă hard-software pentru mână bionică; modelare fuzzy în vederea optimizării mișcării; printare 3D – prin tehnica “Fused Deposition Modeling” (FDM).

Dezvoltarea ulterioară a cercetării va fi concentrată pe următoarele aspecte: definitivarea proiectului componentelor mecanice; identificarea și achiziționarea componentelor specifice sistemului de comandă și control pentru mișcări; realizarea întregului prototip; testarea și validarea acestuia.

## 8. Referințe bibliografice

- [1]. <https://en.wikipedia.org/wiki/Biomechanics>, accesat în 30 noiembrie, 2018;
- [2]. <https://biologydictionary.net/biomechanics/>, accesat în 30 noiembrie, 2018;
- [3]. <http://www.positivehealth.com/article/bodywork/the-changing-face-of-biomechanics>, accesat în 30 noiembrie, 2018;
- [4]. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.chemrev.7b00074>  
Samuel Clark Ligon Jr, Robert Liska, et al. (2017), “Polymers for 3D Printing and Customized Additive Manufacturing”, Chem. Rev., 2017, 117 (15), pp. 10212–10290, DOI: 10.1021/acs.chemrev.7b00074;
- [5]. <https://medical-dictionary.thefreedictionary.com/prosthesis>;
- [6]. Frankie Schembri (2018), “Prosthetic hands feel more real, thanks to some good vibrations“, Mar.14, <https://www.sciencemag.org/news/2018/03/prosthetic-hands-feel-more-real-thanks-some-good-vibrations>;
- [7]. <http://enablingthefuture.org/upper-limb-prosthetics/the-raptor-hand/>, accesat în 30 noiembrie, 2018;
- [8]. <https://ro.pinterest.com/pin/194288171410519370/>, accesat în 30 noiembrie, 2018;
- [9]. [https://ro.wikipedia.org/wiki/Membru\\_superior](https://ro.wikipedia.org/wiki/Membru_superior), accesat în 30 noiembrie, 2018;
- [10]. <http://www.salabucuresti.ro/articole/scheletul-membrului-superior-liber.html>, accesat în 30 noiembrie, 2018;
- [11]. <https://anatomie.romedic.ro/membrele-superioare>, accesat în 30 noiembrie, 2018;
- [12]. [https://ro.wikipedia.org/wiki/Membru\\_\(anatomie\)/File:Human\\_arm\\_bones\\_diagram.svg](https://ro.wikipedia.org/wiki/Membru_(anatomie)/File:Human_arm_bones_diagram.svg), accesat în 30 noiembrie, 2018;
- [13]. Starețu, I. (1996), *Gripping Systems*, Editor Lux Libris, Brașov, ISBN 973-96308-6-3