



Academia Oamenilor de Știință din România
„AOȘR-TEAMS-IV” EDIȚIA 2025-2026

**Fabricarea și testarea performanțelor
statice și dinamice ale unei mâini
protetice independente acționate prin
aliaje cu memoria formei**

Raport etapa 1

Directorul de proiect Conf.dr.ing.ec. Chitariu Dragoș-Florin

Drd. ing. Oancea Lucian

Asist. Univ. dr. ing. Bumbu Neculai- Eduard

Asist. Univ.dr.ing. Chiriac George-Gabriel

Iulie 2025

1. Titlu proiectului: Fabricarea și testarea performanțelor statice și dinamice ale unei mâini protetice independente acționate prin aliaje cu memoria formei

Domeniul științific 1. Educație, Cercetare, Inovare.

2. Cuvinte cheie

Proteză, acționare, simulare, aliaj cu memoria formei.

3. Obiective

Scopul proiectului este fabricarea unei proteze de membru superior acționate prin aliaje cu memoria formei care să permită reglarea poziției degetelor prin sisteme simplificate și o potrivire personalizată pe bontul pacientului și care să monitorizeze condiția pacientului și să se regleze în mod continuu, cu respectarea elementelor de securitate a pacientului specifice dispozitivelor medicale.

Această temă este organizată pe două obiective principale: i) fabricarea unor prototipuri ale protezei, ii) testare prototipului protezei pentru a stabili măsura în care proteză răspunde fidel la comenzi precum și testarea statică și dinamică pe standuri experimentale.

Pentru atingerea celor 2 obiective se va parcurge Planul de lucru și alocarea resurselor prezentat în tabel. Cele două obiective ale proiectului **conțin elemente de originalitate** prin aplicarea cărora se validează: *i.* un nou concept de **proteză autoadaptabilă în domeniul proteticii active**, *ii.* **conceperea unei metode noi digitale pentru determinarea cu precizie folosind metode de măsurare fără contact.**

Tabel 1. Extras din Planul de lucru și alocarea resurselor pentru anul 2025

E	Denumirea activității/ fazei	Persoane implicate	Lună start	Lună final
1.1.	Finaliza studiul stadiului actual privind construcția protezei – senzori/ actuatore/ comanda/ structura.	D.P., Drd, C.D.1,C.D.2.	1	2
1.2.	Reproiectarea constructiva a soluției propuse. Demarare procedură de achiziție componente și materiale necesare.	D.P., C.D.1/ C.D.2.	2	6
1.3.	Fabricarea componentelor protezei bionice autoadaptive. Montaj proteză și pregătire platformă soft.	D.P. Drd. C.D.1 C.D.2.	7	9
1.4.	Planificarea experimentelor folosind metoda Taguchi Montaj stand, pregătire echipamente măsurare.	D.P., C.D.1	10	12

4. Etapa 1.1. Finaliza studiul stadiului actual privind construcția protezei – senzori/ actuatore/ comanda/ structura

Protezele de mână sunt dispozitive artificiale concepute pentru a înlocui membrele lipsă. Știința și ingineria au încercat să egaleze funcțiile senzoriale și funcțiile motorii ale mâinii umane. Un astfel de interes larg provine din funcțiile importante pe care le îndeplinește mâna, care includ funcții motorii (apucare, ținere, împingere, tragere, lovire, manipularea etc.) și funcțiile senzoriale (explorarea activă

și pasivă a texturii suprafeței [1]. Majoritatea amputațiilor mâinii apar la bărbații ațți de muncă cel mai adesea ca urmare a unui accident de muncă sau ca victime suferite în timpul luptei [2].

Protezele de membru superior sunt clasificate în primul rând după funcționalitate, conform diagramei de idei din fig. 1.

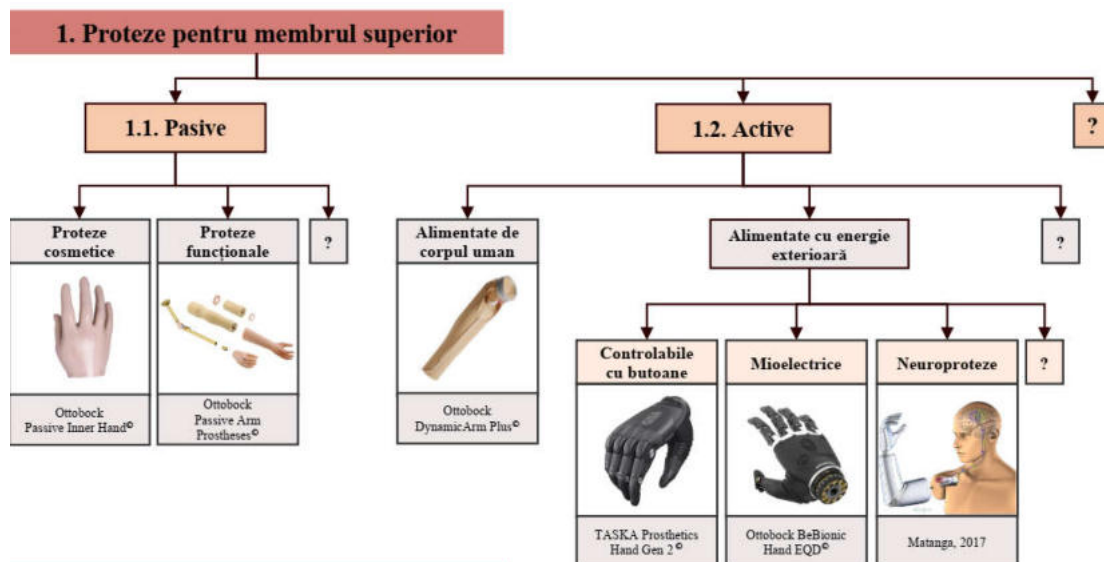


Fig. 1. Diagrama de idei a generațiilor tehnologice de proteze pentru membrele superioare

Proteza care face obiectul studiului din cadrul proiectului este de tip activ, alimentată cu energie exterioară, comandată cu senzori mioelectrici. Protezele de mână actuale acoperă o gama largă de construcții de la elemente fixe rigide, care prezintă doar rol estetic, până la dispozitive mecatronice deosebit de complexe. Din punct de vedere structural construcția unui proteze este foarte apropiată de construcția unui mâni mecanice din structura unui sistem de producție (MUSDP - mașina-unealtă-scule-dispozitive-piese), dar diferă foarte mult funcțiile îndeplinite de către o proteză și o mână mecanică/ gripper/ mână robotică. O vedere a celor două tipuri de componente este prezentată în fig. 2. a o proteză de membru superior, fig. 2. b. braț robotic cu mână robotica, fig. 2. c. mână robotică, fig. 2. c. gripper.

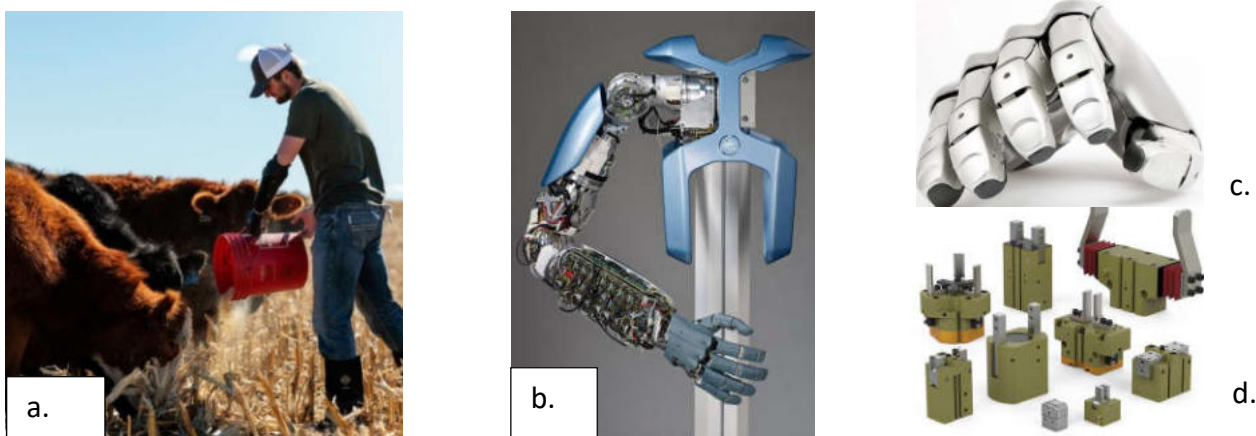


Fig. 2. Tipuri de proteze/ mâni robotice în diverse configurații [3,4,5,6]

Protezele necesită o greutate și o greutate redusă, comenzi simple pentru a se adapta la numărul limitat de intrări disponibile pentru amputați, capacități ridicate de interacțiune cu oamenii și cu proteza.

Abordarea de proiectare urmată de mulți cercetători a constat în încercarea de a replica îndeaproape aspectul și dexteritatea mâinilor umane, cu ajutorul unor modele sofisticate care integrează mulți actuatori și senzori similar cu cele din fig.3. bebionic Hand – Ottoblock US, Hero RGD – Openbionics US, SVH 5-finger servo-electric gripping hand – Schunk, Agile Hand – Agile Robotics.

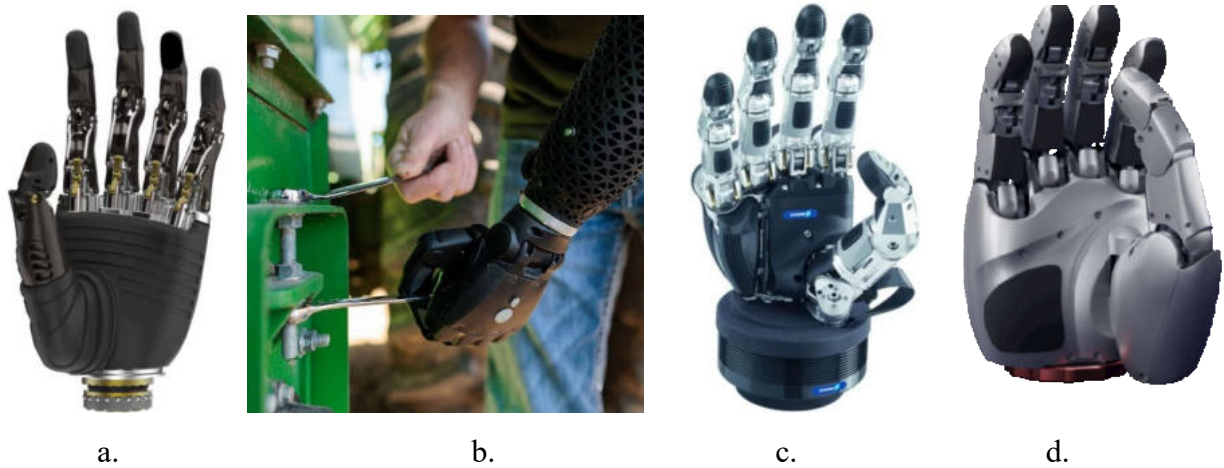


Fig. 3. Proteze active/ robotizate. [3] , b.[4], c. [5], d. [6]

Din analiza stadiului actual a rezultat faptul că producătorii de proteze/ mâni robotice provin din domenii diferite: biomedical – producători de proteze (Ottoblock, Openbionics), producători de roboți industriali (Agile Robotics), producători de dispozitive/ echipamente automatizare (Schunk). De asemenea, fiecare mare universitate din domeniul medical și ingineresc are preocupări în realizarea de proteze – fig. 4. a. SOFTHAND –Institutul Italian de Tehnologie din Genova sau mâni robotice fig. 4. b. GelPalm – MIT SUA, c. gripper cu fălci rabatabile TUIași.

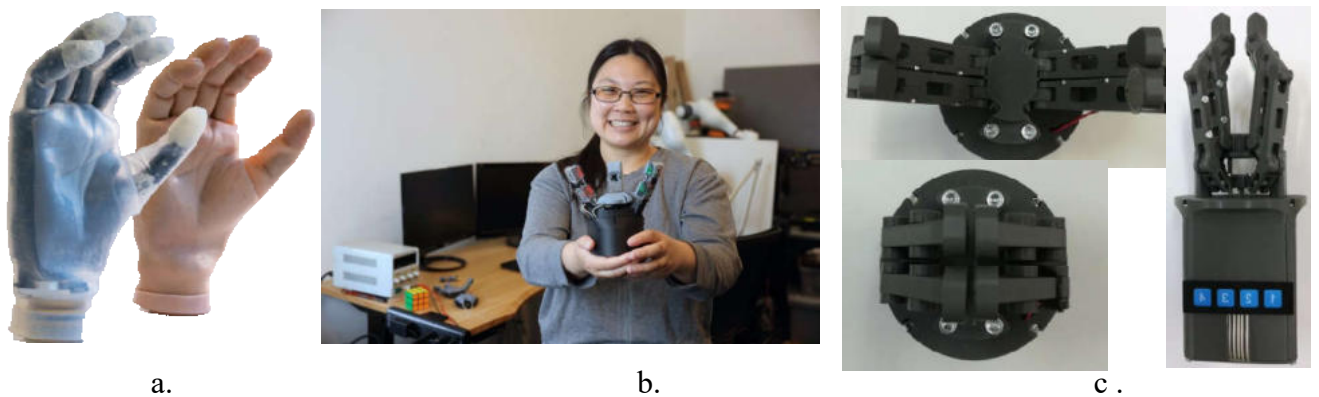


Fig. 4. a. SOFTHAND, b. GelPalm, c.gripper

O primă direcție de dezvoltare a protezelor robotice este pe de o parte realizarea de echipamente mecatronice deosebit de complexe precum cea realizată în cadrul - Institute of Robotics and Mechatronics DLR-Standort Oberpfaffenhofen cu 15 grade de libertate (3 pentru fiecare deget – detaliu în fig. 4. a) unde cinci degete identice cu patru articulații și o structură cu schelet din aluminiu, cu degete cu carcase din plastic turnat prin injecție, sunt comandate de electronică amplasată direct lângă senzori iar conversie A/D se face direct în fiecare articulație cu degete. Sistem de comunicație serială care conectează degetele la mână și mâna la orice computer de control extern [41]

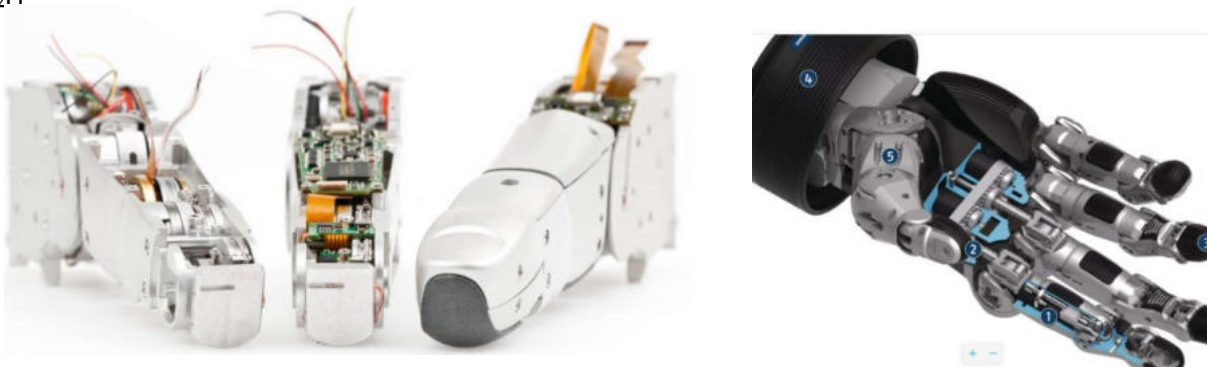


Fig. 5. Detaliu privind construcția protezelor robotice a. DLR-HIT Hand II , b. Schunk SCH 5 [4, 7]

O altă direcție de dezvoltare este realizarea de modele imprimate 3D ce sunt disponibile pentru a descărca oricând de pe site-uri cu modele 3D și obținute prin imprimare 3D fig. 6 [9, 10].

Structura generală a unui gripper sau mecanism de prehensiune este prezentată în fig. 7.

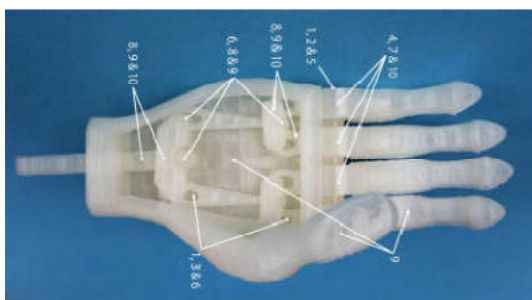
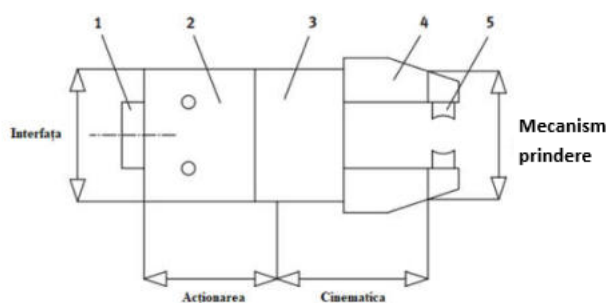


Fig. 6. Soluție de proteză disponibilă fără licență



- 1 – interfața montaj,
- 2 – mecanism de acționare,
- 3 – mecanism de centrare-strângere,
- 4 – fălcile de prindere
- 5 – adaptoare

Fig. 7. Schema structurală gripper

Din analiza fig. 6 și 7 se pot observa asemănări din structura generală a unui mecanism de prehensiune și a unei proteze active rezultă astfel tabelul cu caracteristici primare și secundare ce se pot aplica în evaluarea performanțelor ambelor categorii.

Tabelul 1.1. Caracteristicile primare și secundare ale mekansimelor de prehensiune

Caracteristici primare	Caracteristici secundare
<p><i>Principiul de funcționare</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Mecanic • Fluidic (aer comprimat sau vacuum) • Magnetic (magneți permanenți sau electromagneți) • Adeziv <p><i>Forța de prehensare [N]</i></p> <p><i>Dependența de timp a forței de prehensare</i></p> <p><i>Gama de deschidere a degetelor [mm] sau unghiul de deschidere [°]</i></p> <p><i>Capacitatea maximă de încărcare [N]</i></p> <p><i>Timpul de închidere (apucare) [s]</i></p> <p><i>Timpul de deschidere (eliberare) [s]</i></p> <p><i>Limite de încărcare (forțe, momente, lungimea degetelor)</i></p> <p><i>Numărul de degete</i></p> <p><i>Greutatea [kg]</i></p>	<p><i>Factorii de mediu</i></p> <p><i>Modul de acționare și ghidare</i></p> <p><i>Gama de selecție a modelului</i></p> <p><i>Temperaturile de operare</i></p> <p><i>Tipul de operare</i></p> <p><i>Raportul putere / greutate</i></p> <p><i>Momentele inerțiale [kgm²]</i></p> <p><i>Repetitivitatea și precizia [mm]</i></p> <p><i>Gama de presiuni la care operează [bar]</i></p> <p><i>Ciclul de mentenanță</i></p> <p><i>Frecvența maximă de operare [Hz]</i></p> <p><i>Tipul de energie consumată</i></p> <p><i>Monitorizarea gamei de prehensare</i></p> <p><i>Specificațiile materialului</i></p> <p><i>Specificațiile interfeței (mecanic, fluidic sau electric)</i></p> <p><i>Ciclul de viață</i></p>

Din analiza structurală a diverselor proteze și mecanisme de prehensiune/ gripper-e rezultă următoarele diagrame de idei privind tipurilor de articulații – cuple din fig. 8.

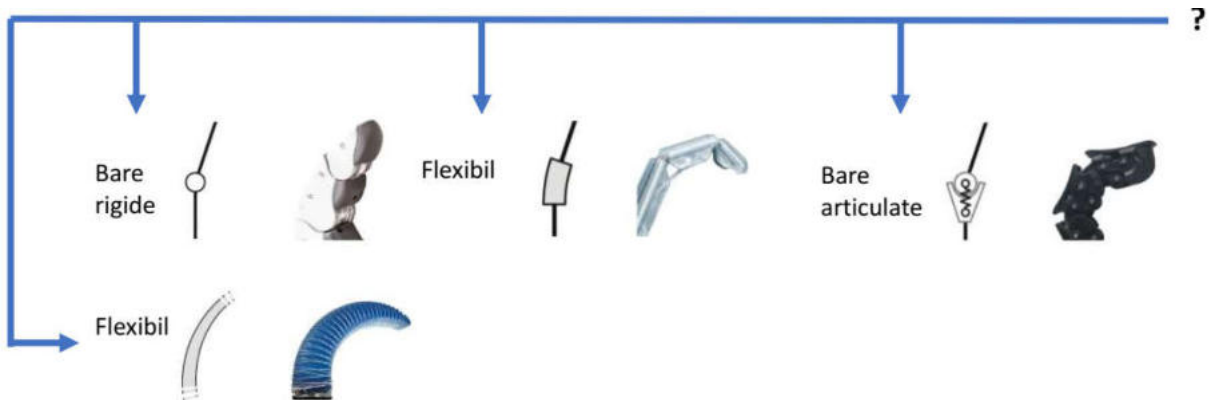


Fig. 8. Diagrama de idei atipurilor de articulații – cuple din structura mâinilor protetice - gripper

În fig. 9 se prezintă principalele soluții de mecanisme de transformare a mișcării din structura diverselor proteze și mecanisme de prehensiune/ gripper-e.

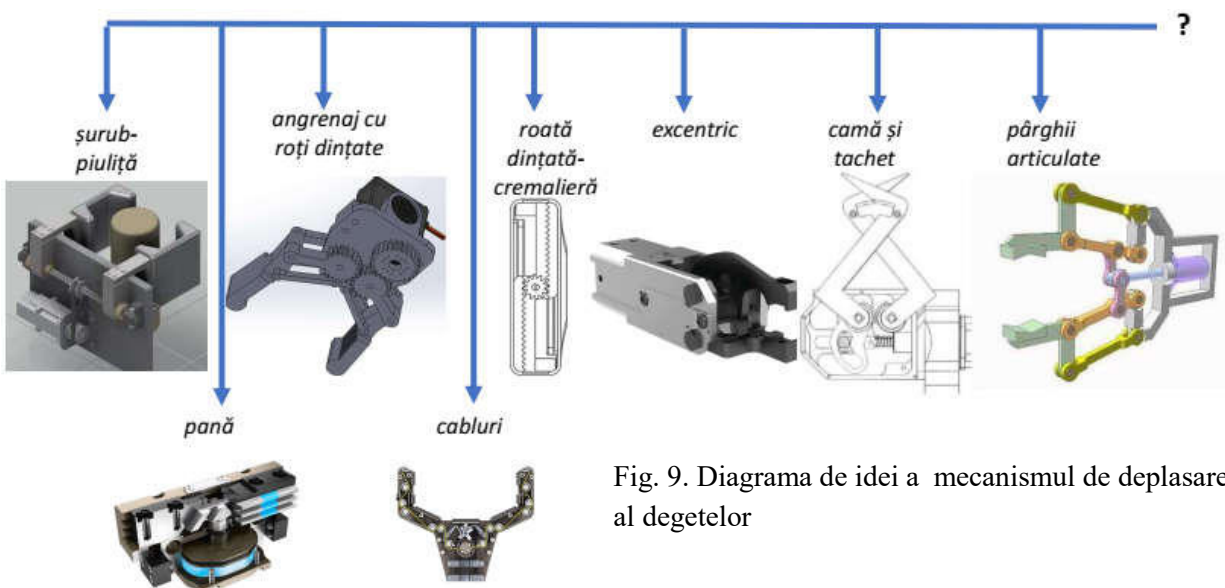


Fig. 9. Diagrama de idei a mecanismul de deplasare al degetelor

Din aplicarea metodelor de creativitate și anume de combinatorică pot rezulta noi soluții de proteze/ mecanisme de prehensiune care să îndeplinească criteriile din tabelul 1.1.

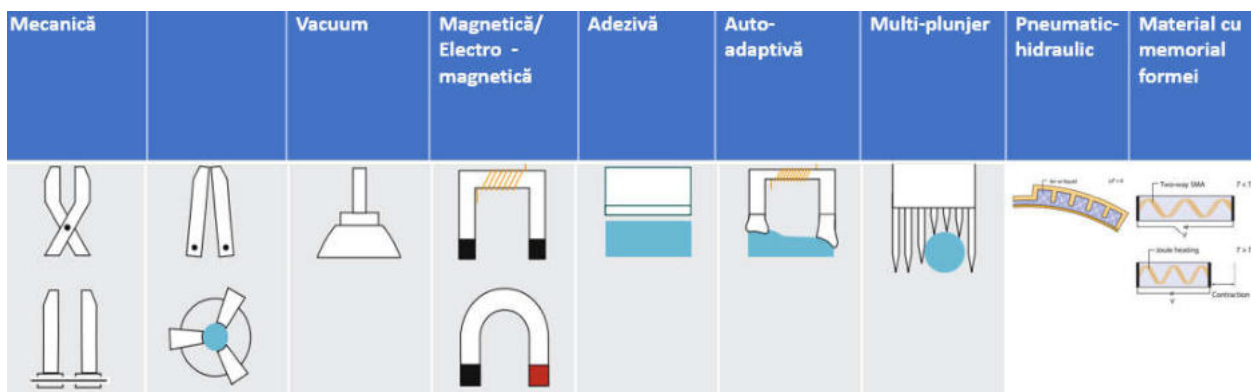


Fig. 10. Diagrama de idei a mecanismul de acționare al degetelor adaptare după Gripper in Motion Schunk [14]

Aliajele cu memorie forme precum nichel-titan (Ni-Ti/Nitinol) au fost utilizate pentru diverse aplicații în afara doar mușchilor artificiali, inclusiv robotică biomimetică și aplicații de implantologie. Actuatorele construite pe baza aliajelor cu memoria forme beneficiază de caracteristici precum gabarit redus, raport favorabil forță-greutate și funcționare silențioasă, dar au eficiență energetică scăzută, frecvență operațională scăzută și cursă redusă [11, 12, 13].

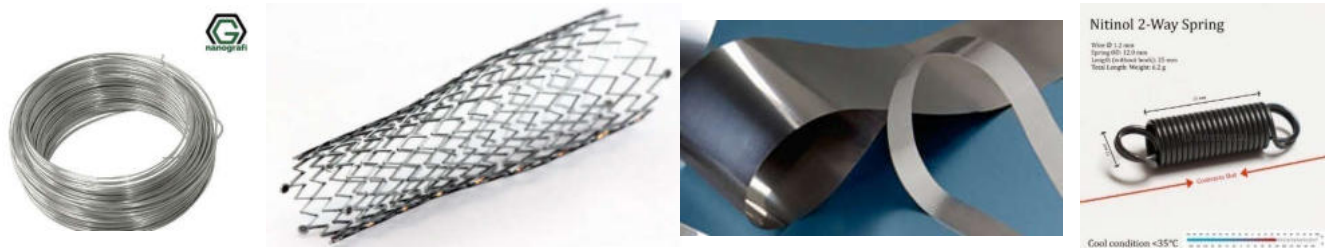


Fig. 11. Modalitate de prezentare a aliajelor cu memoria forme

Din analiza stadiul actual prezentăm variante de proteze acționate prin aliaje cu memoria forme.

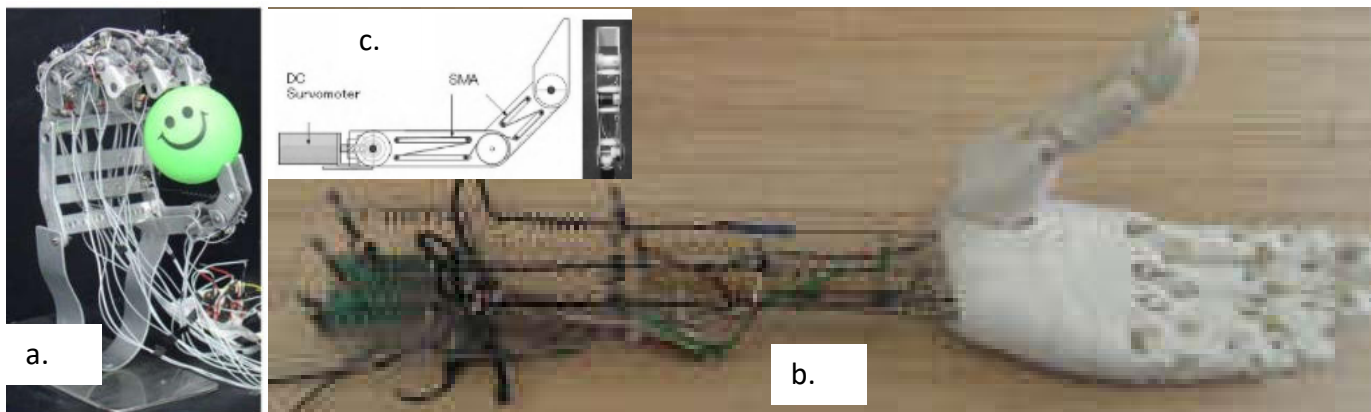


Fig.12. Variante de mâna robotica acționate prin aliaje cu memoria forme a. [15], b. [16], c. [17]

Întrucât în timpul funcționării aliajele cu memorie de forme după o simplă încălzire, își recapătă aspectul inițial devin soluții viabile pentru acționarea corpurilor de legătură dintre componentele protezei. Se poate observa gabaritul ridicat al acestor soluții cauzat de lungimea necesară comprimării arcurilor construite din aliaje cu memoria formei, care pe lângă temperatura de lucru ridicată 60°C - 200°C, prezintă de regulă o cursă ridicată..

5. Etapa 1.2. Reproiectarea constructivă a soluției propuse. Demarare procedură de achiziție componente și materiale necesare.

Soluția propusă de autori are în vedere utilizare unei variante de lamele foarte scurte ce înglobează o serie de fire ce sunt acționate de un curent slab și în urma încălzirii aceste lamela în modifică forma devin arcuite și combinate cu mecanisme cu bară articulată permit deplasări ale falangelor.

Elementele de acționare selectate în urma analizei ofertei actuale sunt cele oferite de firma CompActive Germania ce produce elemente cu memorie de formă care funcționează datorită schimbării de temperatură datorate efectului Joule la trecerea unui curent prin elementul conductiv.

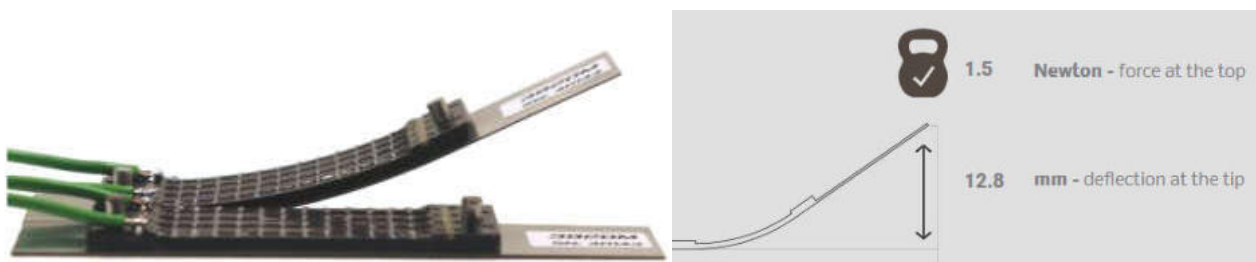


Fig. 13. Vedere a actuatorilor din aliaje cu memoria formei selectate.

În faza de reproiectare a soluției mâini protetice independente acționate prin aliaje cu memoria formei se au în vedere mecanismele de transformare și transmitere a forței prezentate anterior în Diagrama de idei din fig. 7 și 9.

Placând de la modelul 3D propus anterior și de la modelul 3D realizat de autori al actuatorului selectat, pe baza caracteristicilor dimensionale și de deplasare indicate în fisa tehnică, s-a realizat simulare funcționării și o analiza cu elemente finite privind comportamentul actuatorului în conformitate cu cerințele de deplasarea și forță.

Pentru simplificarea simulării, în locul unui curent continuu a fost aplicată o schimbare a temperaturii elementului cu memorie de formă pentru contractarea acestuia. Aceste elemente se pot defini în analiza cu element finit ca un element cu coeficient de expansiune termică negativ, pentru a realiza o contractare ale acestora în timpul creșterii temperaturii.

Pentru găsirea tensiunii necesare alimentării conductorului electric, după determinarea temperaturilor de lucru, se vor realiza analize cu element finit electro-termice până la obținerea parametrilor doriți.

În faza incipientă, prin modificarea materialelor utilizate și a geometriei, se poate ajusta cursa / deplasarea maximă pe care o are elementul de acționare.

În imaginile de mai jos se poate observa același model geometric de actuator, simulat utilizând aceleași condiții la limită, însă cu materiale diferite pentru elementul conductiv al actuatorului.

Condițiile la limită utilizate în acesta simulare constau în zonele de fixare ale ansamblului, actuatorului și condiția termică a elementelor conductive ale actuatorului.

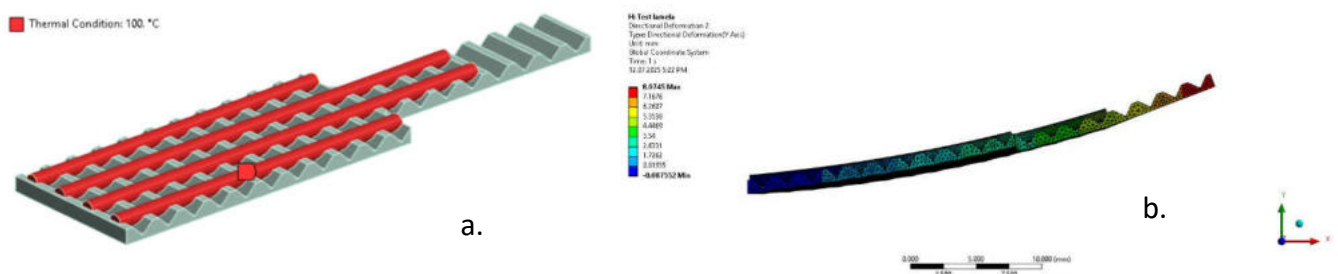


Fig. 14. a. Modelul 3D realizat de autori al actuatorului selectat, b. Simularea cu elemente finite a comportamentului actuatorului Compactive

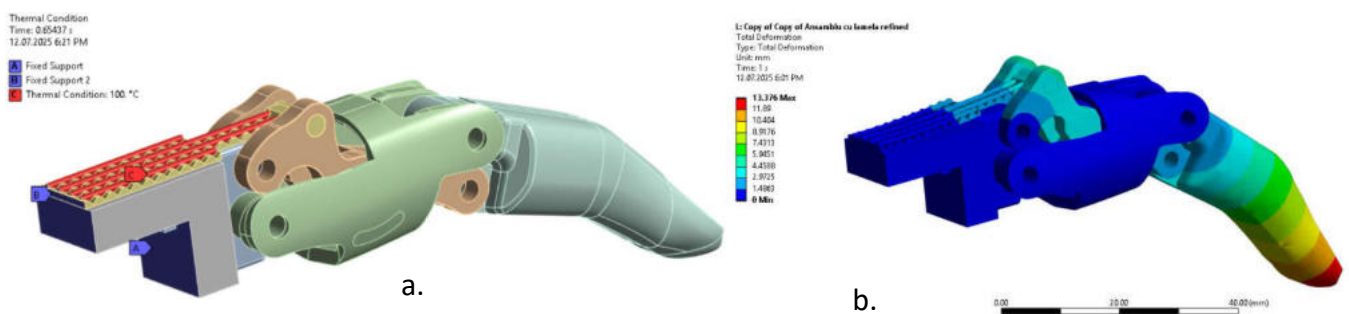


Fig. 15. a. Modelul 3D realizat de autori al subansamblului deget actuator, b. Simulare deplasare

Pentru evaluarea zonelor în care tensiunea este maximă, extremitatea ansamblului (vârful degetului) a fost fixat, pentru a simula o prindere. În acest fel, fără ca piesele ansamblului să se miște, se poate evalua zona în care apare tensiunea maximă. De asemenea, în cadrul analizei cu element finit, se poate observa forța maximă transmisă degetului și direcția de propagare a acesteia.

Pasul următor este de optimizare a geometriei cu ajutorul programului software de analiză cu element finit pentru îmbunătățirea distribuției tensiunilor și reducerea valorilor maxime, reducând astfel riscul de apariție a fisurilor sau deformațiilor plastice.

Direcții viitoare:

- Utilizarea modului „Topology optimization” pentru reducerea valorii maxime ale tensiunilor și distribuirea eficientă ale acestora;
- Obținerea unei geometrii și parametri de funcționare ale actuatorului necesare funcționării ansamblului conform cerințelor de proiectare;
- Modificarea structuri pentru a permite introducerea de senzori privind deplasarea degetelor;
- Realizarea sistemului de alimentare, comandă și control într-o structură unitară compactă.

6. Lucrări publicate cu afilierea AOȘR:

1. George-Gabriel Chiriac, Georgiana Prodan-Chiriac, Cătălin Gabriel Dumitraș, Dragoș-Florin Chitariu, Neculai-Eduard Bumbu and Lucian Oancea, *PCB Copper Traces Stress Due to Thermal Expansion Caused by Joule Heating Effect*, Bulletin of the Polytechnic Institute of Iași. Machine constructions Section, Volume 71 (2025): Issue 2 (June 2025), <https://doi.org/10.2478/bipcm-2025-0013>.
2. George-Gabriel Chiriac, Georgiana Prodan-Chiriac, Cătălin Gabriel Dumitraș, Dragoș-Florin Chitariu, Neculai-Eduard Bumbu and Lucian Oancea, *Evaluating Joule Heating Effects and Electrical Current Flow Through Copper Layers Inside PCB Using Finite Element Analysis*, Bulletin of the Polytechnic Institute of Iași. Machine constructions Section, Volume 71 (2025): Issue 2 (June 2025), <https://doi.org/10.2478/bipcm-2025-0014>.
3. Dragoș-Florin Chitariu, George-Gabriel Chiriac, Neculai-Eduard Bumbu and Lucian Oancea, *Study on machining deviations caused by modular fixture rigidity*; Conferința MTEM 2025 Cluj, în curs de publicare.

Bibliografie

1. Piazza, Cristina & Grioli, Giorgio & Catalano, M.G. & Bicchi, Antonio. (2019). *A Century of Robotic Hands*. Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems. 2. 1-32. 10.1146/annurev-control-060117-105003.
2. Zuo KJ, Olson JL. *The evolution of functional hand replacement: from iron prostheses to hand transplantation*. Plast. Surg. 22:44–51, 2014..
3. <https://openbionics.com/en/hero-rgd-2/> accesat aprilie 2025.
4. <https://www.dlr.de/en/rm/research/robotic-systems>
5. <https://www.destaco.com/gripping>
6. <https://www.ottobock.com/en-us/product/8E7---61161> accesat aprilie 2025.

7. https://schunk.com/ro/en/gripping-systems/special-gripper/svh/c/PGR_3161 accesat aprilie 2025.
8. <https://www.agile-robots.com/en/solutions/agile-hand/> accesat aprilie 2025.
9. <https://3dprint.com/223049/prosthetic-hand-no-assembly/> accesat mai 2025.
10. Juan Sebastian Cuellar, Gerwin Smit, Amir A Zadpoor and Paul Breedveld, *Ten guidelines for the design of non-assembly mechanisms: The case of 3D-printed prosthetic hands*, Proc IMechE Part H: J Engineering in Medicine 2018, Vol. 232(9) 962–971
11. Simone, F.; York, A.; Seelecke, S. *Design and fabrication of a three-finger prosthetic hand using SMA muscle wires*. In Proceedings of the Bioinspiration, Biomimetics, and Bioreplication 2015, San Diego, CA, USA, 9–11 March 2015; International Society for Optics and Photonics (SPIE): Bellingham, WA, USA, 2015.
12. Tarniță D, Tarniță DN, Bîzdoacă N, Mîndrilă I, Vasilescu M. *Properties and medical applications of shape memory alloys*. Rom J Morphol Embryol. 2009;50(1):15-21. PMID: 19221641.
13. Lee, JH., Chung, Y.S. & Rodrigue, H. *Long Shape Memory Alloy Tendon-based Soft Robotic Actuators and Implementation as a Soft Gripper*. Sci Rep 9, 11251 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47794-1>
14. Andreas Wolf, Ralf Steinmann, Henrik Schunk, *Grippers in Motion*, Springer Berlin, Heidelberg, 2005, <https://doi.org/10.1007/3-540-27718-8>
15. V. Farias, L. Solis, L. Melendez, C. Garcia and R. Velazquez, "A four-fingered robot hand with shape memory alloys", *AFRICON 2009*, Nairobi, Kenya, 2009, pp. 1-6, doi:1109/AFRCON.2009.5308403.
16. M. Terauchi, K. Zenba, A. Shimada and M. Fujita, *Controller Design on the Fingerspelling Robot Hand using Shape Memory Alloy*, 2006 SICE-ICASE International Joint Conference, Busan, Korea (South), 2006, pp. 3480-3483, doi: 10.1109/SICE.2006.315168.
17. A. Ahmadi, M. Mahdavian, N. F. Rad, A. Yousefi-Koma, F. Alidoost and M. A. Bazrafshani, *Design and fabrication of a Robotic Hand using shape memory alloy actuators*, 2015 3rd RSI International Conference on Robotics and Mechatronics (ICROM), Tehran, Iran, 2015, pp. 325-329, doi: 10.1109/ICRoM.2015.7367805.
18. <https://www.compactive.de/> iunie 2025.