



**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 2**

**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**

Decembrie 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
<b>1.2.</b>	<b>Reproiectarea constructiva a soluției propuse. Demarare procedură de achiziție componente și materiale necesare.</b>	<b>D.P., C.D.1/ C.D.2.</b>	<b>2</b>	<b>6</b>
<b>1.3.</b>	<b>Fabricarea componentelor protezei bionice autoadaptive. Montaj proteză și pregătire platformă soft.</b>	<b>D.P. Drd. C.D.1 C.D.2.</b>	<b>7</b>	<b>9</b>
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

În urma analizei comparative realizate, se poate concluziona că dezvoltarea protezelor robotice moderne reprezintă un domeniu aflat la intersecția dintre științele medicale, ingineria mecanică, mecatronică și informatică. Deși protezele biomedicale și mâinile robotice industriale au fost inițial concepute pentru scopuri diferite — reabilitare umană, respectiv automatizare industrială —

progresele tehnologice recente au determinat o **convergență evidentă** între aceste direcții de cercetare [1], [2].

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 asemeni, fiecare mare universitate din domeniul medical și ingineresc are preocupări în realizarea de proteze – fig. 1. a. SOFTHAND –Institutul Italian de Tehnologie din Genova sau mâni robotice fig. 1. b. GelPalm – MIT SUA, 1.c. gripper cu fălci rabatabile TUIași.

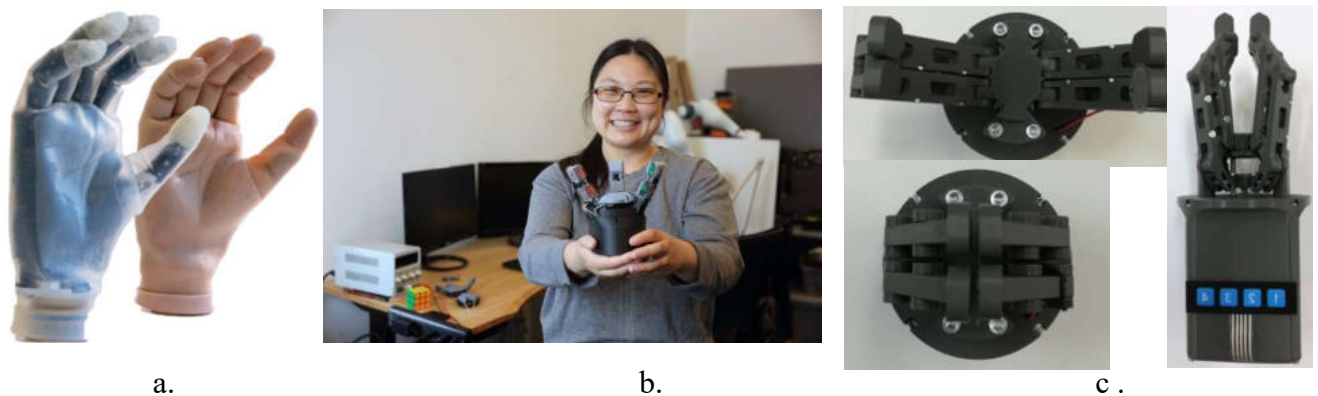


Fig. 1. a. SOFTHAND, b. GelPalm, c.gripper

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

Din punct de vedere structural construcția unui proteze este foarte apropiată de construcția unui mâni mecanice din structura unui robot, dar diferă foarte mult funcțiile îndeplinite de către o proteză și o mână mecanică/ gripper/ mână robotică.

Structura generală a unui gripper sau mecanism de prehensiune este prezentată în fig. 2, 3.

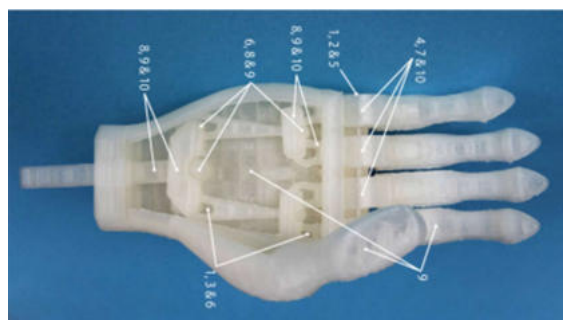
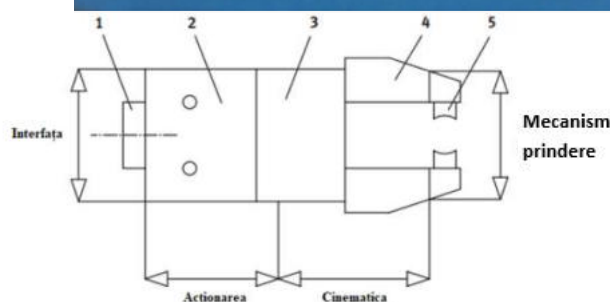


Fig. 2. Soluție de proteză disponibilă fără licență



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

Fig. 3. Schema structurală gripper

Din analiza fig. 2 și 3 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.

Din analiza structurală a diverselor proteze și mecanisme de prehensiune/ gripper-e rezultă următoarele diagrame de idei privind tipurilor de articulații – cuple din fig. 6.

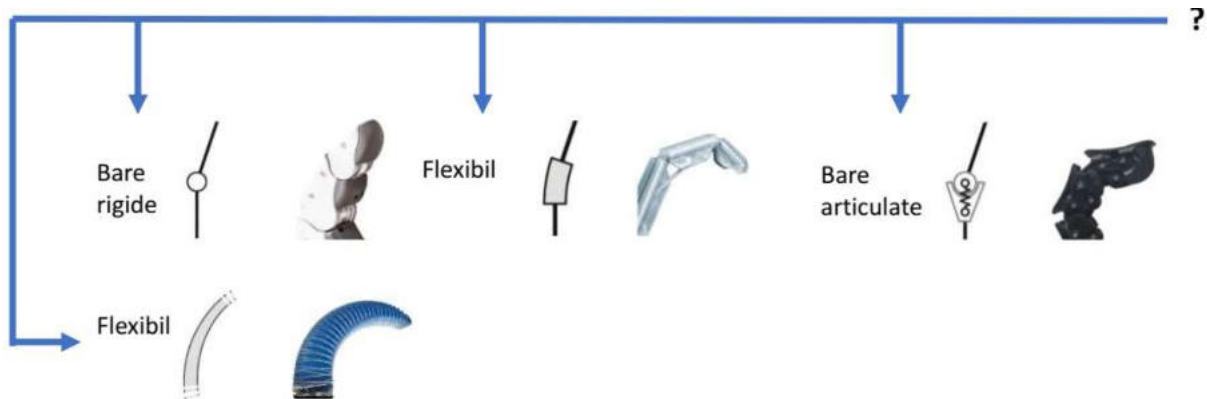


Fig. 4. Diagrama de idei a tipurilor de articulații – cuple din structura mâinilor protetice – gripper

**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 fig. 5.

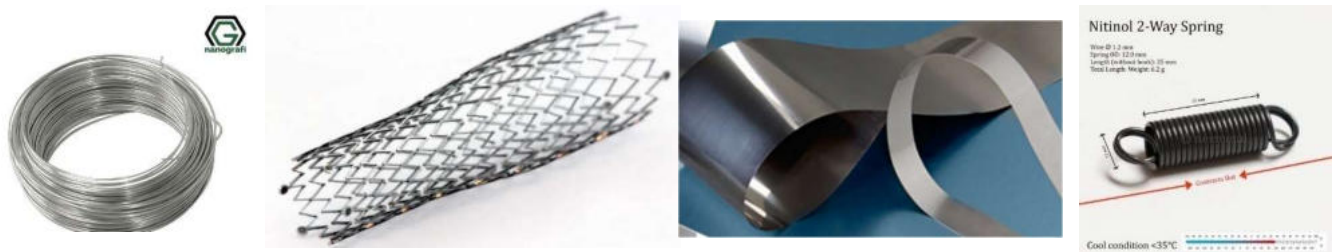


Fig. 5. Modalitate de prezentare a aliajelor cu memoria forme

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

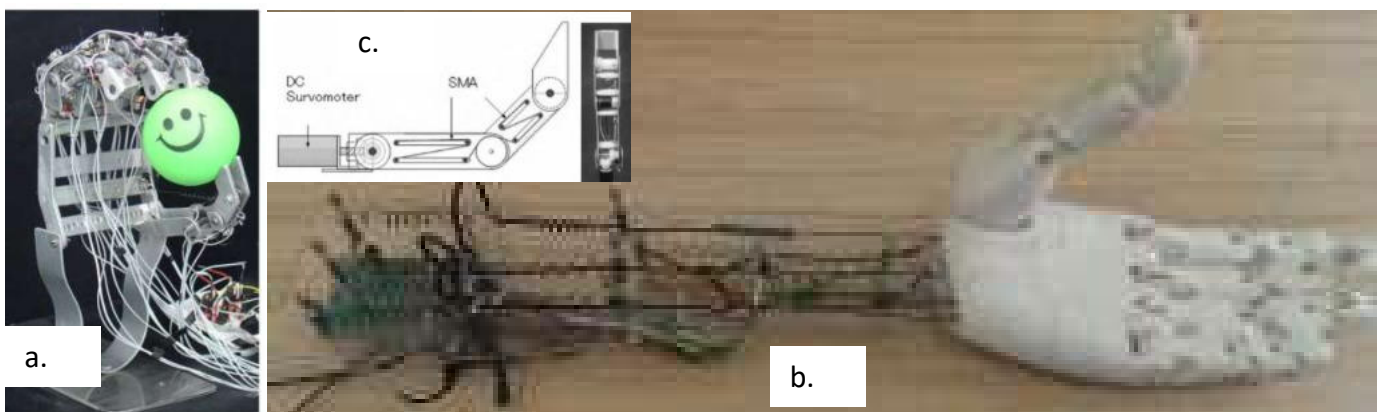


Fig.6. Variante de mâna robotica acționate prin aliaje cu memoria forme a. [15], b. [16], c. [17]

Actuatoarele construite pe baza aliajelor cu memoria formei 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].

Întrucât în timpul funcționării aliajele cu memorie de formei 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..

## **Metodologie de proiectare**

### 1. Proiectare rezeme

1.1. Stabilirea soluțiilor de rezeme care pot fi utilizate

1.2. Alegerea variantelor optime de rezeme

1.2.1. Criterii - poziția piesei în timpul lucrului

- rigiditatea
- gradul de adaptabilitate
- ușurința montării
- ușurința montării reazemelor;
- ușurința înlocuirii reazemelor;
- rezistența la uzură a reazemelor;
- tehnologicitatea reazemelor;
- greutatea reazemelor;
- costul exploatării reazemelor.

1.3. Dimensionarea reazemelor

1.4. Alegerea materialelor

1.5. Alegerea celorlalte condiții tehnice

### 2. Proiectare mecanisme de strângere

2.1. Stabilirea schemei optime de strângere

2.2. Stabilirea soluțiilor de mecanisme de strângere

2.3. Dimensionarea mecanismelor

2.4. Alegerea ajustajelor, toleranțelor și rugozităților

### 3. Proiectare sistemului de comandă

3.1. Stabilirea schemei de comandă

3.2. Selecția componentelor

3.3. Programare.

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.

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 ideii din fig. 6.

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.

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

S-au achiziționat două actuatore de la firma CompActive tip 3920H pentru realizare de testări preliminare pentru verificare compatibilității cu modele de mecanisme tip bare articulate care pot fi înglobate în structură mâinii robotice. O vedere a actuatorelor cumpărate este prezentată în fig.7.

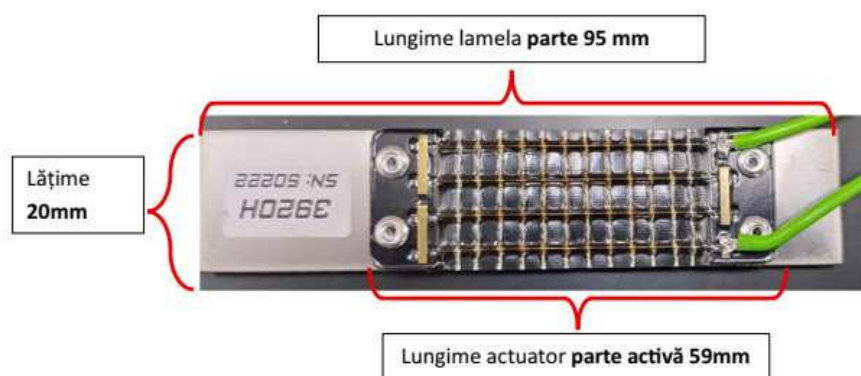


Fig. 7. Vedere a actuatorelor cu aliaje cu memoria formei achiziționate de la firma CompActive.

S-au realizat o serie de montaje pentru a verifica cursa realizată și a verifica parametrii energetici necesari pentru alimentare unor asemenea actuatore ce folosesc aliaje e cu memoria formei.



Fig. 8. Vedere a unui montaj în serie a două actuatore aliaje cu memoria formei achiziționate de la firma CompActive



Fig. 9. Vedere a unui montaj în serie a două actuatoare aliaje cu memoria formei achiziționate de la firma CompActive

S-au alimentat cele două actuatoare de la o sursă de alimentare de curent continuu pentru a verifica cursa realizată și consumul de energie, fig. 10.

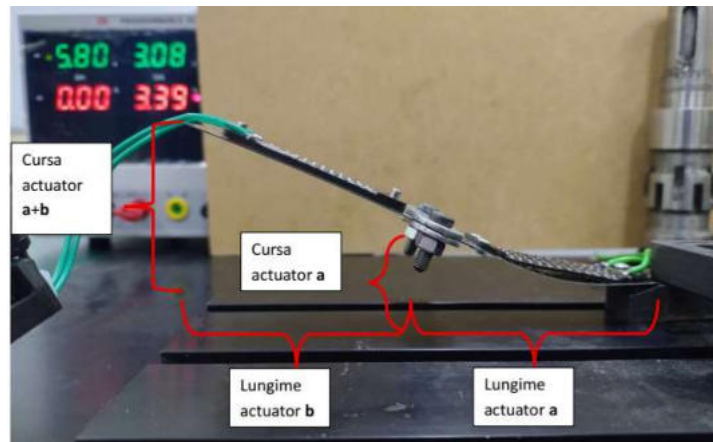


Fig. 10. Vedere a unui montaj în serie a două actuatoare cu alimentare primului actuator pentru determinarea cursei

În urma alimentării cu 3 V la și un consum de 3A timp de 10 s s-a realizat o cursă măsurată pentru actuatorul **a** este de **43** mm, iar cursa totală **a+b = 83** mm. Pentru cazul alimentării celor 2 actuatoare simultan **a+b** timp de 10 s a rezultat o cursă de **98** mm, pentru montajul realizat.

Deplasările prezentate sunt determinate folosind un suport standard pentru firele din aliaje cu memoria formei se urmărește modificarea acestui suport, cu rol de rigidizare, prin reducerea dimensiunilor și realizarea unei croiri și unei dimensionări specifice. Astfel, se vor putea utiliza în cadrul unei mâini robotice cu dimensiuni uzuale ținând cont că lungimea mâinii (de la încheietură la vârful degetului mijlociu): ~180–190 mm, lățimea 85-95mm.

Efectul de pârghie este unul avantajos și necesar pentru acționarea degetelor.

Din testarea prealabilă realizată rezultă o cursă redusă în raport cu posibilitățile de mișcare ale unui deget uman, este necesară combinarea actuatorului cu aliaje cu memoria formei cu o serie de mecanisme amplificatoare de tip bare / pârghii articulate.

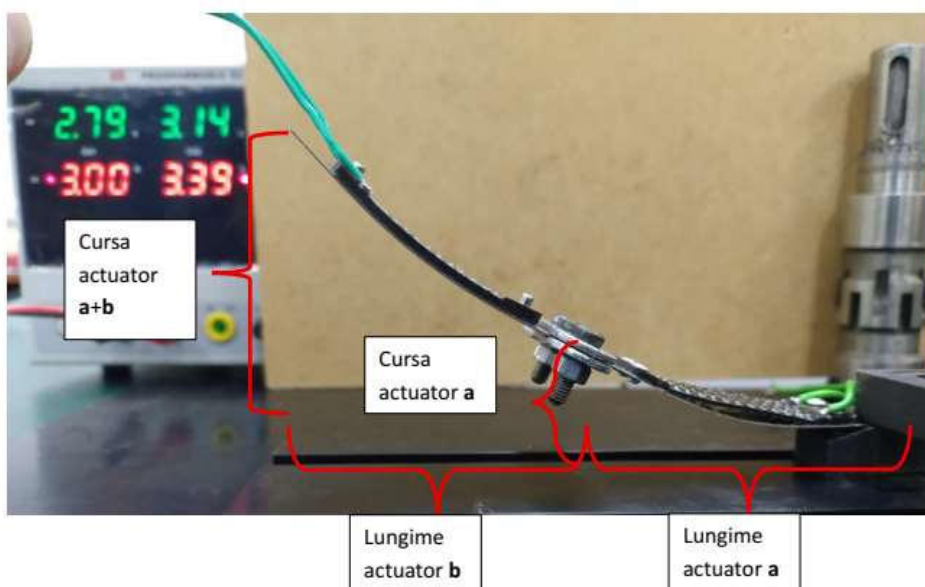


Fig.11. Vedere a unui montaj în serie a cu alimentarea ambelor actuoare

O primă variantă tipică de mecanism cu bare articulate pentru amplificarea cursei degetelor avută în vedere este varianta din figura 12.

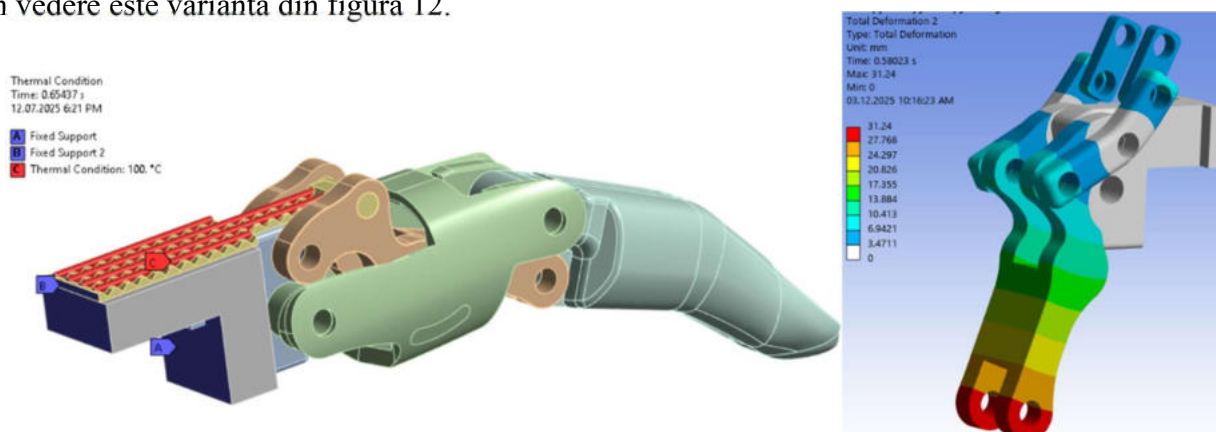


Fig. 12. Varianta de lucru pentru mecanismul cu bare articulate pentru amplificarea cursei degetelor

S-a realizat modelarea comportamentului actuoarelor pe baza rezultatelor privind cursele obținute experimental, pentru a realiza corect dimensionare mecanismului cu bare articulate. S-a reluat analiza cu elemente pe baza rezultatelor experimentale și s-a calibrat modelul.

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.

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

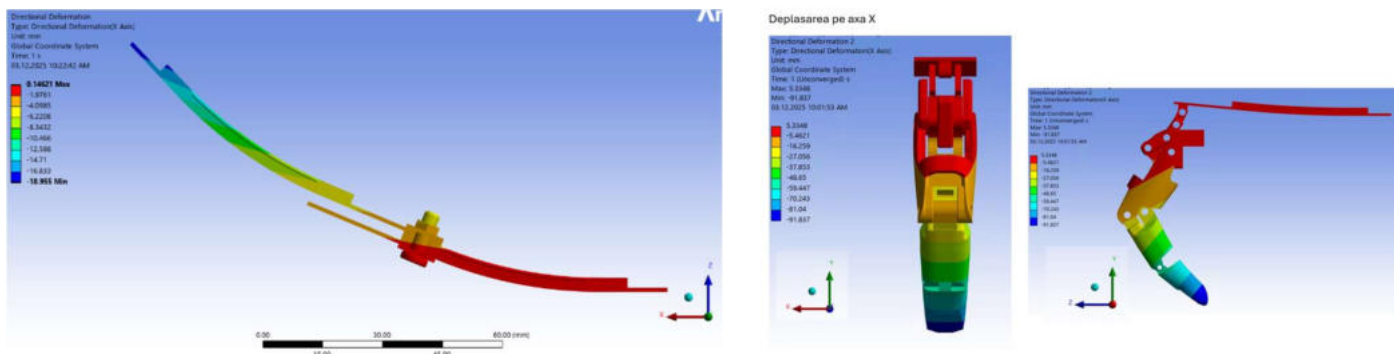


Fig. 13. Detalii din analiza cu elemente finite pentru după calibrarea modelului pe baza datelor experimentale

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, respectiv modulului „Topology optimization” pentru reducerea valorii maxime ale tensiunilor și distribuirea eficientă ale acestora.

#### Comanda și controlul actuatorilor

Pentru comanda actuatorilor și integrarea unor senzori presiune, deplasare, se va utiliza placa de dezvoltare tip Node MCU Lolin 32, ce poate comanda mai multe module de tip module MOSFET pentru alimentare actuatorilor și comanda de la distanță.

Pentru implementarea practică a prototipului se va ține cont de curentul consumat pentru fiecare tip de actuator pentru alimentarea a 2 actuatori achiziționate până acum rezultă un curent de 3 Ah la tensiunea de 3V timp de 10 secunde pentru o deplasare.

Consumul de energie rezultat experimental este  $90 \text{ J} = 0.025 \text{ Wh}$  pentru un actuator ( $3\text{V} \times 3\text{Ah} \times 10\text{s}$ ), astfel se pot utiliza pentru alimentare acumulatori de tip 18950, similari cu cei din laptopuri.

#### Direcții viitoare:

- Este necesară o croire a actuatorului pentru a obține dimensiunile necesare pentru respectarea condițiilor dimensionale. Este în procedură de achiziție o comandă de 15 buc de actuatori ce vor permite modificarea unora dintre acestea.
- Utilizarea modulului „Topology optimization” pentru reducerea valorii maxime ale tensiunilor și distribuirea eficientă ale acestora;
- Obținerea unei geometrii și parametrii de funcționare ale actuatorului necesare funcționării ansamblului conform cerințelor de proiectare;
- Modificarea structurii 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, lucrare prezentată în curs de publicare.
4. Florin-Daniel Eduțanu Mariana Ciorap , Lucian-Claudiu Grigoruță1, Dragoș-Florin Chitariu, Ionuț Alin Bejenaru, Gabriel Signeanu, *A Systematic Review of the Principles of INDUSTRY 4.0*, BULETINUL INSTITUTULUI POLITEHNIC DIN IAȘI, Publicat de Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași Volumul 71 (75), Numărul 2, 2025 Secția CONSTRUCȚII DE MAȘIN, IDOI: [10.2478/bipcm-2025-0017](https://doi.org/10.2478/bipcm-2025-0017)

## 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](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, Bizdoacă 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, Heidelber, 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.