

**MINISTERUL
EDUCAȚIEI, CERCETĂRII, TINERETULUI ȘI SPORTULUI
Consiliul Național al Cercetării Științifice
Programul: Resurse Umane**

**CERCETĂRI PRIVIND OPTIMIZAREA
CAPABILITĂȚILOR SISTEMULUI LOGISTIC
MILITAR PRIN IMPLEMENTAREA UNOR SOLUȚII
SPECIFICE TEHNOLOGIILOR ROBOTIZATE
Sinteza raportului de activitate**

- Etapa a-III-a -

Contract nr. 59/12.08.2010

**Director de proiect:
Lect.univ.dr.ing. *Silviu Mihai PETRIȘOR*
Academia Forțelor Terestre “Nicolae Bălcescu” Sibiu**

- Decembrie 2012 –

Consiliul Național al Cercetării Științifice

Programul: Resurse umane

Tipul proiectului:

“Proiecte de cercetare pentru stimularea constituirii de tinere echipe de cercetare independente”

CERCETĂRI PRIVIND OPTIMIZAREA CAPABILITĂȚILOR SISTEMULUI LOGISTIC MILITAR PRIN IMPLEMENTAREA UNOR SOLUȚII SPECIFICE TEHNOLOGIILOR ROBOTIZATE

Plan de realizare

- Etapa a-III-a -

Obiectivul III.1

OPTIMIZAREA CONSTRUCTIVĂ A UNOR VARIANTE ARHITECTURALE DE ROBOȚI INDUSTRIALI PROPUȘI SPRE IMPLEMENTARE ÎN ACTIVITĂȚILE SELECTATE

Activități

3.1.1. Concepția, calculul și proiectarea unor echipaje mobile ce intră în componența structurii mecanice a roboților industriali seriali-modulari

3.1.2. Modelarea unor echipaje mobile ce intră în componența structurii mecanice a roboților industriali seriali-modulari

Obiectivul III.2

OPTIMIZAREA FUNCȚIONALĂ A UNOR VARIANTE ARHITECTURALE DE ROBOȚI INDUSTRIALI PROPUȘI SPRE IMPLEMENTARE ÎN ACTIVITĂȚILE SELECTATE

Activități

3.2.1. Evidențierea workspace-ului și a traiectoriei punctului caracteristic, pe baza legilor de mișcare impuse dispozitivului de prehensiune

3.2.2. Elaborarea unui algoritm de optimizare dinamico-organologică privind alegerea unei arhitecturi de robot industrial capabil să răspundă activității logistice selectate în cadrul celulei flexibile alese

Obiectivul III.3

TESTAREA ȘI VALIDAREA TIPULUI DE ORGANIZARE A CELULEI FLEXIBILE ALEASĂ ȘI A STRUCTURII DE ROBOT INDUSTRIAL PROPUȘI SPRE A FI IMPLEMENTAT ÎN SISTEMUL LOGISTIC MILITAR

Activități

3.3.1. Testarea și verificarea virtuală a aplicației și realizarea unor baze de date ale testării, analizei și evaluării

3.3.2. Testarea operațională în mediul real de lucru, stabilirea și implementarea unor acțiuni corective și validarea rezultatelor obținute

1.Considerații generale

Temele abordate în prezenta etapă de cercetare prezintă un puternic caracter de noutate pentru mediul militar românesc, prin prisma perspectivei de cercetare deschise asupra relației dintre tehnologie și celelalte componente ale capacităților, cu efecte pozitive asupra performanțelor sistemului logistic militar.

Este unanim apreciat, recunoscut și utilizat ca atare în literatura de specialitate faptul că organizațiile sunt sisteme complexe în care subsistemul de management al performanței implică o serie de componente funcționale interconectate, eficiența fiecărei componente depinzând de modul în care este integrată în întreg, iar eficiența întregului depinzând de eficiența fiecărei componente. Necesitatea și, implicit, utilitatea unei asemenea teme, are ca raționament încercarea de a găsi un model “unificator” al diverselor teorii care abordează conceptul de performanță logistică militară, concept exprimat tot mai des prin intermediul teoriei capacităților. Problema prezintă efecte de tip “cascadă”, ce reclamă găsirea unor perspective de abordare, utile ca numitor comun, de la simplu la complex, de la nivelul managementului operațional la nivelul celui strategic, judicios conexe cu aspectele tehnice de vârf ale începutului secolului al XXI-lea. Așadar, este nevoie de un instrument/metodă care să rezolve, bazat pe considerente edificatoare, aspecte ale realității mediului logistic militar, cadrul arhitectural ales și asumat de echipa de proiect fiind cel fundamentat pe binomul inginerie-management.

În cadrul prezentei etape au fost continuate cercetările întreprinse în etapele anterioare, centrul de greutate fiind mutat de această dată pe perspectiva tehnică și tehnologică de investigare a problematicii, în plan operațional fiind rezolvate oportun, conform cerințelor, termenelor și exigențelor financiare planificate, toate aspectele legate de managementul proiectului.

2.Considerații privind îndeplinirea obiectivului III.1

Obținerea unor roboți performanți are în vedere atât soluția constructivă aleasă, cât și modul de programare, conducere, comandă și control. Analizând modelele roboților industriali seriali modulari, în acest studiu privind rezultatele activității științifice derulate în cadrul fazei a III-a a contractului de cercetare nr. 59/2010, sunt cercetate comportamentul și performanțele acestora legate în special de aspectele dinamice. Concepția modulară, este bazată pe realizarea separată a modulelor a căror construcție permite asamblarea lor cu alte module. Rezultă astfel, arhitecturi variate de roboți industriali, care pot fi livrați beneficiarilor în conformitate cu cerințele aplicației concrete. Folosind module de translație, de rotație, de basculare și orientare, se pot concepe variante de mecanisme generatoare de traiectorii din structura mecanică a unor roboți seriali de tip modular. În urma unui studiu dinamic riguros aplicat pe structuri de roboți seriali modulari posedând de la două la șase grade de libertate, se poate obține o metodă de optimizare constructivă, conform căreia *într-o structură modulară de robot industrial se pot aranja modulele de translație și de rotație astfel încât consumurile energetice să fie minime.*

Proiectarea modulului de translație MTB a fost realizată pe baza prescripțiilor de calcul organologice utilizându-se soft-urile de proiectare: pentru modelarea 2D a modulului s-a folosit programul *AUTOCAD*, iar pentru modelarea 3D s-a folosit programul *AUTO INVENTOR*. În cele ce urmează sunt prezentate elementele constructive ce intră în componența MTB realizate atât în vederea 2D, cât și în vederea izometrică (fig. 1).

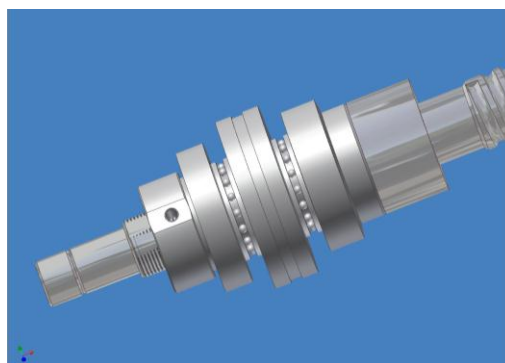
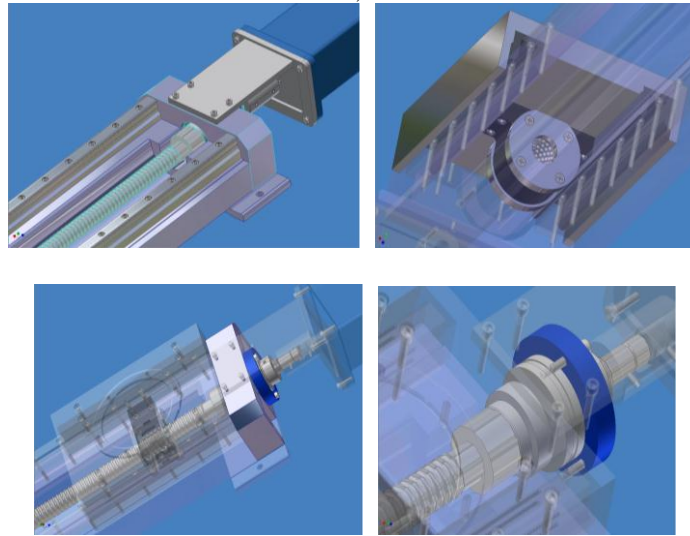
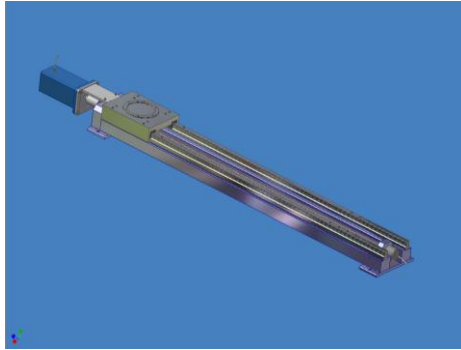
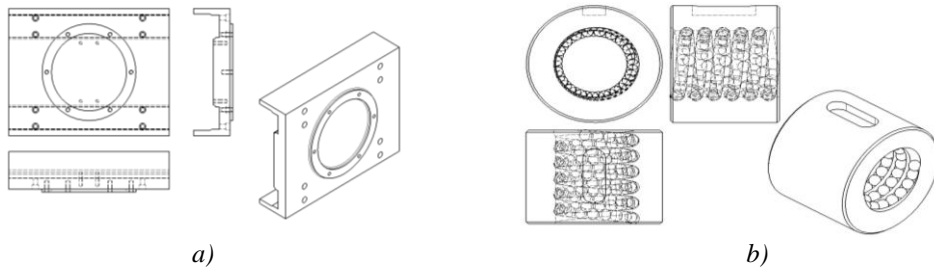


Fig. 1 Elemente organologice din componența modului de translație MTB realizate în Inventor: a) sanie; b) piulița cu bile; c) modul de translație MTB; d) secțiuni în modul; e) vedere în secțiune

Rolul mecanismului de orientare, din structura unui robot este acela de a conferi gradele de libertate necesare orientării poziției spațiale a obiectului sau a dispozitivului manipulat, astfel încât funcție de aplicația industrială, acesta să ocupe atât pe cuprinsul traiectoriei cât și în punctele semnificative, poziția dorită. În cazul roboților de manipulare, rolul acestui mecanism este legat atât de orientarea mecanismului de prehensiune astfel încât obiectul manipulat să poată fi preluat din poziția inițială, în concordanță cu condițiile restrictive ale zonei spațiului de lucru, cât și cel de orientare spațială pe cuprinsul traiectoriei funcție de eventualele obstacole și condiții de manipulare specifice, precum și de orientare finală a lui în vederea introducerii corecte în dispozitivul de lucru sau al depunerii sale în punctul final al traiectoriei. În cazul roboților pentru operațiuni specifice, cum ar fi: sudură, vopsire, etc., rolul mecanismului de orientare este în esență același: de a orienta și a stabili poziția curentă a dispozitivului de lucru: pistol de vopsire, pistol de sudură, etc., în raport cu un sistem de coordonate solidar cu ultimul element al MGT, astfel încât procesul tehnologic supus robotizării să decurgă în cadrul unor parametri normali impuși de procesul respectiv.

În figura 2 este prezentată modelarea 3D (proiectare realizată cu softul Solid Works) al modulului de orientare MO, proiectat și realizat pe baza prescripțiilor de calcul organologice și care poate fi atașat cu ușurința pe structuri mecanice de roboți industriali necesari implementării în cadrul unor procese tehnologice după itinerariu tehnologic prestabilit.

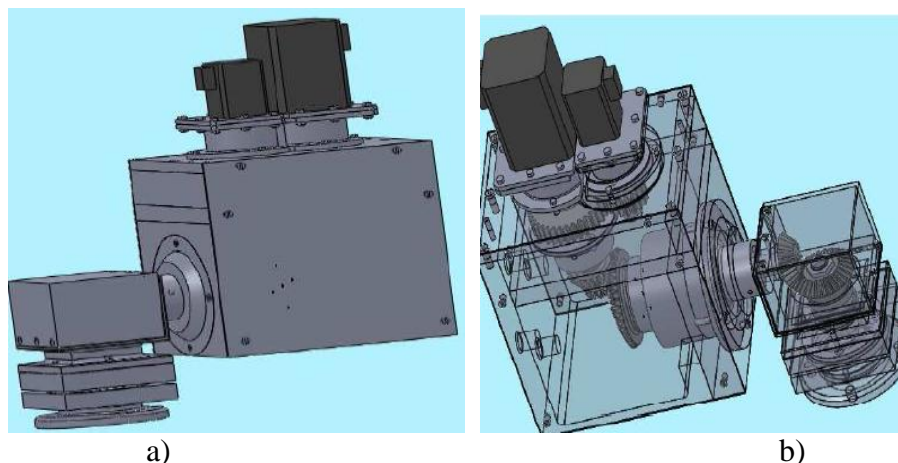


Fig. 2 Modul de orientare MO a dispozitivului de prehensiune: a) modelul 3D realizat cu softul de proiectare SolidWorks; b) secțiune în modelul 3D

Pentru obținerea unor servicii de înaltă calitate în domeniul industrial, și nu numai, a fost necesar automatizarea și implementarea roboților în procesele tehnologice. Astfel, muncitorii umani au fost înlocuiți, total sau parțial, de roboții industriali, iar aceștia au fost specializați pentru „conducerea” roboților. Aplicațiile principale care pot fi îndeplinite cu succes de roboții industriali sunt: manipularea de material (operații de tip „pick and place”), asamblare, vopsire, sudare, ambalare, paletizare, inspecția și testarea produselor. Roboții industriali pot activa în diferite ramuri industriale, dintre care se pot enumera: auto, electronică, medicină, industria alimentară, biotehnică, farmaceutică, militară și în medii de lucru ostile. Utilizarea roboților industrial, fapt de care s-a ținut seama de-a lungul întregii activități de proiectare pentru această temă, oferă următoarele avantaje:

- reducerea rebuturilor în rândul pieselor finite, datorită preciziei de lucru ridicată a roboților;
- creșterea productivității prin vitezele de lucru și reducerea timpilor de lucru;

- realizarea oricărui tip de sarcină de lucru, indiferent de gradul de risc și de mediul de lucru;
- reducerea accidentelor în rândul muncitorilor umani;
- utilizarea celulelor de fabricație pentru diferite procese tehnologice, datorită flexibilității roboților (adică a capacității acestora de reprogramare pentru o nouă sarcină).

Pentru obținerea avantajelor enumerate mai sus în rândul roboților, sunt necesare studii complexe cu privire la dinamica lor, a programării lor, precum și din punct de vedere structural. Studiul comportării structurii de rezistență a roboților industriali poate oferi informații cu privire la starea de solicitare a acestora în timpul ciclurilor de lucru, starea de tensiuni și deformații. În cazul roboților industriali este importantă cunoașterea limitelor de deformare, deoarece pot influența negativ performanțele de lucru a acestora. Însă, din punct de vedere economic, acest lucru nu este benefic nici pentru producătorii de roboți industriali, nici pentru „consumatori” de roboți.

Roboții industriali tip SCARA (acronimul înseamnă *Selective Compliant Articulated Robot Arm*) prezintă patru axe de mișcare în coordonate cilindrice X-Y-Z. Acești roboți industriali sunt utilizați mai des în industria automatizată în care se dorește efectuarea sarcinilor de manipulare piese, asamblare și alimentarea mașinilor unelte. În figura 3 se prezintă tipuri de structuri de roboți industriali de tip SCARA, realizați de diferite companii ce vizează proiectarea și construcția roboților industriali, prima imagine prezentând robotul Adept e-Vario 600, structură mecanică achiziționată din Germania din bugetul contractului de cercetare nr. 59/2010 și existent în cadrul Lab. Tehnologii Logistice Avansate, din cadrul Academiei Forțelor Terestre “Nicolae Bălcescu” Sibiu. Acest robot a fost implementat cu succes în cadrul unei celule flexibile de fabricație cu destinație didactică, concepută și realizată de către membrii echipei de cercetare.

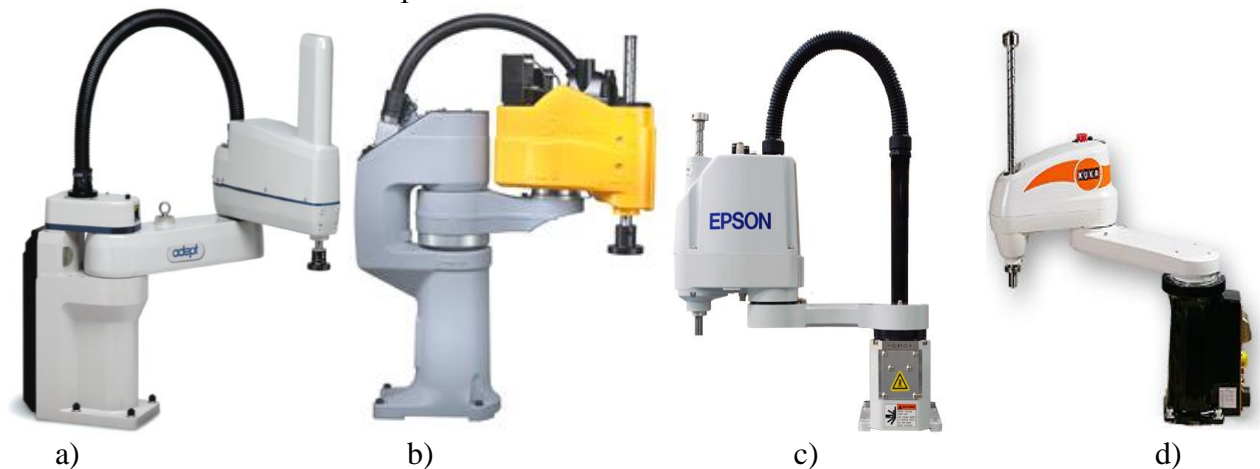


Fig.3 Structuri de roboți industriali de tip SCARA:
a) Adept e-Vario 600; b) TS40 STÄUBLI; c) G3 EPSON; d) KR5 KUKA

Performanțele dinamice ale unui robot industrial includ precizia, repetabilitatea, stabilitatea și complianța. Acești parametri depind de obiectul manipulat (sculă, dispozitiv, piesă sau semifabricat) și de funcțiile pe care acestea le are de îndeplinit, de geometria brațului (mecanismul generator de traiectorie), de precizia de poziționare a brațului. Un parametru vital ce face ca robotul să fie performant este *precizia de poziționare a brațului* în timpul unui ciclu de lucru. La rândul ei, precizia de poziționare poate fi influențată de structura mecanică a robotului și de răspunsul acesteia la solicitările exterioare, ceea ce face necesară un studiu al rigidității structurii. Din acest punct de vedere, rigiditatea este un parametru important în cazul structurilor de roboți industriali seriali, deoarece peste anumite

limite de solicitare se pot înregistra deformații ale componentelor structurale, ducând în final la precizii de poziționare scăzute.

Pe baza modelului real al robotului Adept e-Vario 600 pentru acest studiu s-a realizat o structură de robot serial de tip SCARA, cu o singură axă de mișcare, în două variante: model plan (2D) și 3D (prototip).

Pentru realizarea studiului experimental și numeric, structurile s-au considerat fixe (încastate) în placa de fixare și asupra lor s-au aplicat forțele F [N] în capătul liber. În figura 4 s-au reprezentat modelul C.A.D. a structurilor (prototip 3D și model 2D) cu elementele constructive ale acestora, având următoarele dimensiuni: $B_p=H_p=B_m=90$ mm; $b_p=h_p=b_m=80$ mm; $t_p=2,5$ mm; $D_p=84$ mm; $d_p=30$ mm; $t_m=6$ mm, $l_2=165$ mm, $l_3=255$ mm.

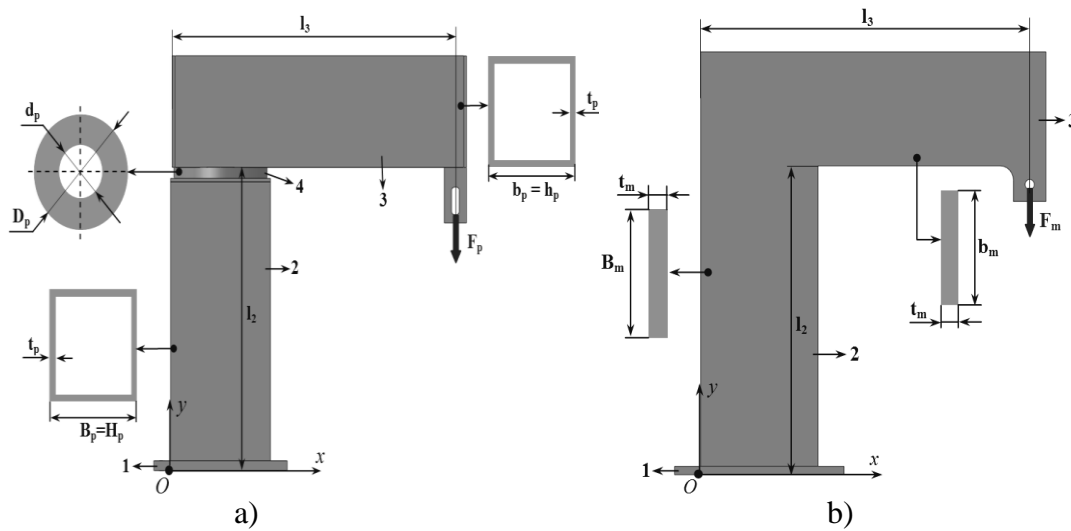


Fig.4 Structura C.A.D. a robotului SCARA – Adept e-Vario 600:
a) prototip (3D); b) model (2D),

unde: 1 – placa de prindere; 2 – modulul de bază; 3 – brațul robotului; 4 – cuplă de rotație

O primă etapă a studiului stării de tensiuni și deformații pentru robotul de tip SCARA existent în laboratorul de cercetare constă în construirea diagramelor de variație a eforturilor (eforturi axiale, tăietoare și momente de încovoiere), ceea ce va face cunoscut modul de solicitare a fiecărui element constituent, diagrame ce sunt valabile pentru ambele structuri considerate. Astfel, pe baza relațiilor uzuale din literatura tehnică de specialitate, s-au putut construi diagramele de eforturi. De cele mai multe ori, studiile experimentale în regim static sau dinamic realizate pe structuri reale nu sunt justificate din punct de vedere economic, mai ales în cazul structurilor complexe (ce prezintă ansamble din piese mecanice cu geometrie complexă, componente senzore, motoare de acționare etc.), așa cum e cazul roboților industriali. Aceste studii pot avaria structura mecanică sau elemente din structură făcând imposibilă implementarea și utilizarea acestora în celule de fabricație, după testarea lor experimentală.

Astfel, e necesară construirii unui *model prototip* (anexa 1) din materiale cu costuri convenabile, iar prelucrarea mecanică a pieselor să fie rapidă și ușoară.

Însă, din punctul de vedere al rezistenței materialelor, o structură realizată din materiale metalice se comportă diferit la solicitările mecanice exterioare față de o structură realizată din materiale nemetalice (cum ar fi rășina epoxidică). Acest fapt se datorează unei caracteristici de material – modulul de elasticitate longitudinal (E) sau modulul lui Young - ce este diferit pentru fiecare tip de material. Adică, materialele cu un modul de elasticitate mic sunt mai elastice, ca urmare deformațiile vor fi mari în raport cu forțele sau sarcinile exterioare aplicate; deci, va prezenta o rigiditate scăzută. Raționamentul este invers în cazul

materialelor cu elasticitate mare. Astfel, rezultatele obținute prin teste experimentale pe structuri prototip nu vor fi valabile (aceleași) și în cazul structurilor reale.

Trecerea de la un model prototip de studiu la modelul real se poate realiza cu ajutorul principiului de similitudine, exprimat prin legi de similitudine (aceste legi pot fi exprimate, de exemplu, în funcție de tensiuni sau deplasări). Prin legi de similitudine se poate stabili o legătură matematică, obținându-se rezultate cu precizie ridicată, dintre un model prototip și un model real, indiferent de valoarea modulului de elasticitate, de secțiunea transversală sau de forțele aplicate. Astfel, pe baza rezultatelor experimentale obținute în cazul structurii prototip (din rășină epoxidică) se pot determina cu ușurință rezultatele de interes pentru structura reală. Această metodă de calcul s-a aplicat și în cazul structurii robotului de tip SCARA, unde modelul experimental a fost realizat în parteneriat cu Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Facultatea Construcții de Mașini, stabilindu-se legi de similitudine cu privire la studiul tensiunilor și deplasărilor. Pentru acest studiu, modelul 2D s-a considerat structură prototip, iar modelul 3D – structura reală.

Identificarea relațiilor de similitudine existente între două structuri mecanice (model și prototip) permit determinarea deformațiilor prototipului atunci când se cunosc deformațiile modelului. Identificarea acestor relații de similitudine permite așadar determinarea comportării prototipului chiar dacă se acționează pe model, abordare extrem de utilă în procesul de proiectare. Dacă modelele utilizate sunt elaborate din rășini epoxidice, atunci comportarea lor poate fi investigată elegant și precis prin intermediul metodelor optice: motoada fotoelasticimetriei, corelarea digitală a imaginii etc. Așadar, investigarea comportării modelelor din rășină permite determinarea comportării prototipului dacă sunt cunoscute relațiile de similitudine dintre model și prototip. În cadrul acestei părți a raportului de cercetare se urmărește elaborarea unei proceduri de identificare a relațiilor de similitudine dintre robotul serial Fanuc LR Mate 100iB și un model de laborator existent în cadrul Academiei Forțelor Terestre „Nicolae Bălcescu” Sibiu, Lab. Tehnologii Logistice Avansate, construit din rășină epoxidică, și care încearcă să imite cât mai fidel detaliile constructive ale structurii reale.

În figura 5 se prezintă punctele alese spre studiul analitic, valabile pentru ambele structuri de robot (structură reală și prototip), pe modelul CAD a robotului.

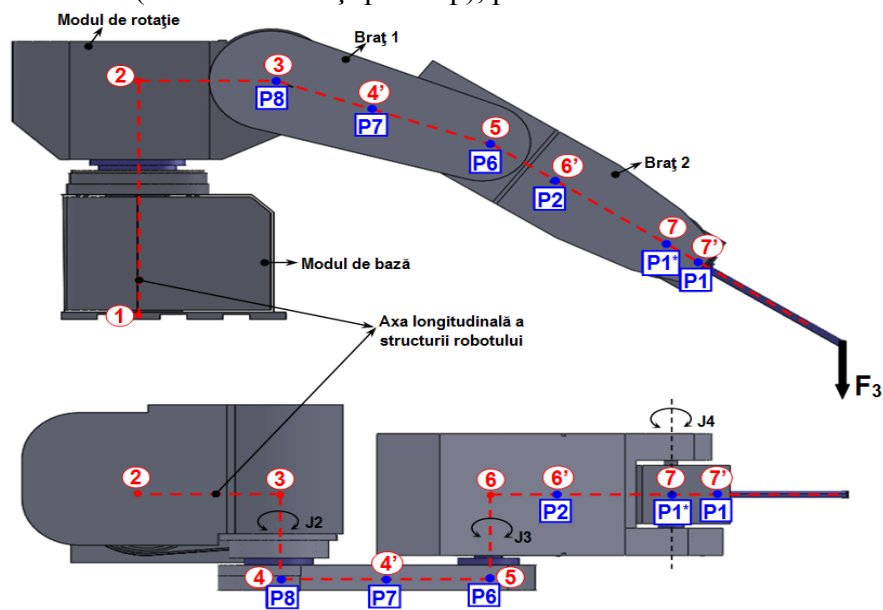


Fig. 5 *Reprezentarea punctelor luate spre studiul deplasărilor pe axa longitudinală a structurii robotului industrial serial Fanuc LR Mate 100iB*

Studiul robotului Fanuc are în vedere următoarele:

- determinarea deplasărilor în plan vertical (δ_y) pentru configurații alese spre studiu, atât experimental cât și teoretic și numeric;
- identificarea unei relații de similitudine între cele două structuri seriale (robot prototip – robot real), valabile pentru cele patru poziții alese și să furnizeze rezultate cu erori mai mici de 15%.

În acest scop se parcurg următoarele etape:

1. *Calculul teoretic* – utilizând metode energetice se determină deplasările teoretice (δ_y) pentru configurațiile de studiu, pentru ambele structuri seriale;
2. *Studiul experimental* – utilizând metode experimentale de investigare se determină deplasările pentru diferite puncte ale structurilor seriale (prototip și real);
3. *Verificarea rezultatelor* – primele două puncte ale abordării propuse vor asigura că relațiile teoretice obținute pentru deplasări sunt corecte dacă rezultatele experimentale converg către aceleași valori cu rezultatele teoretice, erorile acceptate fiind sub limita de 15%;
4. *Identificarea relațiilor de similitudine* – în baza relațiilor teoretice (validate anterior) obținute pentru deplasările (δ_y) în cazul celor două structuri se vor propune relații de similitudine, limita erorilor fiind de 15% între structura prototip și structura reală.

3.Considerații privind îndeplinirea obiectivului III.2

În figura 6 este prezentat modelul 3D al robotului Adept e-Vario, existent în Lab. Tehnologii Logistice Avansate, ce posedă în structura lanțului cinematic patru grade de libertate, fiind constituit din următoarele module: modulul 1 de bază reprezentată prin cupla de rotație J_1 cu rolul mișcării brațului în jurul acestei axe; brațul 2 al robotului, reprezentată prin cupla de rotație J_2 , cu rolul mișcării modulului de orientare în jurul acestei axe; modulul 3 de orientare, în structura căreia intra cupla de translație formată din mecanismul șurub-piuliță, ce se translatează în jurul axei J_3 ; dispozitivul de prindere 4 care este prins de mecanismul șurub-piuliță prin șuruburi și are rolul de a prinde și manipula diferite piese, realizând în acest fel o mișcare de rotație în jurul axei J_4 . De observat este și faptul că primele două module ale robotului (modulul de bază și brațul) sunt acționate cu ajutorul motoarelor electrice de curent continuu, iar mecanismul șurub-piuliță cât și dispozitivul de prehensiune (de prindere) sunt acționate de motoare pneumatice liniare, respectiv unghiulare.

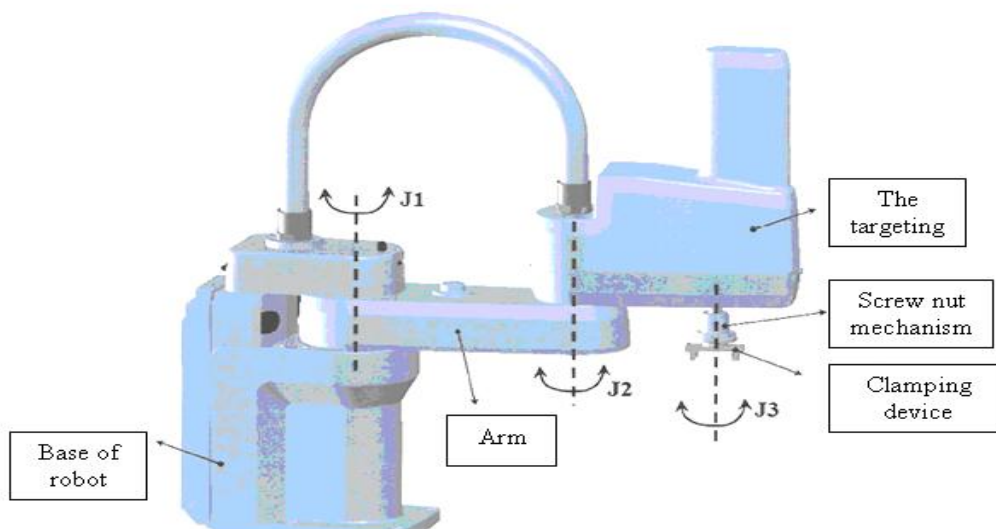


Fig. 6 Modelul 3 D al robotului Adept e-Vario Cobra 600

În figura 7 a este reprezentat modelul CAD al dispozitivului de prindere, prin intermediul căreia se poate observa că mișcarea de apucare-strângere a piesei se poate realiza cu ajutorul bacurilor ce culisează de-a lungul liniei de culisare. Dispozitivul de prindere prezentat în figura are un potențial de culisare maximă de 60 mm și minimă de 20 mm, ceea ce conduce la concluzia că robotul luat în studiu poate apuca piese cilindrice cu diametre cuprinse în intervalele prezentate mai sus.

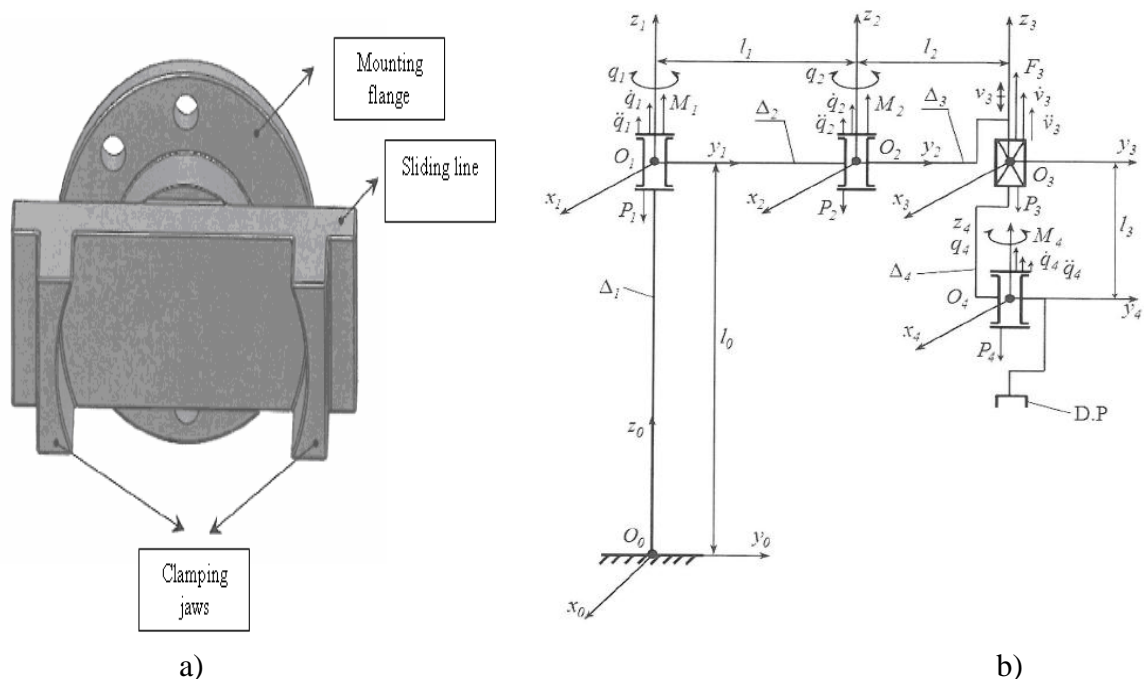


Fig. 7 a) Dispozitivul de prindere al robotului,
 b) Schema cinematică a robotului industrial tip RRTR

Pe baza modelului CAD realizat anterior, s-a realizat și schema cinematică a robotului luat în studiu (tip RRTR) spre implementare (fig. 7 b), în cadrul căreia s-au notat prin: $l_i, (i=0 \div 3)$ - parametrii constructivi ai robotului, $q_k, (k=1 \div 4)$ - coordonatele generalizate ale robotului, $\dot{q}_i, \ddot{q}_i, (k=1 \div 4)$ - coordonatele operaționale (viteze și accelerații liniare și unghiulare) ale robotului, $k=1 \div 4$ - numărul gradelor de libertate, $\bar{P}_i, (i=1 \div 4)$ - forțele de greutate corespunzătoare modulelor robotului și dispozitivului de prehensiune cu piesa prinsă în acest dispozitiv, $\bar{F}_i, (i=3)$ - forța motoare în care se include și forța rezistentă aferentă modulului 3, $\bar{M}_i, (i=1,2,4)$ - momentele motoare în care se includ și momentele rezistente aferente modulelor 1, 2, 4, $\Delta_i, (i=1 \div 4)$ - axe de rotație ale modulelor robotului industrial modular tip RRTR.

Pentru ca dispozitivul de prehensiune al robotului Adept e-Vario 600 să urmărească o traiectorie dată în cadrul celei flexibile de fabricație cu destinație didactică, este necesar controlul coordonării tuturor gradelor de libertate privind poziția, viteza și accelerația pe fiecare cuplă motoare. Pentru aceasta s-a efectuat un studiu geometric direct și invers, utilizând metoda matricelor de rotație 3*3, în vederea determinării vectorului \bar{X}^0 coloană al coordonatelor operaționale care exprimă poziția dispozitivului de prehensiune printr-un punct al său de coordonate p_{x5}, p_{y5}, p_{z5} și prin elementele $\alpha_z, \beta_x, \gamma_z$ ale matricei de orientare. Totodată, considerând cunoscute limitele de cursă ale robotului și următoarele

dimensiuni geometrico-constructive: $0, \pi$ pentru q_1 , $\frac{\pi}{4}, \frac{3\pi}{4}$ pentru q_2 , $[0,1]$ pentru q_3 , $-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}$ pentru q_4 , $l_0 = 0,387[m], l_1 = 0,20[m], l_2 = 0,15[m], l_3 = 0,2[m], l_4 = 0,22[m]$ și considerând că mișcarea punctului caracteristic al dispozitivului de prehensiune urmărește o curbă, se poate evidenția workspace-ul robotului studiat (fig. 8). Având în vedere aceste date se poate concepe și proiecta o celulă flexibilă de fabricație cu scop didactic și de cercetare științifică care reprezintă modulul educațional *e-Robmilcap* util în desfășurarea orelor cu cursanții înscriși la programul de masterat *Management și Tehnologie* din cadrul academiei noastre.

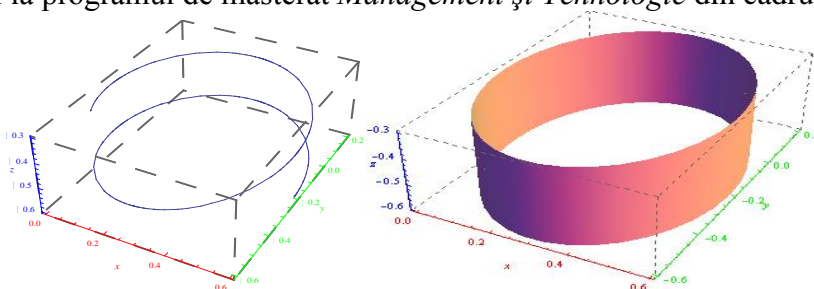


Fig. 8 Traiectoria punctului caracteristic al dispozitivului de prehensiune

Conflictele militare recente au demonstrat că este absolut necesară o reevaluare a forțelor, mijloacelor și a procedurilor operaționale de utilizare a acestora, punând pe primul plan factorul uman, urmărindu-se a limita pierderile de vieți atât în rândul militarilor, cât și civililor ce nu sunt parte a conflictului. Factorul uman a devenit elementul central în confruntările militare, ce a impus o dezvoltare fără precedent a mijloacelor utilizate, generând creșterea exponențială a cheltuielilor pentru cercetare în domeniul militar în ultimii ani. Astfel, domeniul vehiculelor fără pilot este unul ce a trecut de mult de zona *science-fiction*, devenind parte a acțiunilor militare intens mediatizate în mass-media.

Sistemele de observare, recunoaștere, detecție și armele de foc ce echipează mijloacele terestre fără pilot au determinat necesitatea înzestrării cu astfel de mijloace a structurilor militare ce acționează în teatrele de operații. S.U.A. a dezvoltat deja o serie de UGC-uri utilizate în conflictele din Irak și Afganistan: *The Gladiator Tactical Unmanned Ground Vehicle (TUGV)* și *The Foster-Miller TALON*, iar Israelul folosește deja sistemul *The Guardian* în confruntările din Cisiordania și Gaza.

Minirobotul pe roți proiectat, programat și realizat ca și prototip funcțional în cadrul Lab. *Tehnologii Logistice Avansate*, din cadrul Academiei Forțelor Terestre “Nicolae Bălcescu” Sibiu, face parte din rândul mijloacele terestre fără pilot având capacitatea de a acționa în mod autonom și putând fi echipat cu mijloace de observare, ascultare, interceptare, retranslație și bruiaj. Realizarea acestui prototip funcțional, vine să încurajeze și să inoveze activitatea de cercetare științifică în domeniul roboticii pe tărâm militar, acesta fiind realizat, ca și noutate științifică, din fondurile contractului de cercetare pe care îl derulăm în această perioadă. Pentru a fundamenta științific partea aplicativă reprezentată de conceperea, proiectarea, modelarea, realizarea și simularea practică a minirobotului pe roți “*Robo Security*”, în această lucrare sunt evidențiate câteva aspecte privind integrarea componentei hardware și a componentei software în structura mecanică a minirobotului realizat de către membrii echipei de cercetare și masteranzi înscriși la programul *Management și Tehnologie*. **Documentația, soluția constructivă și funcțională a acestui prototip a fost prezentată și depusă** structurilor decizionale abilitate din M.Ap.N pentru obținerea avizului de proiectare și realizare la mărimea optimă a minirobotului care ulterior va fi implementat și brevetat în cadrul unor activități corespunzătoare de securitate militară. Partea practică este fundamentată din două perspective și anume: hardware și software, ce permit realizarea

practică, modelarea și simularea minirobotului. Prototipul minirobotului de față (fig.9), realizat și conceput din fondurile contractului de cercetare nr. 59/2010 – faza a III-a, reprezintă un dispozitiv ușor manipulabil a cărui dezvoltare permite o adaptare pentru numeroase domenii de aplicabilitate. Deplasarea minirobotului se poate realiza în mod autonom, atât prin wireless, cât și prin bluetooth.

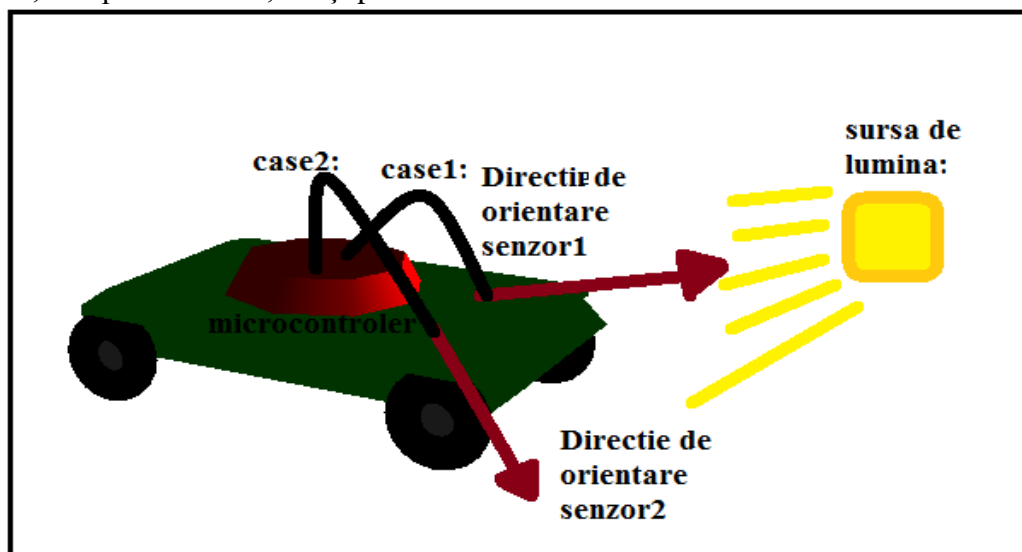


Fig. 9 Programarea senzorilor pe cazuri în structura mecanică a minirobotului

Tot în această etapă a proiectului s-a realizat, într-un mod original, concepția, proiectarea, simularea și realizarea practică a unui prototip de minirobot mobil pe șenile menit să servească operațiunile geniste ale armatei României la observarea în timp real a câmpului operațional, precum și monitorizarea video a acestuia în vederea cercetării munițiilor UXO și IED, având ca principal scop reducerea riscurilor din care ar putea rezulta pierderea sau rănirea personalului militar. Singurele forțe cu personal specializat care pot înlătura amenințările generate de munițiile neexplodate sau de către dispozitivele explozive improvizate sunt structurile EOD. Numărul redus al acestor structuri presupune o planificare judicioasă și o concentrare eficientă a eforturilor lor pentru îndeplinirea misiunilor de sprijin ce le revin. Prototipul minirobotului conceput, proiectat și realizat în cadrul *Lab. Tehnologiei Logistice Avansate*, din cadrul Academiei Forțelor Terestre „Nicolae Bălcescu” Sibiu, denumit *Robo Geniu*, reprezintă o activitate de cercetare susținută și realizată din fondurile contractului de cercetare mai sus menționat, o noutate științifică pe tărâm militar românesc. **Documentația produsului mecatronic, proiectată la mărime naturală și susceptibilă de realizare practică a fost depusă la OSIM în vederea analizei și obținerii unui brevet de invenție**, după obținerea tuturor avizelor necesare din partea instituției coordonatoare de contract, cunoscând faptul, că la ora actuală, un astfel de dispozitiv mecatronic reprezintă o noutate științifică în domeniul miliar românesc.

Din cauza pierderilor de vieți omenești de-a lungul timpului, oamenii au devenit din ce în ce mai creativi și ingenioși astfel încât viața lor să nu mai fie pusă în pericol. Dezvoltarea tehnologiei și a informaticii avansate a generat evoluția roboților într-un mod rapid, spectaculos și complex. Sub aceste auspicii, putem afirma că ideea concepției și realizării practice a prototipului *ROBO GENIU*, un minirobot pe șenile construit pentru culegerea de informații video din locurile unde operatorul uman nu poate ajunge, ori viața lui este pusă în pericol a devenit o necesitate de mare actualitate pentru înzestrarea armatei României. Acesta este alcătuit din două părți componente principale și anume: platforma cu șenile și brațul mobil mecanic atașat acesteia având la capăt încorporată o cameră wireless pentru transmiterea imaginilor în timp real operatorului uman.

ROBO GENIU este destinat culegerii de la distanță a informațiilor video din locurile periculoase sau neaccesibile operatorului uman. Pentru a reuși îndeplinirea misiunii pe care acesta o are, arhitectura *ROBO GENIU* cuprinde: platforma de bază, sistemul de telecomandă, echipament video pentru culegere de informații, platforma software pentru managementul activităților robotului (fig.10).



Fig. 10 Prototipul funcțional al minirobotului pe șenile Robo Geniu

Brațul mobil mecanic atașat platformei este alcătuit din: piese de asamblare, 2 motoare de curent continuu (unul care generează mișcarea de rotație și unul care generează mișcarea de translație), placa de comandă a brațului, o baterie de 9 V și radio-telecomanda. Centrul de comandă al sistemului locomotor alimentat de la o baterie de 9 V este alcătuit dintr-un driver de motoare având o intensitate de 2 amperi care poate comanda două motoare de curent continuu, conectate în pini cu șurub marcați "MOTOR1" și "MOTOR2", alimentarea pentru cele două motoare făcându-se prin conectarea la pinii cu șurub marcați "VIN" și "GND" și o platformă de procesare open-source bazată pe software și hardware flexibil și simplu de folosit. Schema bloc a minirobotului studiat a fost configurată conform figurii 11.

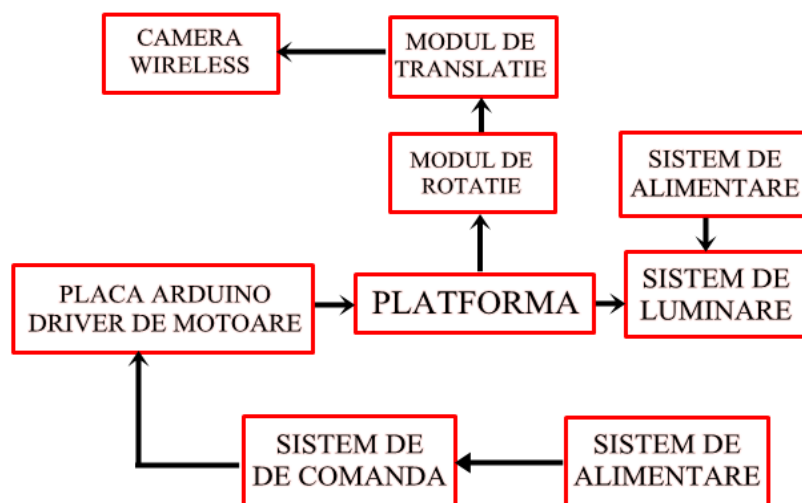


Fig. 11 Schema bloc a minirobotului ROBO GENIU

4.Considerații privind îndeplinirea obiectivului III.3

În această parte a lucrării, membrii echipei de cercetare au propus, pe baza determinării spațiilor de lucru determinate în al doilea capitol, proiectarea de principiu a unei celule flexibile de fabricație destinate asigurării activităților de mentenanță în cadrul structurilor logistice militare de profil, respectiv a operațiilor de tinichigerie și vopsire, pentru unele mașini militare de luptă, de diferite categorii, celulă care să fie deservită de un robot industrial tip *RTT* și *RTR*. În cadrul C.F.F. roboții destinați implementării efectuează operațiile de descărcare a caroseriile blindate de pe platforma feroviară pe banda transportoare, respectiv de încărcare a caroseriile prelucrate de pe banda transportoare înapoi pe platforma feroviară iar robotul articulat industrial *TRTTR* va efectua operațiile de mentenanță specifice propriu-zise. Schema cinematică structurală a celulei este prezentată în figura 12.

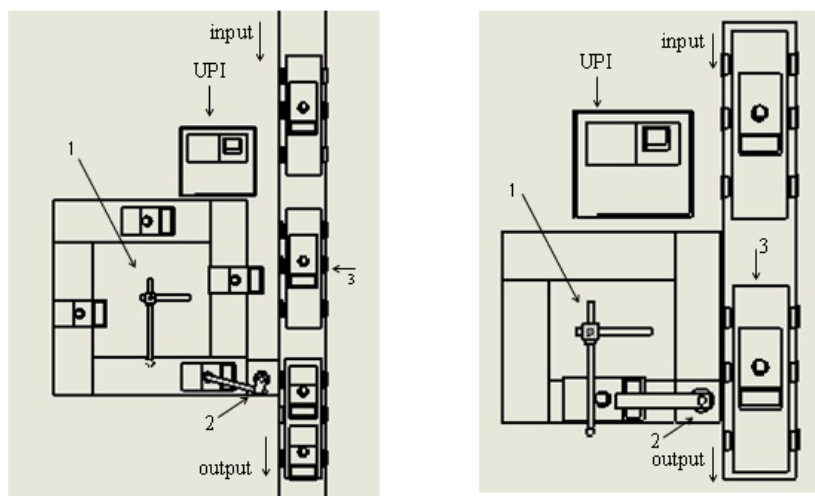


Fig. 12 Celula flexibilă de fabricație, compusă din:
1 – robotul *TRTTR*; 2 – robotul *RTT / RTR*; 3 – platforma feroviară care transportă caroseriile; UPI – unitatea de prelucrare a informației

Pentru realizarea acestei celule flexibile de fabricație studiul a debutat cu etapa analizei sarcinii de producție, în cadrul căreia s-a determinat nucleul tipologic al reperelor reprezentative ce urmează a fi prelucrate; s-a continuat cu etapa determinării configurației statice a celulei flexibile de fabricație, în scopul stabilirii tipului și numărului de module aferente operațiilor de executat. S-a ales pentru implementarea roboților o celulă cu organizare de tip circuit (în paralel) a patru benzi transportoare, trecerea de pe o bandă pe alta făcându-se liber, prin cădere, așezând benzile la înălțimi diferite, în mijlocul cărora se află robotul destinat executării operațiilor de mentenanță și micșorând astfel, spațiul de manipulare al robotului (figura 13).

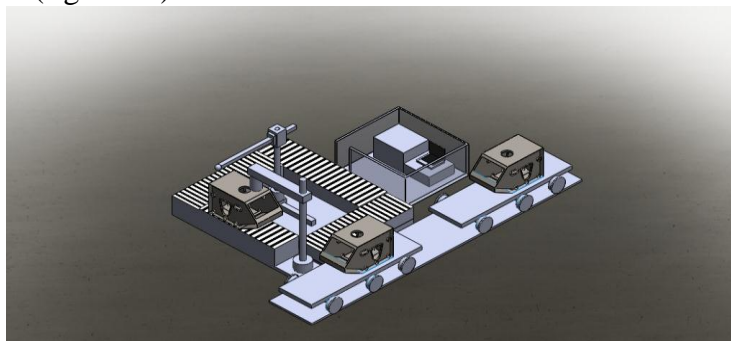


Fig. 13 Modelul 3D al celulei flexibile de fabricație, varianta cu robotul *RTR*; (vedere de ansamblu)

Celula flexibilă de fabricație a fost concepută pentru executarea lucrărilor de mentenanță la autovehiculele militare de luptă, dar poate fi implementată și în mediul industrial civil, acela al construcției de mașini, prin modificarea caracteristicilor tehnice ale obiectului de manipulat.

Având în vedere dimensiunile de gabarit ale robotului industrial tip RRTR și cunoscând legea și graficul de mișcare al traiectoriei punctului caracteristic al dispozitivului de prehensiune, determinată în capitolul doi, s-a conceput și realizat celula didactică *e-Robmilcap* prezentată 3D în figura 14. Se pot observa elementele constitutive principale ale celulei flexibile deservită de robotul studiat, robot ce va avea rolul de a manevra și aranja piese cilindrice de trei culori diferite (galben, violet, albastru).

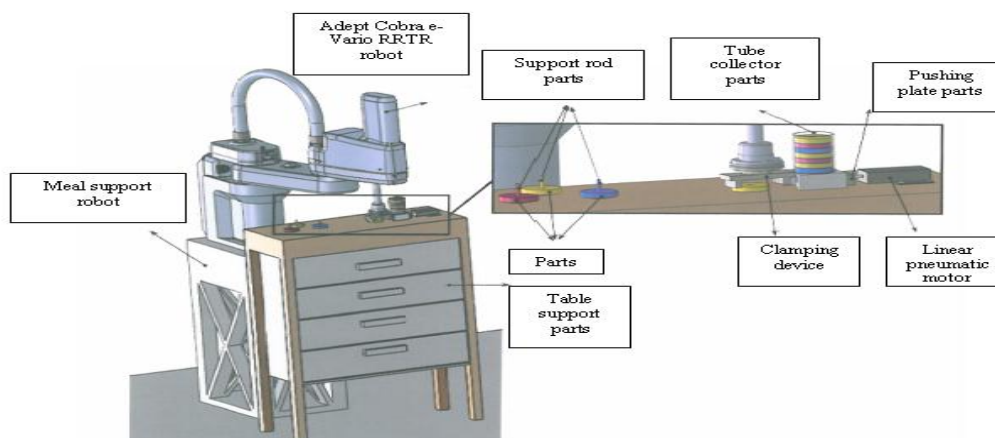


Fig. 14. Celulă didactică de manipulare a pieselor deservită de robotul industrial Adept Cobra e-Vario (tip RRTR)

În ceea ce privește ciclul de lucru al robotului (fig. 15) în cadrul celulei flexibile didactice se menționează patru mari etape și anume:

- Etapa I: în cadrul acestei faze piesele sunt stocate aleator (după culoare) în tubul de colectare;
- Etapa II: după stocarea pieselor, cu ajutorul tijei (care este prevăzută de un element de împingere) motorului pneumatic liniar, piesele sunt împinse pe rând în poziția de apucare a dispozitivului de prehensiune al robotului;
- Etapa III: în această fază a operației, se realizează mișcarea de apucare-prindere a pieselor (una câte una) de către gripper-ul robotului și deplasarea acestuia;
- Etapa IV: după deplasarea pieselor de către gripper, acestea sunt așezate ordonat, rând pe rând, funcție de culoarea sa, pe cele trei tije montate pe masa de lucru.

Astfel, la sfârșitul ciclului de lucru, toate piesele sunt așezate ordonat funcție de culoarea sa, pe cele trei tije montate pe masa de lucru. Menționăm și faptul că un alt posibil ciclu de funcționare al robotului ar putea fi introducerea pieselor în mod aleator în tubul de colectare (operația inversă).

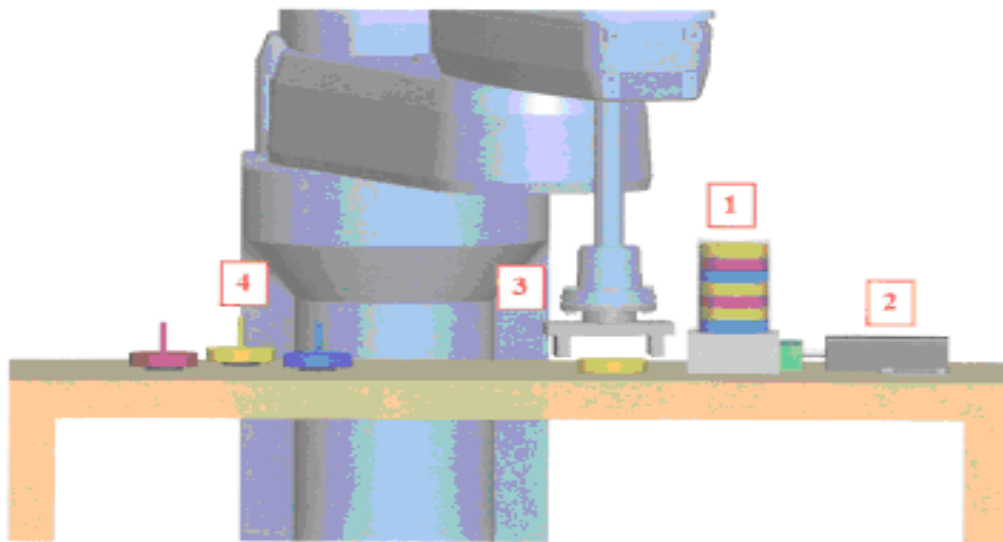


Fig. 15 Ciclul de lucru în cadrul C.F.F. a robotului industrial Adept Cobra e-Vario (tip RRTR)

Scopul acestei celule didactice flexibile concepută, proiectată și realizată în cadrul *Laboratorului de Tehnologii Logistice Avansate*, este de a realiza mișcarea de manipulare, sortare și aranjare a unor pise cilindrice de diferite culori pe tijele corespunzătoare și/sau în tubul de colectare evidențind, în acest fel, precizia de poziționare ridicată a robotului Adept Cobra e-Vario 600, existent în laborator. Totodată, membrii echipei de cercetare, au reușit realizarea unei analize numerice, pe baza observării mișcărilor realizate pas cu pas de către robotul luat în studiu, a deformațiilor și tensiunilor în regim dinamic. Scopul analizei în regim dinamic utilizând metoda elementului finit (MEF) a constat în determinarea deplasărilor tensiunilor pentru structura de rezistență și a cuplelor de rotație și translație $J_1 \div J_4$ din componența robotului industrial tip RRTR, atunci când acesta efectuează o sarcină simplă de manipulare. Analiza dinamică cu *MEF* s-a realizat în mediul virtual al programului *Visual Nastran*, program dedicat analizelor structurale și dinamice a diferitelor ansamble mecanice.

5. Aspecte privind funcționarea laboratorului „Tehnologii logistice avansate” din Academia Forțelor Terestre în sprijinul formării resursei umane pentru organizația militară

În mod evident soluțiile e-learning din domeniul roboticii industriale și mecatronicii pot fi spectaculoase ca design, dar foarte greu de implementat. Promovarea modulului educațional, denumit *e-Robmilcap*, va avea drept efect crearea unei comunități de dezvoltatori de conținut care să asigure progresul e-learning-ului pe de o parte, iar pe de altă parte, va pune la dispoziția masteranzilor un nou modul de instruire și educație adecvat noilor paradigme educaționale.

În completul Lab. Tehnologii Logistice Avansate își face simțită prezența, de anul acesta, și un robot umanoid mobil autonom tip NAO Next Gen (fig. 16) – sigla Aldebaran Robotics - Paris, robot ce posedă 25 de grade de libertate utilizat în activitățile didactice cu studenții și masteranzii înscriși la programele de studii universitare din instituția noastră, fiind al treilea centru universitar din țară care achiziționează o astfel de structură mecatronică. Sunt surprinse în figurile de mai jos principalele realizări și echipamente din cadrul Lab. Tehnologii Logistice Avansate, laborator realizat și dotat corespunzător din fondurile contractului de cercetare nr. 59/2010, cod CNCS TE_10.



Fig. 16 *Principalele dotări în cadrul laboratorului*

Evidențiem deasemenea, desfășurarea în data de 11 mai 2012 a unei activități deosebit de importante pentru formarea resursei umane de specialitate în domeniul logisticii militare, workshopul “*Posibilități de îmbunătățire a performanțelor sistemelor logistice militare prin implementarea unor tehnologii moderne. Abordări în viziunea tinerilor cercetători*” (fig.17), ocazie cu care s-a editat un volum ce a reunit lucrările reprezentative a 13 cercetători (studenți, masteranzi și doctoranzi) de la 4 centre universitare din țară.



Fig.17 *Sigla și volumul workshopului*

6. Diseminarea cunoștințelor

Diseminarea cunoștințelor generate în prezenta etapă de cercetare s-a realizat prin participarea tuturor membrilor echipei de cercetare la diferite activități în domeniu, conform ariilor de competență, sinteza principalelor produse științifice fiind următoarea:

- susținere teze de doctorat (2 membri);
- realizarea practică a unor prototipuri de miniroboți pentru diferite activități militare de suport, care deservește Laboratorul de specialitate (2 produse);
- cărți, manuale, cursuri de specialitate publicate/în curs de publicare la edituri recunoscute din țară și din străinătate (4);
- articole publicate/în curs de publicare în reviste cotate ISI (6);
- articole publicate/ în curs de publicare în reviste indexate în BDI sau B+ (7);
- articole prezentate în cadrul unor conferințe internaționale și publicate în volumele aferente (4);
- articole prezentate în cadrul unor conferințe naționale și publicate în volumele aferente (2);
- realizarea a 4 lucrări de licență în domeniul tehnologiilor mecatronice aplicate, folosind infrastructura didactică a laboratorului;
- depunerea la OSIM spre analiză a documentației tehnice aferente unui minirobot pe șenile destinat aplicațiilor speciale militare cu risc ridicat.

Recunoașterea rezultatelor bune obținute în cadrul etapelor desfășurate până în prezent, dar mai cu seamă în cadrul etapei a III-a, a fost marcată prin obținerea de către directorul de proiect a unor distincții și premii importante la nivelul Ministerului Apărării Naționale, secțiunea “Învățământ, știință și artă militară” și prin mediatizarea în cadrul presei militare (Observatorul militar) și civile (Univers ingineresc).

7. Concluzii

Ingineria industrială este o ramură a științelor ingineresti care se ocupă cu optimizarea proceselor sau a sistemelor. La modul cel mai general, conform Manualului de inginerie industrială cel mai cunoscut editat de Maynard în 1975, aceasta se referă la proiectarea, perfecționarea și aplicarea în practică a sistemelor integrate compuse din oameni, material și echipamente. Ea se bazează pe cunoștințe și experiență de specialitate în științele matematice, fizice și sociale precum și pe principiile și metodele ingineresti de analiză și proiectare pentru prognozarea, specificarea și evaluarea rezultatelor ce se obțin prin astfel de sisteme. Activitățile de bază din acest domeniu sunt reliefate, de cele mai multe ori, prin citarea lor așa cum au fost prezentate de către Institutul American al inginerilor industriali: selecția proceselor tehnologice și a proceselor de asamblare; alegerea și proiectarea echipamentelor; proiectarea facilităților și a echipamentelor pentru activități logistice; proiectarea și perfecționarea sistemelor de planificare și de control pentru distribuția bunurilor și serviciilor, producție, stocuri, calitatea produselor etc.; proiectarea și perfecționarea sistemelor de control al cheltuielilor; dezvoltarea produselor; proiectarea și aplicarea practică a sistemelor informaționale pentru conducere; proiectarea și aplicarea practică a sistemelor de remunerare; proiectarea criteriilor și a mijloacelor de evaluare în diverse activități; cercetări operaționale; sistemele, metodologiile și politicile privind lucrările funcționărești; planificarea și proiectarea organizatorică etc.

Apreciem că prin cercetările efectuate în această etapă se răspunde unor astfel de deziderate, s-au îndeplinit toate obiectivele propuse și, coroborat cu nivelul de diseminare atins, se realizează premise autentice pentru începerea activităților prevăzute în etapa a IV-a și, implicit, pentru finalizarea proiectului. Modul cum s-a desfășurat cercetarea demonstrează pe deplin că abordările de tip interdisciplinar întreprinse pentru aplicații dedicate domeniului

militar constituie un model viabil și chiar o necesitate, complexitatea problematicii necesar a fi investigate susținând aceste considerații.

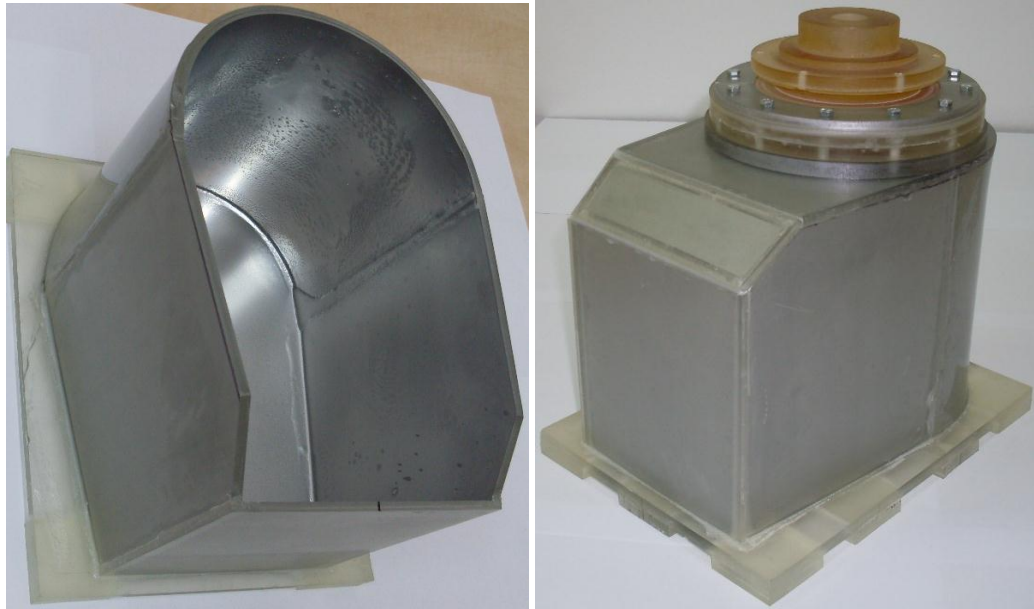
În susținerea afirmațiilor până acum exprimate, am ales ca sprijin câteva din gândurile cunoscutului profesor dr. Abrudan Ioan, inginer și economist, un susținător al interdisciplinarității, care, într-un editorial din 2011 al Revistei de inginerie și management afirma: “...*fiecare sistem de producție, fiecare tip de activitate, a generat o situație particulară dar, spațiul dintre general și particular, este un adevărat „rezervor” de productivitate exploatat prin flexibilitate. Privind problema dintr-o altă perspectivă, fiecare caz particular a trimis înspre patrimoniul general de cunoștințe un set de semnale care puteau fi validări pentru ceea ce, deja, era cunoscut, sau noi paradigme pentru situații viitoare. Progresul rezultă, astfel, dintr-o dinamică de gen „propulsare-remorcare” în care, în primul timp, se revelează particularul iar, în timpul al doilea, acesta atrage progresul a ceea ce este deja stăpânit de cunoașterea umană.*”

Conform Societății Inginerilor de Logistică din Marea Britanie “...sistemele logistice moderne sunt lanțul și urzeala țesutului ce dă coeziune societății noastre. Ele nu distribuie doar mărfuri și servicii pentru a satisface nevoile și dorințele materiale, ci și ideile ce propagă progresul cultural, social și economic. Calitatea suportului logistic poate adesea explica succesul sau eșecul unei realizări.” Desigur că această modalitate de definire poate fi extrapolată și în domeniul logisticii militare și avem în atenție în susținerea acestei afirmații, în primul rând, diversitatea tehnologiilor și metodologiilor implicate, atât în context național, dar mai ales în context multinațional, când problematici precum interoperabilitatea și comunalitatea, potențează și mai complex domeniul și implicit toate interdependențele dintre sistemul logistic militar și alte domenii ale organizației militare (operații și instrucție, financiar, resurse umane, comunicații și informatică etc).

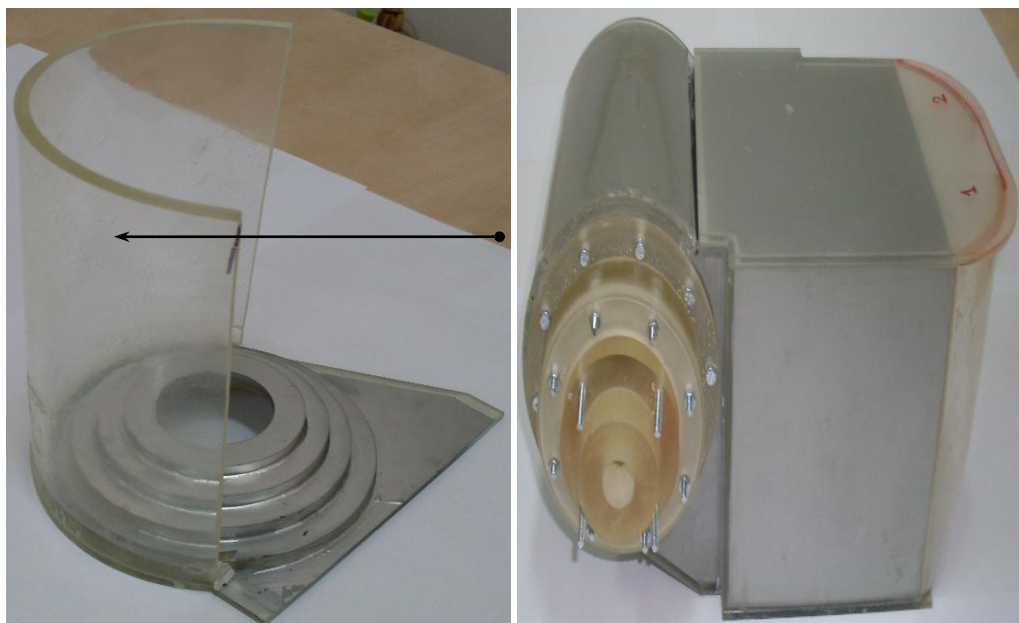
8. Bibliografie selectivă

- [1] Bârsan, Gh., Giurgiu, Luminița, Bumbuc, Ștefania, *Web-Pedagogie și e-content în domeniul teoriei curgerii plastice*, Editura Academiei Forțelor Terestre “Nicolae Bălcescu” Sibiu, 2008.
- [2] Bejan, M., *Rezistența materialelor*, Ed. AGIR, vol 1-2, București, 2005.
- [3] Belcin, O.V., *Mecanisme și organe de mașini*, Ed. U.T.Press, Cluj-Napoca, 2001.
- [4] Corke, P.I., *Robotics Toolbox – for use with MATLAB (Release 3)*, Preston, Australia, 1996.
- [5] Davidoviciu, A., ș.a., *Modelarea, simularea și comanda manipuletoarelor și roboților industriali*, Ed. Tehnică, București, 1986.
- [6] Drimer, D., ș.a., *Roboți industriali și manipuletoare*, Ed. Tehnică, 1985.
- [7] Gupta, K.C., *Mechanics and control of robots*, Springer-Verlag, New York, 1997.
- [8] Ispas, V., *Roboți: studii, calcule, concepție, proiectare, construcție, implementare*, E.D.P., vol. I, București, 2006.
- [9] Kapoor, C., Cetin, M., Pryor, M., Cocca, C., Harden, T., Tesar, D., *A software architecture for multi-criteria decision making for advanced robotics*, Proceedings of the 1998 IEEE ISIC/CIRA/ISAS Joint Conference, Gaithersburg, MD, pp. 525-530.
- [10] Lee, J., *Velocity workspace analysis for multiple arm robot systems*, Robotica, 19 (2001), pp. 581-591.
- [11] Petrișor, S.M., Bârsan, Gh., *Functional and constructive optimization of a serial-modular industrial robot implemented within a single purpose flexible manufacturing cell*, Journal of Applied Mechanics and Materials, vol. 186 (2012), pp. 239-246, Trans Tech Publications, Switzerland, AMM 186.239, ISBN-13: 978-3-03785-444-0.
- [12] Petrișor, S.M., *Roboți industriali utilizați în aplicații speciale*, Editura Academiei Forțelor Terestre “Nicolae Bălcescu” Sibiu, 2010.

*Construcția structurii prototip al robotului Fanuc LR Mate 100i
existent în Laboratorul Tehnologii Logistice Avansate*



a) b)
Fig. 1 Modulul de bază: a) în faza de construcție;
b) ansamblul final (modul de bază și cupla J1)



a) b)
Fig. 2 a) Element semicircular din construcția modulului de rotație;
b) Modulul de rotație în faza de construcție



a)



b)

Fig. 3 Brațul 1: a) în faza de construcție; b) variantă finală



a)



b)

Fig. 4 Brațul 2: - *Parte superioară (în faza de proiectare);*
b) Parte inferioară (variantă finală)



Fig. 5 *Subansamblu braț 1, braț 2 și modul de orientare*

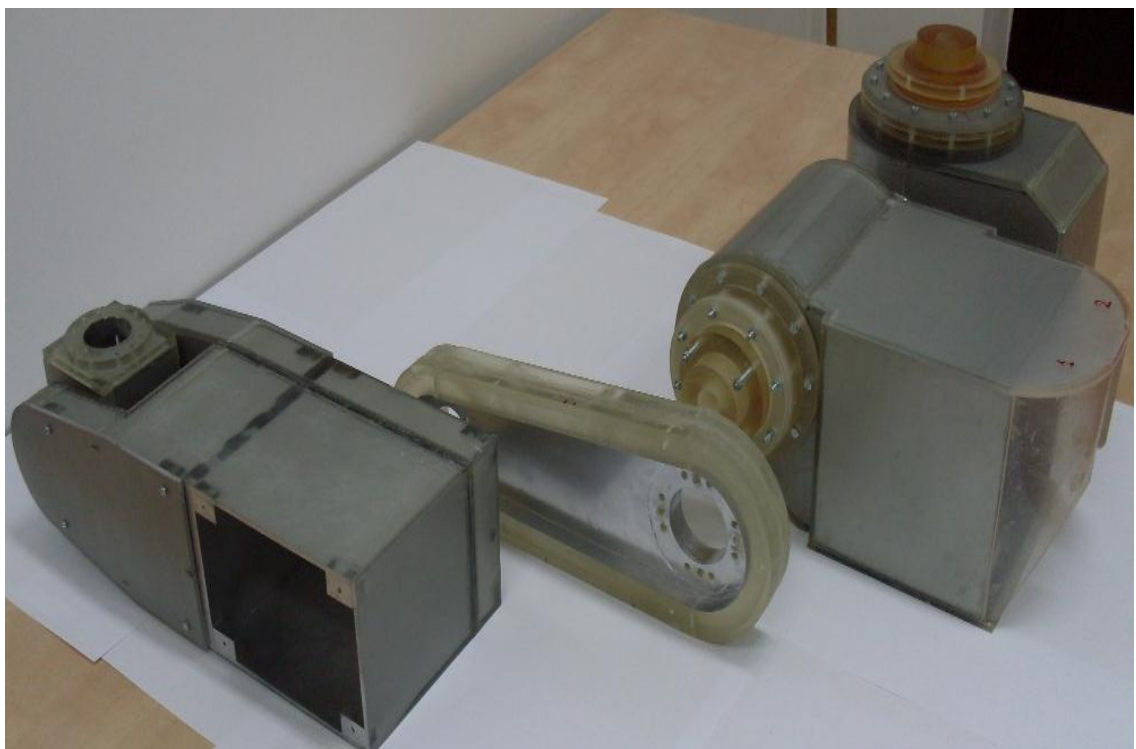


Fig. 6 *Vedere de ansamblu a modulelor din structura robotului realizate din rășină epoxidică (modul de bază, braț 1, braț 2, MO și cuplele de rotație aferente)*



Fig. 7 Robot Fanuc realizat din rășină epoxidică – ansamblu fără capacele brațelor 1 și 2