





Universitatea POLITEHNICA din București
Facultatea Ingineria și Managementul Sistemelor
Tehnologice



Journal of Industrial Engineering and Robotics

2017, Volume 1, Issue 1

Comitetul Științific al Revistei de Inginerie Industrială

Prof. dr. ing.	COMĂNESCU Adriana
Prof. dr. ing.	COTEȚ Costel Emil
Prof. dr. ing.	DOBRESCU Tiberiu
Prof. dr. ing.	GHEORGHE Marian
Prof. dr. ing.	GHICULESCU Daniel
Prof. dr. ing.	MOHORA Cristina
Prof. dr. ing.	NICOLESCU Adrian
Prof. dr. ing.	PĂRĂUȘANU Ioan
Prof. dr. ing.	PLEȘCA Marcel
Prof. dr. ing.	PRODAN Dan
Prof. dr. ing.	PUPĂZĂ Cristina
Prof. dr. ing.	SAVU Tom
Prof. dr. ing.	SEVERIN Irina
Prof. dr. ing.	SOLOMON Gheorghe
Prof. dr. ing.	VELICU Ștefan
Prof. dr. ing.	ZAPCIU Miron
Conf. dr. ing.	BARDAC Doru
Conf. dr. ing.	BĂLAN Emilia
Conf. dr. ing.	CROITORU Sorin Mihai
Conf. dr. ing.	ENCIU George
Conf. dr. ing.	GÂRLEANU Gabriel
Conf. dr. ing.	NEACȘA Marin

Editori

Prof.dr.ing.ec.	DOICIN Cristian
Conf.dr.ing.	VLĂSCEANU Daniel

**Volumul cuprinde lucrările premiate la Sesiunea de Comunicări Științifice
Studentești – Mai 2017, în cadrul Secțiunilor:**

1. Rezistența Materialelor – S06-01	Pag. 1 46
2. Logistică Industrială – S06-02	Pag. 47 64
3. Sisteme Logistice Industriale – S06-03	Pag. 65 98
4. Robotică în Industrie și Servicii – S06-04	Pag. 99 135
5. Concepția și Exploatarea Sistemelor de Producție Robotizate – S06-05	Pag. 136188
6. Proiectare, Modelare-Simulare și Inginerie Asistată în Robotică – S06-06	Pag. 189 220

Cuprins

Concentrarea tensiunilor în arbori cu variații de diametru. Studiu analitic, numeric și experimental NICULAE Andrei Laurențiu, DUȚU Silvia-Alexandra, CONȚIU Rareș	1
Calculul static al unei aripi cu profil deformabil VELEȘCU Ioan-Alexandru	6
Testarea la forfecare a miezurilor din polistiren extrudat utilizate la fabricarea plăcilor sandwich CHELMUȘ Adalia , ADOMNOAE Nicolae, ISMAIL Ainur	11
Analiza modală a unei plăci din borosilicat prin modelare cu element finit și prin calcul experimental VĂSESCU Lidia	16
Analiza statică și de stabilitate axial simetrică a unei structuri cilindrice. HOTHAZIE Ștefan	22
Determinarea numerică a factorului de intensitate a tensiunii la vârful unei fisuri din apropierea unei găuri. NEGRESCU Mario-Alin, SAVU Mihai-Costin	30
Optimizarea unei componente de susținere a motorului unei nave spațiale. BIBIRE Radu-Petru	34
Studiu analitic, numeric și experimental al încovoierii unor eșantioane de panou sandwich cu fețe din aluminiu și miez din polistiren extrudat. SCARLAT Bogdana, DINU Vlad	43
Algoritmi matematici în fluxuri logistice. BĂDIȚA Livia	47
Optimizarea fluxului de distribuție a pieselor mecanice în zona de asamblare motor a autovehiculelor. NEAGU Anca-Ștefania	53
Studiu comparativ privind sistemele automate de colectare și procesare a recipientelor din sticlă. OPREA Ionel Constantin	59
Cercetări teoretice privind dezvoltarea și realizarea unui flux complet automatizat pentru cultivarea florilor de ghivece în mediu controlat. NECHIFOR Ionut-Alexandru	65
Sisteme automatizate de depozitare pentru creșterea în mediu controlat a florilor de ghiveci. SERAFIMESCU Silviu Cristian, NECHIFOR Ionuț Alexandru	69
Sisteme de alimentare transport-transfer a produselor de tip ghivece cu flori. NECHIFOR Ionut Alexandru, TOMESCU Denisa-Elena	73
Studiu teoretic privind tipurile de sisteme de sortare și împachetare. MITROI Viorel-Ionuț-Marius	77
Proiectarea interfeței scada pentru comanda și controlul platformei pneumatice. GRIGORE Razvan	83
Stand automatizat pentru sortare. PARASCHIV Eliza	87
Proiectarea interfeței software pentru comanda și controlul platformei cu HMI și inverter. STANCIU Gabriela	91
Simularea și programare offline pentru o celulă flexibilă de procesare panouri LCD în camere albe. BĂCANU Alexandru	99

Simularea și programarea offline a unei linii de reparare paleți din lemn utilizând process simulate. ZOSIM Eugen Mihai	104
Utilizarea interfeței leap motion în comanda și controlul roboților educaționali. HURBĂ Cosmin	111
Analiză cu element finit a sistemului AS/RS cu unitate de încărcare-descărcare pentru paletizare mixtă. SIMION Ancuța	118
Programarea și simularea offline a unei celule robotizate de sudare cu arc electric repere de dimensiuni medii-mari utilizand produsul software process simulate. VERDETE Bogdan-Marian	123
Sinteza asistată 3D a unei celule de vopsire robotizată a caroseriilor și programarea-simularea sa offline. GHENEA Alexandru-Claudiu	130
Platformă informatică pentru monitorizarea de la distanță via internet a funcționării sistemelor de producție robotizate. STAN Elena-Liliana	136
Studii și experimentari privind realizarea unui sistem robotizat cu acționare paralela prin patru cabluri. HARABARA Victor	142
Simularea-programarea offline și programarea PLC a unei celule robotizate pentru etansarea caroseriilor auto. ILIE Florentin-Marian	153
Dezvoltarea unui robot mobil pentru aplicații militare și antiterorism. BĂNICĂ Laurențiu-Marian	161
Studiu de fundamentare conceptuală și funcțională a unei drone multirotor pentru aplicații de securizare perimetrală. STAMATE Mihai-Alin	168
Modelul matematic pentru robotul de tip mecanism pentagonal cu arhitectura paralela. CRISTEA George Viorel, IONIȚĂ Iris, CONSTANTIN Mihnea Adrian	177
Realizarea unui robot mobil pentru competiția First Tech Challenge. CRISTEA George-Viorel, IONITA Iris Maria, DUMITRESCU Dragoș, CONSTANTIN Alexandru, ENE Dragoș, GRIGORE Matei, BUCUR Matei, GALIN Stefan, NEAGU Alexandra, MUSLEDIN Selma, CONSTANTIN Mihnea, EPURE Anda, PRICOPE Andrei, CĂLIN Elena, PRODESCU Evelyne, METEHĂU Luca	181
Stup inteligent. Sisteme care facilitează dezvoltarea familiei de albine și creșterea producției de miere. NECȘULESCU Robert Emanuel, STANCIU Cornel Răzvan	185
Analiza asistată în regim static și tranzitoriu a unui motor cu ardere internă. PĂTRU Andrei-Gabriel	189
Sincronizarea simulărilor de dinamică solidului rigid cu analiză statică și în regim tranzitoriu pentru structuri de roboți. BOTU Claudiu George, FRANGU Vlad, TURCU Teodor	193
Studii preliminare privind fundamentarea unor soluții de comandă directă și programarea prin instruire a robotului industrial, utilizând rețele de comunicații wireless și dispozitive de comunicații mobile de tip telefon inteligent sau tabletă. DINCĂ Anton-Alexandru, MIRON Valentin, HRIȘCANU Damian	199
Studiul prin simulare a aderenței modulelor vacuumatice la prinderea și manipularea materialelor cu proprietăți ortotrope. NICULAE Valentin	204

Sinteza asistata 3D si realizarea practica a doua posturi de lucru, sistemului de prindere pneumatica a pieselor in postul de prelucrare, magaziei de efectori si a unui efector vacuumatic pentru manipularea reperelor, integrate intr-o celula robotizata cu schimbare automata a efectorilor care echipeaza robotul Kawasaki FS 10 E. FIREȚEANU Horia, ANDREI N. Alexandru, DINCĂ Anton Alexandru, MIRON Valentin.....	208
Modelarea geometrică și cinematica asistată a ri cu arhitectură de tip braț articulată utilizând o formalizare matematică originală (diferită de convențiile Hartenberg - Denavit) și validarea modelelor propuse utilizând produsul software ABB ROBOTSTUDIO. MARIN Ionuț Gabriel.....	214

CONCENTRAREA TENSIUNILOR ÎN ARBORI CU VARIAȚII DE DIAMETRU. STUDIU ANALITIC, NUMERIC ȘI EXPERIMENTAL

NICULAE Andrei Laurențiu¹, DUȚU Silvia-Alexandra², CONȚIU Rareș²

Conducători științifici : prof. dr. ing. Adriana SANDU, Prof. dr. ing. Marin SANDU

REZUMAT: În lucrare se efectuează un studiu analitic, numeric și experimental al fenomenului de concentrare a tensiunilor în arbori tubulari cu variații de diametru. Valorile factorilor de concentrare a tensiunilor determinate analitic, pentru solicitări simple de încovoiere și de torsiune, au fost utilizate pentru determinarea factorului de concentrare a tensiunii la solicitarea compusă. Rezultatele obținute au fost validate prin simulare numerică, cu metoda elementelor finite. S-a constatat o bună concordanță între rezultatele calcului analitic și cele obținute prin simulare numerică în cele trei cazuri de încărcare studiate.

În cazul solicitării la încovoiere validarea modelelor de calcul s-a realizat și experimental, folosind tensometria electrică rezistivă.

CUVINTE CHEIE: concentrator de tensiune, metoda elementelor finite, tensometrie electrică rezistivă

1 INTRODUCERE

Calculul de predimensionare al arborilor este mai precis dacă se ține cont de efectul local din zonele cu variații ale secțiunii transversale. Aceasta deoarece durata de viață a arborelui este puternic influențată de existența unor concentratori de tensiune [Gooyer, Overbeeke (1991)], [Sonmez (2009)].

În zonele unde rigiditatea arborelui are o variație bruscă, gradientul tensiunii crește rapid. Factorul de concentrare a tensiunii este definit de relația [Iliescu, Atanasiu, Sandu, 2002] :

$$K_t = \frac{S_{\max}}{S_n} \Rightarrow S_{\max} = K_t \cdot S_n, \quad (1)$$

unde:

S_{\max} este tensiunea locală maximă, care poate fi tensiunea normală (în cazul încovoierii), tensiunea tangențială (în cazul torsiunii) sau o tensiune echivalentă, determinată cu o teorie de rezistență, în cazul solicitării compuse;

S_n este tensiunea nominală (normală, tangențială sau echivalentă), determinată în secțiunea critică, neglijând efectul local.

Soluții analitice pentru calculul factorilor de concentrare a tensiunilor au fost stabilite într-o serie de lucrări clasice, ca de exemplu [Neuber, 1958], pentru structuri axial-simetrice, supuse la încovoiere sau torsiune.

Determinarea factorilor de concentrare a tensiunii din arbori cu secțiune circulară, cu rază de racordare la trecerea dintre tronsoane, s-a realizat folosind metoda fotoelasticității [Frocht, 1935].

O altă tehnică experimentală utilizată pentru determinarea factorilor de concentrare a tensiunilor la arbori supuși la solicitări simple de încovoiere sau de torsiune este tensometria electrică rezistivă [Mocanu, 1976].

Pe bază rezultatelor experimentale au fost stabilite formule empirice de calcul al factorilor de concentrare a tensiunii pentru arbori cu secțiune inelară și rază de racordare, în cazul solicitărilor simple (torsiune sau încovoiere) [Peterson, 1974].

În [Iliescu, Atanasiu, Sandu, 2002] se propune o metodă de calcul al coeficientului de concentrare a tensiunilor în cazul arborilor tubulari cu rază de racordare (Fig. 1), supuși la solicitare combinată de torsiune și încovoiere, pe baza teoriilor clasice de rezistență, pornind de la valorile factorilor de concentrare a tensiunilor date în literatură pentru solicitările simple componente.

În această lucrare se compară rezultatele calculului analitic cu cele obținute prin calcul numeric, cu metoda elementelor finite, și cu valori determinate experimental, folosind metoda tensometriei electrice.

¹Specializarea Sisteme și Echipamente Termice, Anul 3A; Facultatea de Inginerie Mecanică și Mecatronică;
E-mail: Niculae Andrei Laurențiu:
andreilaurentiu_niculae@yahoo.com

²Specializarea Sisteme și Echipamente Termice, Anul 2A; Facultatea de Inginerie Mecanică și Mecatronică

2 CALCULUL ANALITIC

Tensiunile normale și tangențiale maxime în zona concentratorului de tensiune (zona de modificare a diametrului exterior, cu racordare) sunt:

$$\sigma_{\max} = K_{\hat{n}} \cdot \sigma_n; \tau_{\max} = K_{\hat{t}} \cdot \tau_n \quad (2)$$

În (2) s-au utilizat următoarele notații:

$K_{\hat{n}}$ și $K_{\hat{t}}$ sunt factorii de concentrare a tensiunii pentru încovoiere și, respectiv, pentru torsiune;

σ_n și τ_n sunt tensiunile nominale, care se calculează cu relațiile:

$$\sigma_n = \frac{M_{\hat{i}}}{W_y}; \tau_n = \frac{M_t}{2W_y} \quad (3)$$

$M_{\hat{i}}$ și M_t sunt momentele de încovoiere și, respectiv, de torsiune;

W_y este modulul de rezistență axial pentru secțiunea transversală inelară:

$$W_y = \frac{\pi}{32} d_e^3 \left[1 - \left(\frac{d_i}{d_e} \right)^4 \right]; \quad (4)$$

Expresiile factorilor de concentrare a tensiunilor [Iliescu, Atanasiu, Sandu, 2002] sunt:

-pentru încovoiere

$$k_{\hat{n}} = \sqrt{1 + \frac{1}{\sqrt{a} \cdot \left(\frac{0.2}{B_1} + \frac{0.25b^2}{1-b^4} \right) + 5.4a^4\sqrt{a}}}, \quad (5)$$

-pentru torsiune

$$K_{\hat{t}} = \sqrt{1 + \frac{1}{\sqrt[3]{a^2} \cdot \left(\frac{0.8}{B_2} + \frac{0.25b^2}{1-b^4} \right) + 9\sqrt{a^3}}}, \quad (6)$$

unde:

$$a = \frac{r}{d}; b = \frac{d_i}{d_e}; c = \frac{D}{d_e}; A_1 = A_2 = \frac{c-1}{2c};$$

$$B_1 = \sqrt{A_1} \left(1 - \frac{2}{3} A_1 \right); B_2 = \sqrt[3]{A_2^2} \left(1 - 0.8 A_2 \right).$$

În cazul solicitării compuse la încovoiere și torsiune se poate utiliza criteriul deformațiilor specifice maxime (teoria a II-a de rezistență), pentru materiale fragile și teoria energiei specifice maxime de deformație (teoria von Mises) pentru materiale ductile.

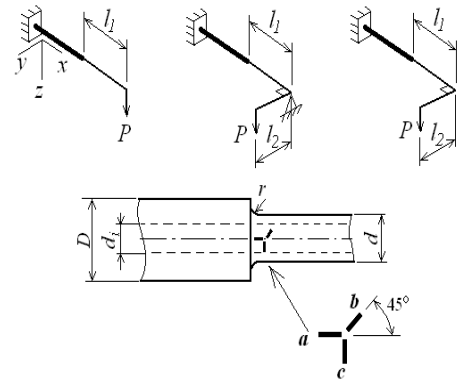


Fig. 1 Structura studiată și cazurile de încărcare

Tensiunea echivalentă calculată cu teoria deformațiilor specifice maxime este:

$$\sigma_{echiv,II} = \frac{1-\nu}{2} \sigma + \frac{1+\nu}{2} \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}. \quad (7)$$

unde ν este coeficientul de contracție transversală (coeficientul lui Poisson).

Rezultă:

$$\begin{aligned} \sigma_{echiv,n} &= \frac{1-\nu}{2} \sigma_n + \frac{1+\nu}{2} \sqrt{\sigma_n^2 + 4\tau_n^2} = \\ &= \frac{1-\nu}{2} (1 + \psi \sqrt{1+x^2}) \frac{M_{\hat{i}}}{W_y} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{echiv,max} &= \frac{1-\nu}{2} \sigma_{\max} + \frac{1+\nu}{2} \sqrt{\sigma_{\max}^2 + 4\tau_{\max}^2} = \\ &= \frac{1-\nu}{2} (K_{\hat{n}} + \psi \sqrt{K_{\hat{n}}^2 + x^2 K_{\hat{t}}^2}) \frac{M_{\hat{i}}}{W_y} \end{aligned} \quad (9)$$

S-a notat:

$$x = \frac{M_t}{M_{\hat{i}}}; \psi = \frac{1+\nu}{1-\nu}.$$

Deoarece relația între tensiunea locală maximă și cea nominală este de forma (1), se poate scrie:

$$\sigma_{echiv,max} = K_{tc} \cdot \sigma_{echiv,n}, \quad (10)$$

Din relațiile (9)-(10) rezultă expresia: factorului de concentrare a tensiunilor pentru solicitarea compusă, conform teoriei a II-a de rezistență:

$$K_{tc,II} = \frac{K_{\hat{n}} + \psi \sqrt{K_{\hat{n}}^2 + x^2 K_{tt}^2}}{1 + \psi \sqrt{1 + x^2}} \quad (11)$$

În cazul materialelor ductile se utilizează teoria de rezistență von Mises, parcurgându-se aceiași pași:

$$\sigma_{echiv,vM} = \sqrt{\sigma_n^2 + 3\tau_n^2}$$

Atunci:

$$\begin{aligned} \sigma_{echiv,n} &= \sqrt{\sigma_n^2 + 3\tau_n^2} = \\ &= \sqrt{(1 + 0.75 \cdot x^2) \frac{M_1}{W_y}} \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{echiv,max} &= \sqrt{\sigma_{max}^2 + 3\tau_{max}^2} = \\ &= \sqrt{(K_{\hat{t}}^2 + 0.75 \cdot x^2 K_{tt}^2) \frac{M_1}{W_y}} \end{aligned} \quad (13)$$

În final, factorul de concentrare a tensiunilor pentru o solicitare la încovoiere și torsiune, conform teoriei von Mises, este:

$$K_{tc,vM} = \sqrt{\frac{K_{\hat{n}}^2 + 0.75 \cdot x^2 K_{tt}^2}{1 + 0.75 \cdot x^2}} \quad (14)$$

În tabelul 1 se prezintă rezultatele obținute utilizând relațiile (2)-(14) pentru cazul $x=1$ ($M_i=M_t=5 \cdot 10^4$ N·mm) în cazul unui arbore cu dimensiunile: $d_e=35$ mm, $D=48$ mm, $d_i=21$ mm, $r=6$ mm.

Arborele este realizat din oțel, cu modulul de elasticitate $E=2.1 \cdot 10^5$ MPa și coeficientul lui Poisson $\nu=0.3$.

Tabelul 1. Rezultatele calculului analitic

Caz de solicitare		Tensiuni nominale [MPa]	Tensiuni locale maxime [MPa]
Încovoiere		13.65	19.91
Torsiune		6.83	8.58
Solicitare compusă	Teoria a II-a	17.32	24.06
	Teoria von Mises	18.05	24.85

3 CALCUL NUMERIC

Validarea relațiilor de calcul s-a realizat printr-o analiză cu elemente finite.

S-a utilizat programul SolidWorks 2013/CosmosM/Geostar256K. Structura a fost discretizată în 152840 de elemente de tip TETRA4, interconectate în 30834 de noduri.

Arborele s-a considerat încastrat la capătul cu diametru exterior mai mare. La capătul liber s-au aplicat sarcini care să simuleze cele trei cazuri de încărcare din figura 1:

1) *încovoiere*- o sarcină uniform distribuită pe suprafața liberă a arborelui, a cărei rezultantă să producă în secțiunea cu concentrator un moment egal cu cel din calculul analitic ($M_i=5 \cdot 10^4$ N·mm)

2) *torsiune*: forțe concentrate, tangente la contur, care să producă un moment de torsiune ($M_t=5 \cdot 10^4$ N·mm).

3) *solicitare compusă*, prin combinarea primelor două cazuri de încărcare.

În figura 2 sunt prezentate rezultatele simulării numerice în cazul încovoierii.

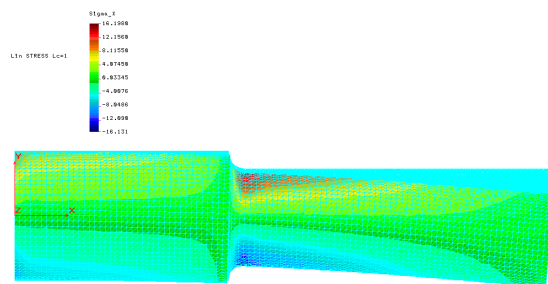
În figura 2,a se prezintă distribuția tensiunilor normale σ_x pe structura deformată, iar în figura 2,b un detaliu al zonei concentratorului de torsiune și diagrama care evidențiază tensiunea locală maximă.

Se constată că valoarea maximă a tensiunii normale la racordare (16.2 MPa) este mai mică decât cea calculată analitic (19.91 MPa, a se vedea Tabelul 1). Acest fapt se explică prin faptul că modelul de calcul numeric este, de regulă, mai rigid decât structura reală. O discretizare mai fină în zona cu concentrator ar permite o mai corectă evaluare a acestei tensiuni.

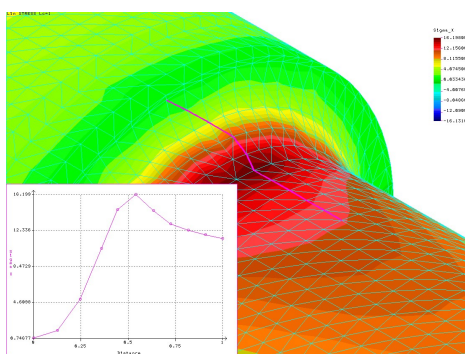
În figura 3 se prezintă rezultatele simulării numerice în cazul torsiunii. Se prezintă un detaliu conținând zona cu variație de diametru. Valoarea maximă a tensiunii tangențiale este de 7.02 MPa, de asemenea inferioară celei calculate analitic.

În figura 4 sunt prezentate rezultatele simulării numerice în cazul solicitării compuse la încovoiere și torsiune.

S-a reprezentat distribuția tensiunilor echivalente von Mises în zona concentratorului de torsiune.



a)



b)

Fig.2 Distribuția tensiunilor normale în cazul 1 de încărcare (încovoiere).

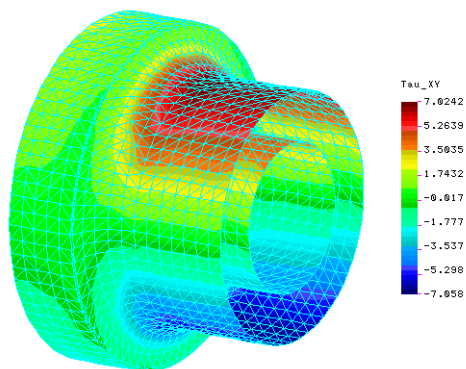


Fig.3 Distribuția tensiunilor tangențiale în cazul 2 de încărcare (torsiune)

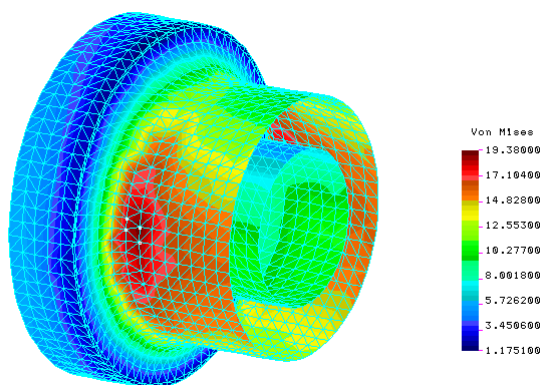


Fig.4. Distribuția tensiunilor echivalente von Mises în cazul solicitării compuse

4 STUDIU EXPERIMENTAL

Validarea relațiilor de calcul se poate face experimental, utilizând tehnica tensometriei electrice rezistive.

În zona concentratorului de tensiune au fost lipite trei traductoare rezistive, conform Fig.1.

În figura 5a se prezintă standul experimental pentru încercarea la încovoiere, iar în figura 5b, un detaliu conținând arborele cu traductoarele rezistive lipite în zona de interes.



a)



b)

Fig.5 Standul experimental

Deformațiile specifice pe direcțiile *a*, *b*, *c* ale traductoarelor rezistive (Fig.1) citite la puntea tensometrică, după încărcarea cu greutatea conform figurii 6,a, permit calculul tensiunilor principale și determinarea direcțiilor principale cu relațiile:

$$\sigma_{1,2} = \frac{E \varepsilon_a + \varepsilon_c}{2(1-\nu)} \pm \frac{E}{2} \left(\frac{1}{1+\nu} \sqrt{(\varepsilon_a - \varepsilon_c)^2 + (2\varepsilon_b - \varepsilon_a - \varepsilon_c)^2} \right) \quad (15)$$

$$\varphi = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{2\varepsilon_b - \varepsilon_a - \varepsilon_c}{\varepsilon_a - \varepsilon_c} \quad (16)$$

Pe baza valorilor tensiunilor principale σ_1 și σ_2 , se pot calcula apoi tensiunile echivalente:

- cu teoria deformațiilor specifice maxime (teoria a II-a de rezistență),

$$\sigma_{eq,max} = \sigma_1 - \nu \sigma_2 \quad (17)$$

- cu teoria von Mises,

$$\sigma_{eq,max} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2} \quad (18)$$

În figura 6 se prezintă diagramele de variație ale tensiunii principale σ_1 , calculată cu relația (15), în funcție de momentul încovoietor din secțiunea periculoasă, determinat în funcție de sarcina aplicată experimental.

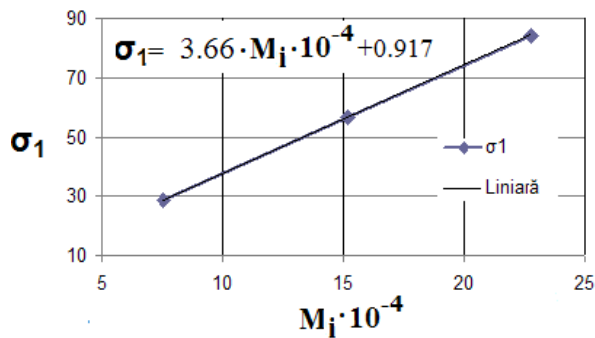


Fig.6 Diagrama de variație a tensiunii principale σ_1 determinată experimental

Diagrama din figura 6 a fost liniarizată, pentru a permite determinarea tensiunii principale σ_1 (tensiunea maximă locală) pentru diferite valori ale momentelor încovoietoare, prin extrapolare.

Pentru un moment încovoietor egal cu cel considerat în calculul analitic și în simularea numerică ($M_i=5 \cdot 10^4$ N·mm), s-a obținut $\sigma_1 = \sigma_x = 19.21$ MPa.

Se constată că această valoare este foarte apropiată de cea calculată analitic (tabelul 1), ceea ce confirmă corectitudinea relațiilor analitice.

5 CONCLUZII

5.1. Se constată o bună concordanță între rezultatele obținute în urma celor trei abordări (analitică, numerică și experimentală), care sunt complementare și se susțin reciproc.

5.2. Simularea numerică conduce la rezultate corecte dacă se rafinează discretizarea în zona concentratorului de tensiune (discretizare adaptivă).

5.3. Deoarece între valorile calculate analitic ale tensiunilor maxime din zona racordării și cele determinate experimental apar diferențe foarte mici (sub 10%), algoritmul de calcul analitic descris în Capitolul 2 poate fi folosit în proiectarea structurilor de acest fel.

6 BIBLIOGRAFIE

- [1]. Gooyer L.E., Overbeeke J.L. (1991), „The stress distributions in shouldered shafts under axisymmetric loadings”, J. of Strain Analysis for Engineering Design, 26(3), pp. 181-184
- [2] Sonmez F.O. (2009), „Optimal shape design of shoulder fillets for flat and round bars under various loadings”, Proceeding of IMechE 2009, vol 223, part C, pp. 1741-1754 (J. Mech. Eng.Sci.)
- [3] Iliescu N., Atanasiu C. și Sandu M. (2002) "Stress concentration in shouldered tubular shafts", The 9th International Symposium on Experimental Stress Analysis and Material Testing, Bucuresti - Constanța, Mai - June 2002
- [4]. Neuber H., Kerbspannungslehre, Springer-Verlag, Berlin, 1958
- [5]. Frocht M. M., „Factors of Stress Concentration Photoelastically Determined, J.A.M., no.2/ 1935
- [6]. Mocanu D.R. (1977), „Analiza experimentală a tensiunilor”, Editura Tehnică, București,
- [7]. Peterson R.E. (1974) „Stress Concentration Factors”, New York

CALCULUL STATIC AL UNEI ARIPI CU PROFIL DEFORMABIL

VELEȘCU Ioan-Alexandru ¹

Conducător științific: ș.l.dr.ing. BACIU Florin

REZUMAT: Principalul obiectiv al lucrării este validarea din punct de vedere static și îmbunătățirea modelului de aripă cu profil deformabil propus în lucrarea de licență "Studiul Teoretic și Realizarea Experimentală a Unei Aripă cu Profil Deformabil".

Aripa, complet asamblată, a fost reproiectată în SolidWorks pentru a putea efectua din punct de vedere teoretic studii statice pentru diferite configurații ale aripii.

În același timp, pe modelul fizic, în unele dintre zonele cele mai solicitate, au fost montate traductoare tensometrice rezistive pentru a măsura deformația specifică.

Prin compararea rezultatelor obținute în urma celor două metode se poate face o primă validare a modelului propus.

CUVINTE CHEIE: aripă avion, metoda elementelor finite, tensometrie electrică rezistivă

1 INTRODUCERE

Studiul aripilor deformabile, de tip „Morphing” este încă în faza de pionerat. Principalele probleme în dezvoltarea unor astfel de aripi o reprezintă capacitatea structurilor de a-și păstra integritatea în diferite condiții de zbor.

De exemplu o astfel de aripă a fost dezvoltată de Air Force Research Laboratory (AFRL) și compania FlexSys Inc. și presupune atașarea unei suprafețe de control, flaps-urile, de tip morphing (cu profil deformabil), unei aeronave Gulfstream III (Fig.1). Această suprafață de control a fost proiectată pentru a-și modifica forma în timpul zborului (Pia, 2015), iar unghiurile sunt cuprinse între -20 și 300 grade. Cu toate că suprafața „morphing” permite modificarea formei în timpul zborului, acest lucru nu a fost făcut în timpul celor 22 de zboruri inițiale, efectuate la Armstrong Flight Research Center, pentru a reduce riscurile producerii unor accidente, dar și pentru că în primă fază au dorit să strângă informațiile pas cu pas (Pia, 2015).

NASA afirmă că suprafețele de control de tip morphing dezvoltate de AFRL și FlexSys Inc. pot fi încorporate pe avioanele nou proiectate, dar și pe avioanele deja existente pe piață. Totodată această tehnologie permite inginerilor să dezvolte noi forme ale aripilor pentru a îmbunătăți în mod semnificativ eficiența aerodinamică și greutatea aripii (Pia, 2015).

¹ Specializarea: Siguranța și Integritatea Structurilor, Facultatea IMST, Universitatea "Politehnica" București
e-mail: velescuioan@gmail.com

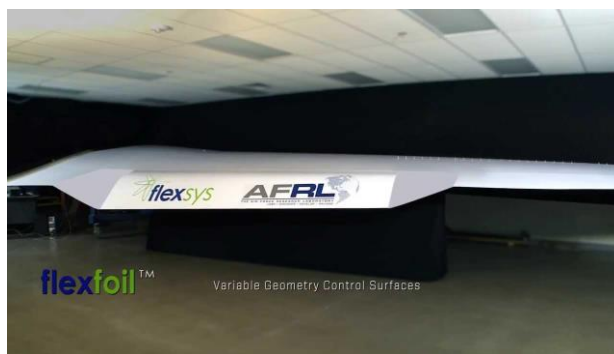


Fig. 1. Aripă cu profil deformabil dezvoltată de NASA, FlexSys și AFRL (Pia, 2015)

2 STADIUL ACTUAL

Pentru a putea realiza experimentul au fost aduse două îmbunătățiri modelului, iar sistemul de acționare bazat pe servouri a fost înlocuit cu unul bazat pe un șurub și două bușe prinse pe tronsoanele alăturate, pentru o mai bună fixare a aripii în poziția dorită.

Cele două îmbunătățiri constau în adăugarea unui lonjeron pe tronsonul mijlociu (tronsonul de care este făcută și prinderea aripii) între primele două nervuri, dar și realizarea unui înveliș pentru același tronson (a se vedea figurile 2 și 3).

Odată îmbunătățit modelul, a fost făcut primul experiment care a arătat o diferență de 20% între rezultatele analitice și cele obținute experimental, fiind primul pas spre validarea modelului.

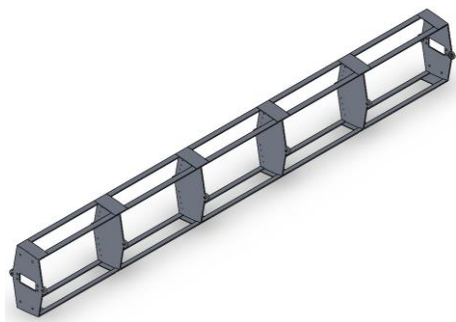


Fig. 2. Tronson median inițial

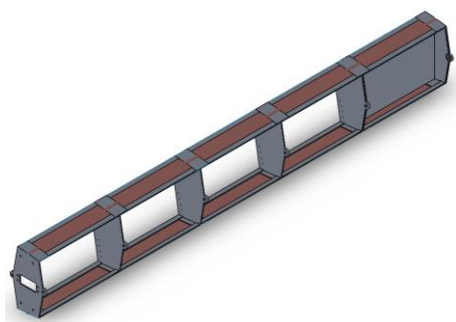


Fig. 3. Tronson median îmbunătățit

3 ÎMBUNĂȚIREA MODELULUI

Modelul inițial, care avea ca principal scop exemplificarea diferitelor configurații obținute prin simulare numerică, avea o dispunere pe verticală, dar, pentru realizarea studiului experimental, aripa a trebuit să fie fixată în poziție orizontală.

Odată cu fixarea aripii în poziție orizontală, s-a constatat că servo-mecanismele folosite pentru poziționarea tronsoanelor nu erau destul de puternice pentru a învinge greutatea acestora și pentru a da configurația dorită a aripii.

Având în vedere acest aspect au apărut două tipuri de soluții:

- a. Dublarea sau chiar triplarea numărului de servouri pentru fiecare tronson
- b. Folosirea unui alt sistem mecanic care să permită configurarea aripii.

Având în vedere factorul economic, am ales cea de-a doua variantă. Această variantă are dezavantajul ca. Obținerea configurației dorite se realizează manual, spre deosebire de varianta cu servouri, care se făcea cu ajutorul unui computer și o placă Arduino, ceea ce presupune un timp mai îndelungat. Având în vedere că această lucrare își propune studiul din punct de vedere static, acest timp

de configurare a aripii nu influențează în niciun mod rezultatele obținute.



Fig. 4. Sistemul de acționare al aripii

Din punct de vedere constructiv, varianta a doua a fost realizată cu ajutorul a două bușe, fiecare poziționată pe câte un tronson (tronsoanele fiind alăturate), iar prin aceste două bușe trece un șurub care prin acționarea sa permite apropierea sau departarea celor două bușe (a se vedea figura 4). Odată fixate pe tronson, aceste bușe au un singur grad de libertate, acest lucru dând voie ca axa mediană a șurubului să coincidă cu axa mediană a găurilor din bușă. Apropierea/departarea celor două bușe se face cu ajutorul unei mișcări de translație în lungul axei șurubului, această mișcare de translație fiind transformată într-o mișcare de rotație în punctul de prindere a celor două tronsoane, astfel fiind permisă realizarea diferitelor unghiuri între tronsoane.

Pe lângă problema cu sistemul de acționare, din cauza greutății proprii, după ce a fost prinsă aripa, aceasta s-a deformat. Privită din față, în mod normal, trebuie să aibă forma unui dreptunghi, din cauza greutății proprii aceasta s-a deformat într-un paralelogram (a se vedea figurile 5 și 6).

Pentru remedierea acestor inconveniențe, tronsonul median a fost rigidizat prin aplicarea învelișului, dar și amplasarea unui lonjeron între primele două nervuri.



Fig. 5. Schemă aripă deformată

Vedere din față



Fig. 6. Schemă aripă rigidizată

Vedere din față

4 MATERIALELE DIN CARE AU FOST REALIZATE COMPONENTELE ARIPII

Pentru realizarea modelului s-au folosit două materiale. Nervurile, lisele și lonjeronul au fost fabricate dintr-un aliaj de Aluminiu 2024-T351, un material cu bune proprietăți de prelucrabilitate și finisare a suprafețelor, fiind totodată un material de înaltă rezistență (Velescu, 2015).

Aliajul de aluminiu 2024-T351 utilizat în domeniul aeronautic are în componența sa următoarele materiale (Tabelul 1):

Tabelul 1. Componența aliajului de aluminiu

Componentă	Procent (%)
Al	90,7 – 94,7
Cr	Max. 0,1
Cu	3,8 – 4,9
Fe	Max. 0,5
Mg	1,2 – 1,8
Mn	0,3 – 0,9
Si	Max. 0,5
Ti	Max. 0,15
Zn	Max. 0,25
Alte, fiecare	Max. 0,05
Alte, total	Max. 0,015

Învelișul a fost realizat dintr-un aliaj Cupru-Beriliu ASTM B194-01, deoarece acest material are elasticitatea necesară pentru a-și menține forma indiferent de poziția relativă pe care o au segmentele de nervură. Acest lucru este extraordinar de important având în vedere că în dezvoltarea ulterioară a modelului fizic, învelișul acestuia va fi făcut sub formă de solzi de pește. (Velescu, 2015)

Componentele Aliajului Cupru-Beriliu conform standardului ASTM B194-01, utilizat în industria aeronautică, sunt prezentate mai jos (vezi tabel 2):

Tabelul 2. Componența aliajului de Cupru - Beriliu

Componentă	Procent (%)
Be	1,8 – 2,0
Al	Max. 0,20
Si	Max. 0,20
Co+Ni	Max. 0,20
Co+Ni+Fe	Max. 0,60
Cu	Diferența

5 DIFERENȚE ÎNTRE ARIPIA REALĂ ȘI MODELUL DIN SOLIDWORKS

În cazul modelului fizic îmbinările dintre cele șase segmente au fost realizate cu ajutorul unor rulmenți, soluție aleasă pentru a reduce la minim frecările, rezultând astfel o mai ușoară acționare a tronsoanelor.

Cele șase nervuri trebuie unite între ele. Pentru a realiza acest lucru s-a apelat la ajutorul unor lise, astfel încât tronsoanele de la bordul de fugă și cel de atac vor avea câte două lise între fiecare două nervuri (Fig.7-8).



Fig. 7. Îmbinări
Tronson bord de fugă

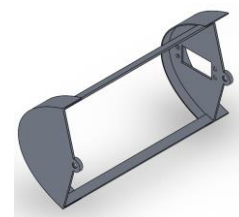


Fig. 8. Îmbinări
Tronson bord de atac

Pentru celălalte patru tronsoane au fost folosite câte patru lise între fiecare dintre segmentele paralele (Fig.9). Îmbinările au fost realizate cu ajutorul niturilor în cazul modelului fizic.

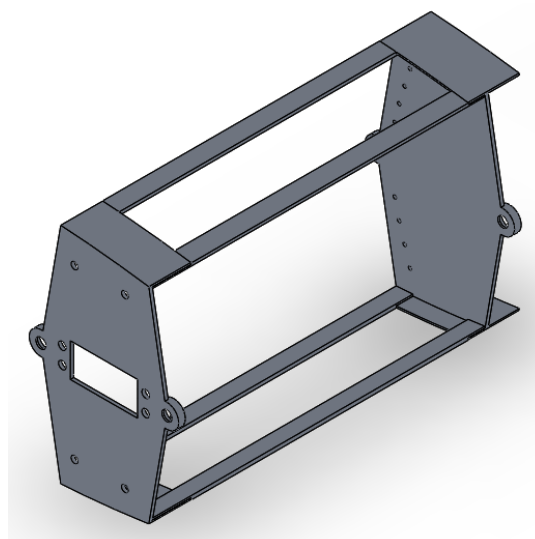


Fig. 9. Îmbinări
Tronsoane mediane

Calculul static al unei aripi cu profil deformabil

Pentru a oferi o rigiditate sporită modelului am optat pentru învelirea acestuia cu tablă fabricată dintr-un aliaj Cupru-Beriliu.

Tronsoanele îmbrăcate în înveliș sunt cel de la bordul de atac, cel de la bordul de fugă și tronsonul median, cel de care se face printerea aripei de suport.

Tot pentru o rigiditate sporită s-a optat pentru adăugarea unui lonjeron între segmentul median al nervurii unu (nervura de care este prinsă aripa de suport) și segmentul median al nervurii doi.

Acest lonjeron, dar și învelișul pentru tronsonul median, au venit ca o îmbunătățire a modelului inițial.

Prinderea lonjeronului se face la rândul său cu ajutorul niturilor în timp ce prinderea învelișului de structura de rezistență a fost făcută cu ajutorul unui adeziv, dar și cu ajutorul niturilor pentru o mai bună fixare.

Spre deosebire de modelul fizic, pentru modelul realizat în SolidWorks îmbinările au fost considerate ca fiind solidare (bonded) pentru a simplifica modelul și pentru a permite calculatorului să ruleze studiul.

Se presupune ca această simplificare nu va da o eroare majoră între rezultatele simulării numerice și cele obținute experimental, dar o diferență cu certitudine va exista.

6 COMPARAȚIA ÎNTRE REZULTATELE SIMULĂRII NUMERICE A COMPORTAMENTULUI STATIC ȘI CELE EXPERIMENTALE

Pentru studiul experimental pe modelul fizic a fost necesară amplasarea a patru traductoare tensometrice rezistive (marci tensometrice), așa cum se vede în figura 10.

În figura 11 sunt prezentate cele două traductoare tensometrice de pe tronsonul median.

Pe bordul de atac a fost lipit un singur traductor tensometric, ce este prezentat în figura 12.

Un traductor a fost amplasat pe o componentă a aripii care nu se deformează (vezi figura 13) pentru a putea compensa efectul temperaturii. Celelalte trei mărci tensometrice au fost amplasate în zone în care se estimează ca deformațiile specifice au valori însemnate, după cum se vede în figura 10.

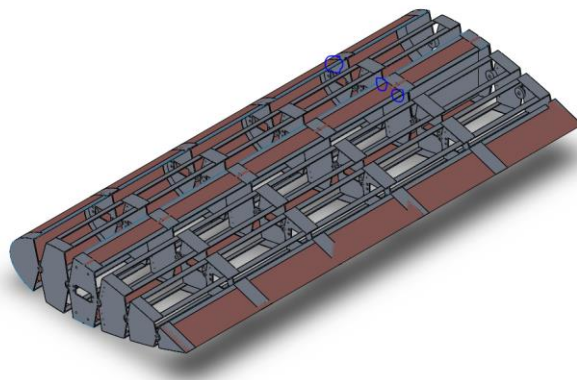


Fig. 10. Amplasare mărci tensometrice



Fig. 11. Mărci tensometrice pe tronsonul median

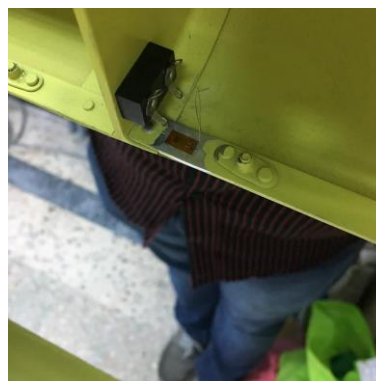


Fig. 12. Marcă tensometrică pe bordul de atac



Fig. 13. Marcă tensometrică de compensare a temperaturii

Modelul a fost solicitat static cu ajutorul unei greutateți de 5 kg după cum se vede în figura 14:

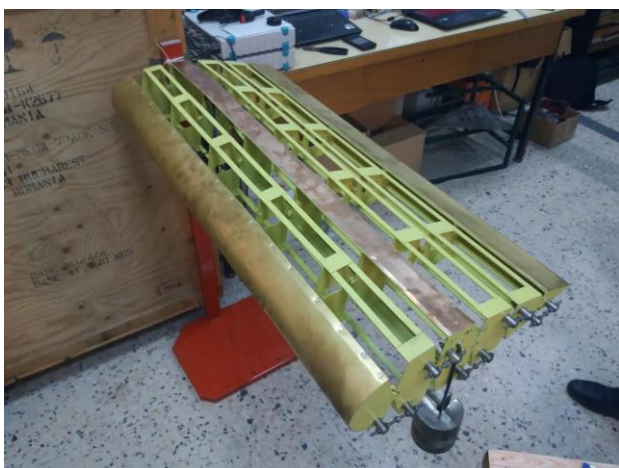


Fig. 14. Aripa solicitată static

Pentru o primă încercare unghiurile dintre tronsoane au fost reglate la 0° și s-au obținut următoarele valori ale deformațiilor specifice.

Tabelul 2. Deformațiile specifice

Deformație specifica $\mu\text{m/m}$	Bord de atac	Tronson median fata	Tronson Median spate
SolidWorks	-306,3	-1135,8	-1977,8
Experiment	-278,1	-1256,5	-1615,5
Abatere %	10,13	9,60	22,42

7 CONCLUZII

Având în vedere că diferența maximă între rezultatele simulării numerice și cele experimentale este de 22,42% în cazul tronsonului median spate și de aproximativ 10% în rest, modelul poate fi considerat fezabil din punct de vedere structural.

Această diferență cel mai probabil se datorează modului diferit în care sunt tratate îmbinările în cele două cazuri, în SolidWorks fiind considerate solidarizate (bonded), în timp ce pe modelul fizic există o varietate mare de îmbinări.

În continuare este necesar ca pe model să se facă mai multe determinări experimentale la diferite unghiuri între tronsoane, evaluate cu ajutorul metodei prin panouri, prin impunerea anumitor valori ale coeficientului de portanță și al coeficientului moment.

8 BIBLIOGRAFIE

- [1]. Pia Bergqvist, 2015, NASA Concludes Successful Morphing Wing Tests, <http://www.flyingmag.com/news/nasa-concludes-successful-morphing-wing-tests>
- [2]. Veleșcu Ioan-Alexandru, 2015, Studiul Teoretic și Realizarea Experimentală a Unei Aripă cu Profil Deformabil

TESTAREA LA FORFECARE A MIEZURILOR DIN POLISTIREN EXTRUDAT UTILIZATE LA FABRICAREA PLĂCILOR SANDWICH

Studenti : CHELMUȘ Adalia ¹, ADOMNOAE Nicolae ¹, ISMAIL Ainur ¹

Conducători științifici : Prof. dr. ing. **Adriana SANDU**, Prof. dr. ing. **Marin SANDU**

REZUMAT: Lucrarea are ca principal obiectiv testarea la forfecare a miezurilor din polistiren extrudat din componența plăcilor sandwich. Plăcile sandwich au multiple aplicații în domeniul industriei de avioane, automobile, containere și construcții civile. Rezultatele obținute prin calcul numeric, cu metoda elementelor finite, sunt validate prin determinări experimentale. Se formulează concluzii cu privire la modul de cedare și la posibilitatea generalizării metodei de testare la forfecare a miezului din polistiren, componenta slabă a asamblării.

CUVINTE CHEIE: plăci sandwich, polistiren, metoda elementelor finite, forfecare.

1. INTRODUCERE

În prezent, asamblările prin lipire se utilizează frecvent datorită unor avantaje specifice: absența perforațiilor necesare la îmbinări cu nituri sau șuruburi, contact continuu între aderenți, protecție împotriva coroziunii, reducerea masei structurilor. Cel mai important avantaj îl reprezintă posibilitatea de a uni prin lipire aderenți din materiale diferite: metal-polimer, metal-compozit stratificat, metal-lemn, polimer-sticlă, metal-ceramică și alte combinații.

Există o gamă relativ largă de panouri tip sandwich care sunt folosite ca și componente ale structurilor avansate ușoare precum automobile, avioane, vapoare, containere și clădiri moderne. Structura de tip sandwich constă în două straturi relativ subțiri de foi de rezistență înaltă și miez de rezistență scăzută. Astfel, structura sandwich este caracterizată prin înalta rezistență la încovoiere și greutate redusă. Comportamentul panourilor sandwich depinde de rezistența și rigiditatea fețelor și a miezului, tipul adezivului folosit și condițiile de mediu (temperatura, umiditate, coroziune) [Hodge, Nettles (1991)].

O caracterizare precisă experimentală a comportamentului mecanic al spumei polimerice este esențială pentru utilizarea eficientă în structurile sandwich precum și pentru dezvoltarea precisă a modelelor numerice de calcul [Triantafillou, Gipson (1989)] [Mostafa, Shankar, Morozov (2013)] [Chuda-Kowalska, Pozorski, Garstecki, (2010)].

Această lucrare prezintă rezultatele unor investigații experimentale și numerice efectuate pentru a caracteriza comportamentul elementelor componente ale îmbinării, cu accent pe comportamentul la forfecare al miezului din polistiren.

Modelele folosite în acesta lucrare constau în îmbinări duble prin suprapunere, utilizate pentru plăci sandwich. Solicitarea dominantă în miez și adeziv este la forfecare. Aderenții și spumele sunt făcute din aceleași materiale cu cele folosite pentru fabricarea panourilor sandwich.

Rezultatele experimentale sunt comparate cu cele obținute prin simularea numerică cu Metoda Elementelor Finite (MEF) [Sandu, Găvan (2003)], pentru a evidenția distribuția tensiunilor în elementele îmbinării.

2. SIMULAREA NUMERICA A TESTULUI LA FORFECARE

2.1 Modelul de calcul

2.1.1 Descrierea structurii studiate

În figura 1 se prezintă asamblarea studiată. Dimensiunile structurii sunt: $t_f=1$ mm; $l=37.5$ mm; $g=30$ mm; $t_a=0.15$ mm; $t_m=0.15$ mm; $l=100$ mm; $s=2$ mm.

Aderentul 1 este tabla din aluminiu, aderentul 2 este miezul din polistiren extrudat, iar 3 este adezivul AW 106 [www.huntsman.com/advanced_materials (2017)] (un adeziv epoxidic bicomponent - araldit).

¹ anul II, Sisteme și echipamente termice, Facultatea de Inginerie Mecanică și Mecatronică e-mail: adalia.chelmus@yahoo.com

Testarea la forfecare a miezurilor din polistiren extrudat utilizate la fabricarea plăcilor sandwich

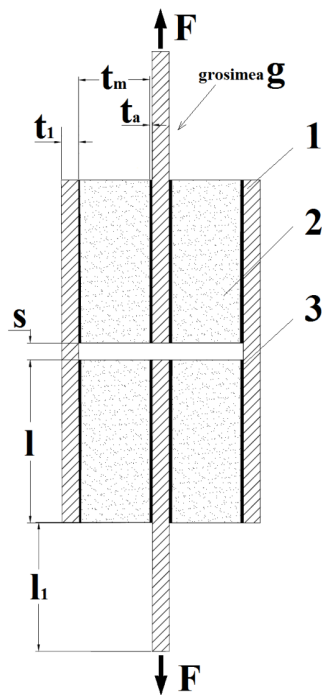


Fig. 1. Structura studiată

Proprietățile elastice (modul de elasticitate longitudinal E , coeficientul lui Poisson ν) și rezistențele la rupere (R_m) ale materialelor componente sunt date în tabelul 1.

Tabelul 1 Proprietățile materialelor

Material	E [MPa]	ν	R_m [MPa]
Aluminiu	70000	0.33	320
Polistiren	12.3	0.2	0.42
Adeziv AW 106	1350	0.45	33

2.1.2. Modelul numeric de calcul

S-a utilizat MEF, programul SOLIDWORKS/COSMOS/GeoStar256.

Structura s-a discretizat în elemente de stare plană de deformăție PLANE2D cu 4 noduri/element deoarece grosimea g este mare pentru a fi considerată o stare plană de tensiune. Discretizarea a fost mai fină în partea centrală a zonei de suprapunere unde se estimează că vor fi tensiuni mai mari.

S-a modelat un sfert din structură, din motive de simetrie geometrică și de încărcare (au fost impuse condiții de simetrie în planele XZ și YZ) (Fig. 2). Au rezultat 5464 elemente care interacționează în 5763 noduri.

Forța aplicată s-a modelat ca o sarcină uniform distribuită la capătul aderentului de aluminiu, cu scopul de a evita concentrarea de tensiuni care ar fi apărut dacă s-ar fi aplicat o forță concentrată într-un nod.

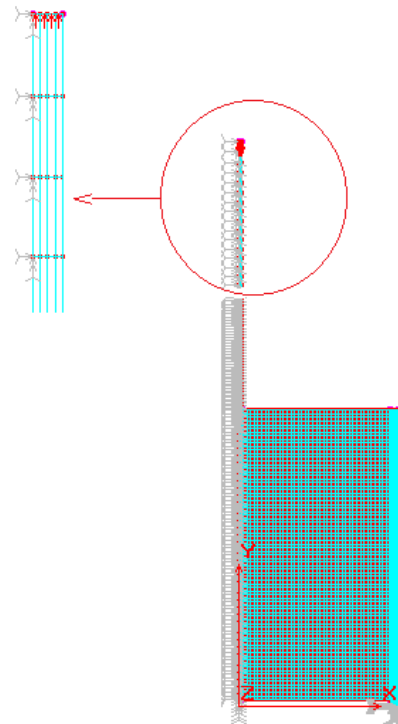


Fig. 2. Modelul de calcul numeric

2.2 Rezultate obținute

Inițial s-a aplicat o sarcină $p_y = 1N/mm^2$ și s-au estimat tensiunile din componente. Tensiunea echivalentă maximă din polistiren (0.075 MPa) a fost mult mai mică decât rezistența la rupere a materialului (0.42 MPa). Deoarece calculul efectuat a fost unul liniar elastic, s-a determinat sarcina la care se estimează cedarea în miez.

Rezultatele obținute prin calcul numeric pentru această valoare a sarcinii sunt prezentate în figurile 3-5.

Distribuția tensiunilor echivalente Von Mises este prezentată în figura 3 pentru

aluminiiu, în figura 4 pentru adeziv și în figura 5 pentru polistiren.

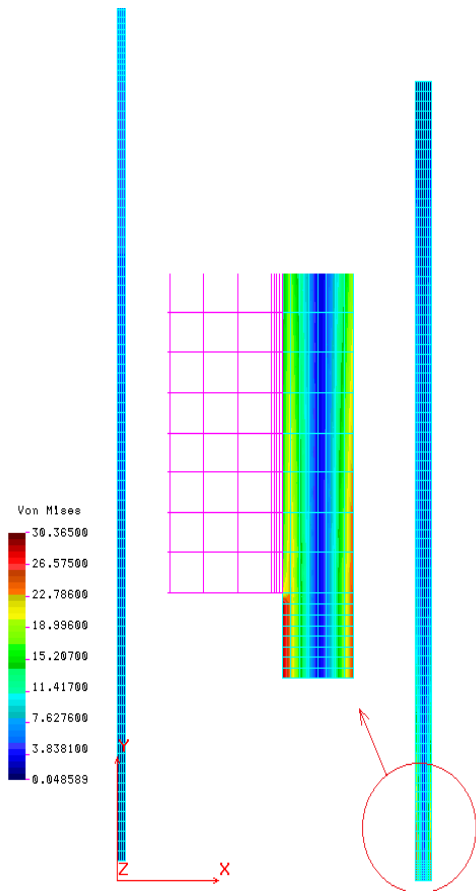


Fig. 3. Distribuția tensiunilor echivalente în aluminiiu

Se constată că în aluminiiu și în adeziv tensiunile echivalente maxime sunt mult mai mici decât tensiunile la rupere.

În polistiren $\sigma_{ech,max}$ este egală cu rezistența la rupere la extremitățile zonei de suprapunere (punctele A și B din figura 5).

În figura 6 s-a reprezentat diagrama de variație a tensiunii echivalente Von Misses.

In figura 7 se prezintă diagramele de variație ale componentelor tensorului tensiunilor σ_x , σ_y , τ_{xy} în polistiren, la interfața cu adezivul.

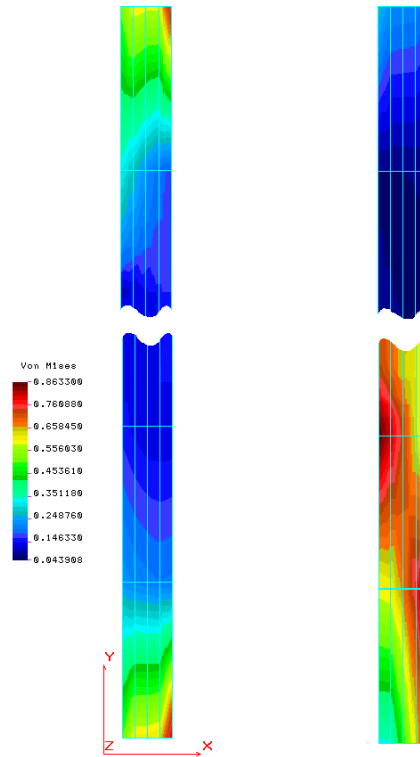


Fig. 4. Distribuția tensiunilor echivalente în adeziv

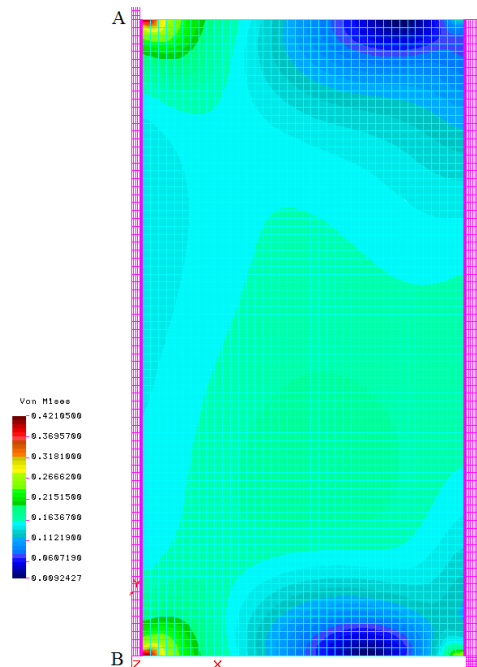


Fig. 5. Distribuția tensiunilor echivalente în polistiren

Testarea la forfecare a miezurilor din polistiren extrudat utilizate la fabricarea plăcilor sandwich

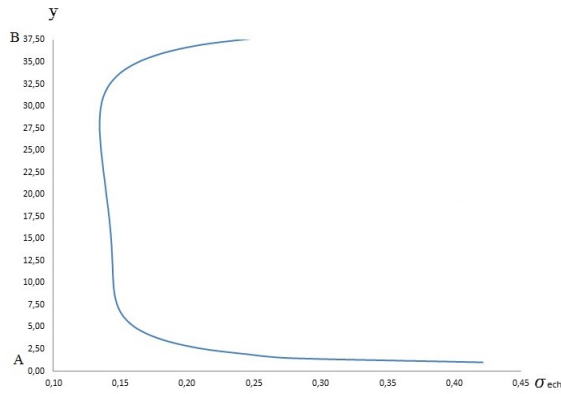


Fig. 6. Variația tensiunii echivalente din miez pe lungimea de suprapunere dintre polistiren și adeziv

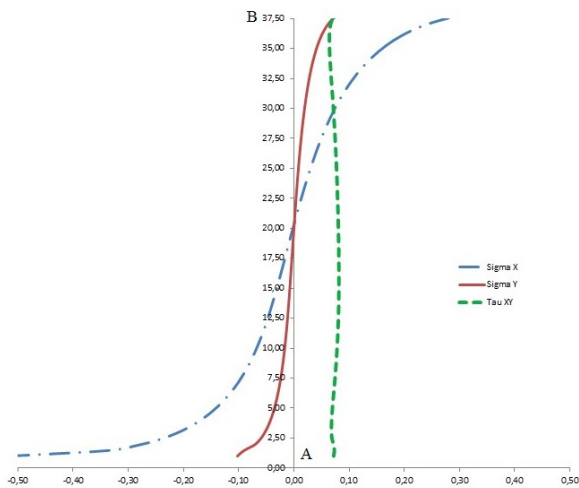


Fig. 7. Variația tensiunilor din miez pe lungimea de suprapunere dintre polistiren și adeziv

Se poate constata că toate componentele tensorului tensiunii au valori maxime la extremitățile zonei de suprapunere. Este de așteptat ca cedarea miezului să înceapă de la capete. Tensiunea de forfecare este aproximativ constantă în acest strat, iar la capete valoarea maximă este egală cu 0.072MPa.

Forța limită estimată prin simularea numerică a testului este egală cu:

$$F_{y,lim} = p_{y,lim} \cdot t_1 \cdot g = 168N \quad (1)$$

3. STUDIUL EXPERIMENTAL

Încercarea s-a efectuat pe o mașină AMETEK LLOYD INSTRUMENTS LRX plus (Fig. 8). S-au încercat mai multe epruvete dintre care s-au selectat cinci.

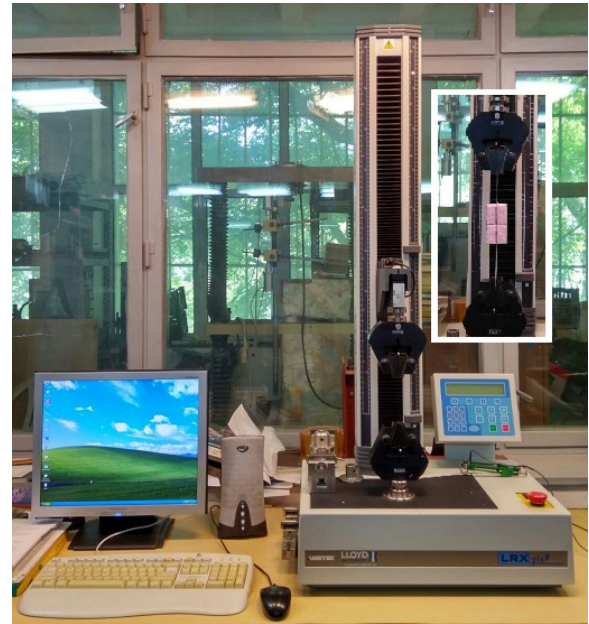


Fig. 8. Standul experimental pentru simularea testului la forfecare a miezului

În figura 9 este reprezentată una dintre curbele experimentale ale variației forței de rupere în funcție de deplasarea capetelor.

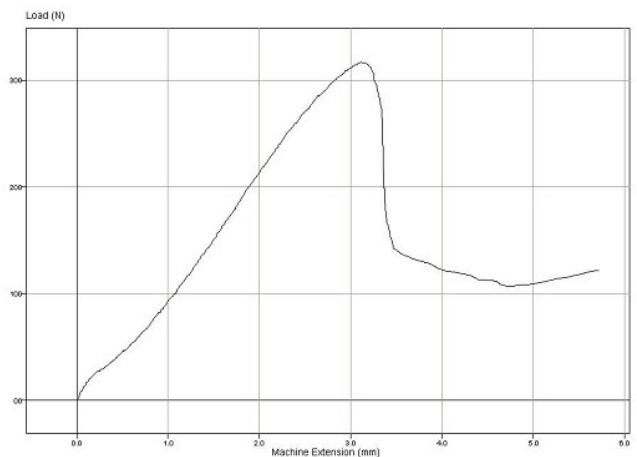


Fig. 9. Inregistrarea forței pentru una dintre epruvete

Rezultatele obținute sunt date în tabelul 2 pentru cele cinci epruvete selectate. Pe baza rezultatelor experimentale s-a determinat tensiunea aparentă (convențională) de forfecare $\tau_{f,a}$ (relația 2), în ipoteza că tensiunile tangențiale sunt uniform distribuite pe suprafața de forfecare.

Această ipoteză este confirmată de diagrama de variație a tensiunilor tangențiale τ_{xy} din figura 7, deoarece concentrările de tensiuni la capete sunt foarte mici.

$$\tau_{f,a} = \frac{T}{A_f} \quad (2)$$

Tabelul 2 Rezultate experimentale

Epruveta	Forța de rupere [N]	Deplasare a relativă [mm]	$\tau_{f,a}$ [MPa]
1.	324	3.15	0.144
2.	330	2.94	0.146
3.	360	3.1	0.16
4.	342	3.92	0.152
5.	317	3.13	0.141
Valoare medie	334.6	3.248	0.148

Conform experimentului, tensiunea tangențială de rupere în polistiren are valoarea medie 0.148 MPa (Tabelul 2), care corespunde valorii medii a forței de rupere egală cu 334.6 N.

Se constată că materialul slab este miezul, cedarea având loc în polistiren, la interfața cu adezivul. Inițierea fisurii de rupere s-a făcut la extremitățile lungimii de suprapunere (fig. 10), validând simularea numerică.

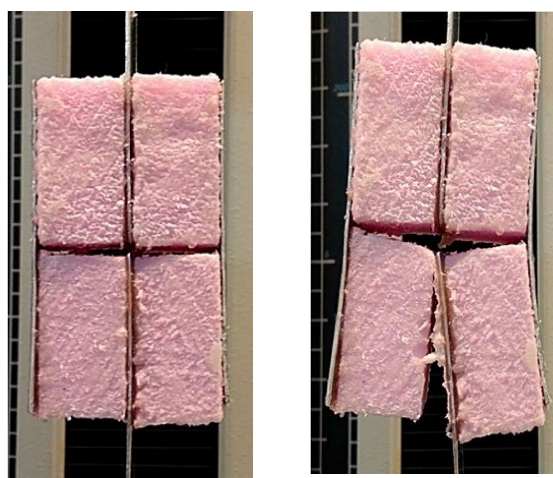


Fig. 10. Modul de rupere

4. CONCLUZII

- I. Calitativ, modul de cedare și distribuția de tensiuni sunt aceleași ca și în cazul simulării numerice. Valorile forței de rupere și a tensiunii tangențiale de rupere în polistiren sunt însă duble în cazul studiului experimental.

Această diferență se explică prin:

1. Testul a fost efectuat cu o viteză relativ mare (5 mm/min). Pentru ca solicitarea să fie considerată statică, viteza ar fi trebuit să fie mai mică sau egală cu 1 mm/min. Ținând cont de viteza de aplicare a sarcinii, se poate considera că experimentul corespunde unei solicitări dinamice cu multiplicatorul de impact $\Psi \approx 2$.
 2. Valorile forțelor de rupere estimate prin calcul numeric s-au determinat pe baza unui model liniar elastic (calcul static) și a ipotezei că adezivul se comportă ca un material ideal elasto-plastic, cu rezistență la rupere $R_m = 33$ MPa.
- II. Simularea numerică pe modele parametrice permite studii de sensibilitate pe structuri sandwich de acest tip, pentru a determina influența unor parametri (grosime miez, lungime de suprapunere) asupra rezistenței elementelor structurii.

BIBLIOGRAFIE

- [1]. A.J. Hodge, A.T. Nettles (1991), A novel method of testing the shear strength of thick honeycomb composites, NASA Technical Paper 3180.
- [2]. T.C. Triantafillou, L.J. Gipson (1989), Debonding in foam-core sandwich panels, Mat. Struct. 22
- [3] Mostafa A., Shankar K., Morozov E.V. (2013), „Insight into the shear behaviour of composite sandwich panels with foam core”, Materials and Design, 50 pp. 92-101
- [4] Chuda-Kowalska M., Pozorski Z., Garstecki A. (2010) *Experimental determination of shear rigidity of sandwich panels with soft core*, The 10-th Int. Conference “Modern Building Materials, Structures and Techniques”, Vilnius Gediminas Technical University, (<http://www.vgtu.lt/en/editions/proceedings>)
- [5] ** DIAB Guide to core and sandwich, 2012 (www.diabgroup.com), accesat la data de 07.05.2017.
- [6]. A. Sandu, M. Sandu, M. Găvan (2003), Metode și programe pentru calculul structurilor elastice, Printech, București, ISBN 973-652-735-2
- [7]. *** www.huntsman.com/advanced_materials accesat la data de 07.05.2017.

ANALIZA MODALĂ A UNEI PLĂCI DIN BOROSILICAT PRIN MODELARE CU ELEMENT FINIT ȘI PRIN CALCUL EXPERIMENTAL

VĂSESCU Lidia¹

Conducători științifici: Prof. dr. ing. **Ioan PĂRĂUȘANU**, Prof. dr. ing. **Ștefan SOROHAN**

REZUMAT: Lucrarea prezintă modul în care se poate face modelarea unui strat de lubrifiant existent între două plăci dreptunghiulare din sticlă borosilicată. Analiza experimentală, prezentată și ea în lucrare, a avut drept scop validarea rezultatelor obținute prin simularea numerică, lucru care s-a realizat prin compararea modurilor proprii de vibrație.

CUVINTE CHEIE: sticlă borosilicată, metoda elementelor finite, moduri proprii de vibrație.

1 INTRODUCERE

Sticla din borosilicat prezintă proprietăți fizice și chimice deosebite, având un grad înalt de rezistență la agenții chimici agresivi și la șocurile termice.

Sticla din acest material este utilizată în fabricarea unei game largi de produse de sticlărie tehnică și de laborator, de aparatură industrială și de sticlărie decorativă și de menaj.

Produsele din sticlă borosilicată au o suprafață netedă, transparentă, rezistente față de substanțe corozive în condiții tehnologice dificile, având o structură perfect omogenă.

În prima parte a lucrării, din dorința de a valida metoda propusă, s-a studiat o singură placă de sticlă din borosilicat, atât experimental, cât și prin simulare numerică. Validarea a fost făcută prin compararea primelor trei frecvențe proprii obținute prin cele două metode. S-au obținut rezultate bune, ceea ce a permis trecerea la etapa următoare: modelarea a două plăci dreptunghiulare din sticlă borosilicată, între care s-a aplicat un strat foarte subțire dintr-un ulei, ale cărui proprietăți sunt: modulul de elasticitate transversal $G = 1620$ MPa, coeficientul lui Poisson $\nu = 0,46$, densitatea $\rho = 800$ kg/m³. Astfel, s-a obținut un pachet de tip sandwich.

Au fost analizate, atât prin simulare numerică, cât și experimental, primele trei moduri proprii de vibrație în trei cazuri distincte: Cazul 1 – în care s-a studiat o singură placă de sticlă borosilicată; Cazul 2 – în care analiza a fost făcută asupra unui pachet de tip sandwich (două plăci de sticlă borosilicată identice, lipite între ele printr-un strat subțire de ulei de tip *Shell Tellus S2 M 46*) și Cazul 3 – în

care a fost efectuată numai o analiză numerică a unei plăci dreptunghiulare de sticlă borosilicată, la care, grosimea este egală cu dublul grosimii plăcilor inițiale.

La baza analizei modale experimentale, stă măsurarea funcției de răspuns în frecvență. Mișcarea de vibrație poate fi descrisă în funcție de parametrii: deplasare, viteză sau accelerație. În general, se preferă măsurarea mobilității (raport dintre viteza măsurată și forța aplicată), ea prezentând avantajul unui spectru relative constant pe întreg domeniul de frecvență.

Metoda cea mai des utilizată în analiza modală pentru excitarea unei structuri este cea de tip impact, efectuată cu ajutorul unui ciocan de impact, numit și ciocan modal

Tipul capului ciocanului (porțiunea din ciocan care lovește și care poate fi din fier, teflon, cauciuc etc.), determină domeniul frecvențelor în care este concentrată energia vibrației.

Analiza experimentală s-a efectuat cu ajutorul unui soft specific analizei dinamice (PULSE), utilizandu-se un ciocan modal (de tip 8206 B&K), la care s-a montat capul din cauciuc, iar, cu ajutorul unui accelerometru piezoelectric (tipul 4514 B&K), s-a înregistrat mărimea de ieșire – viteză.

2 ANALIZA MODALĂ A STRUCTURILOR CONSIDERATE

2.1 Analiza modală în Cazul 1

2.1.1 Analiza numerică

O singură placă din sticlă borosilicată are forma din figura 1, iar dimensiunile ei sunt lungimea (pe axa x) $l_1 = 300$ mm, lățimea (pe axa y) $b = 215$ mm și grosimea (pe axa z) $t = 3,9$ mm. De asemenea, s-a realizat o modelare a traductorului piezoelectric ce este prezentat, tot în figura 1, și are dimensiunile următoare: diametrul $d = 12$ mm, lungimea (pe axa z) $l_2 = 16$ mm. Acesta se află poziționat pe un colț al plăcii, la distanțele de 8,5 milimetri față de axele Ox și Oy . Proprietățile materialului din care este făcut

¹ Specializarea Siguranța și Integritatea Structurilor, Facultatea IMST;

E-mail: lidiavasescu@yahoo.com;

Analiza modală a unei plăci din borosilicat prin modelare cu element finit și prin calcul experimental

traductorul piezoelectric sunt: $E = 2 \times 10^5$ MPa, coeficientul lui Poisson $\nu = 0,30$, și densitatea $\rho = 4815$ kg/m³.

S-a efectuat, mai întâi, un calcul cu metoda elementelor finite, utilizând programul Ansys Workbench, a unei singure plăci din sticlă borosilicată și au fost determinate valorile primelor trei frecvențe proprii și forma modurilor proprii corespunzătoare.

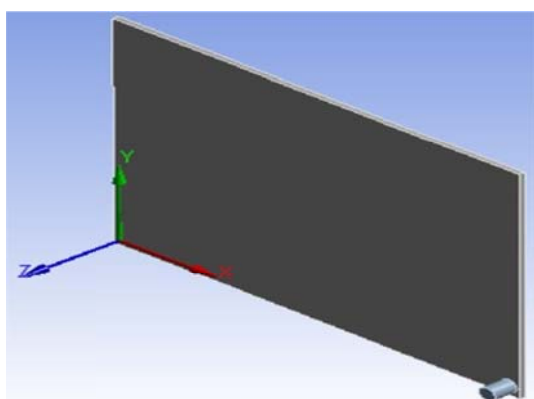


Figura 1. Placă din sticlă borosilicată

Proprietățile de interes ale materialului plăcii din sticlă borosilicată sunt: modulul de elasticitate longitudinal $E = 63000$ MPa și coeficientul lui Poisson $\nu = 0,20$. În modelarea cu element finit, masa are o importanță deosebită, ca urmare, valoarea densității materialului trebuie cunoscută cât mai precis. Din acest motiv, placa a fost cântărită cu ajutorul unui cântar electronic și, cunoscându-i volumul, densitatea a fost calculată rezultând valoarea $\rho = 2136$ kg/m³.

Modelul de calcul este prezentat în figura 2. Structura a fost discretizată în 2736 de elemente de tip brick cu 8 noduri pe element. În urma discretizării au rezultat 19433 de noduri. Mărimea elementului de discretizare este de 5mm.

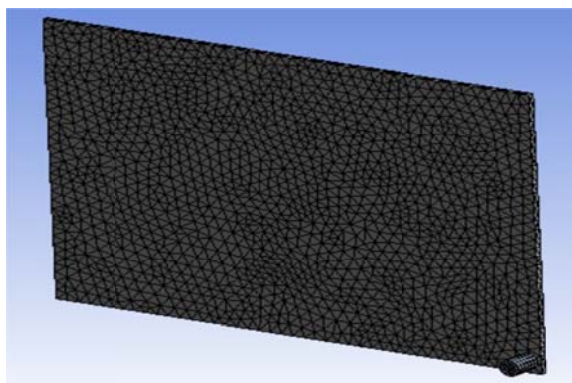


Figura 2. Modelul de calcul numeric

Rezultatele obținute în urma simulării numerice, referitoare la valorile primelor trei frecvențe proprii, sunt prezentate în tabelul 1.

Tabel 1. Rezultate MEF in cazul 1

f_i (Hz)	Mod	Valori MEF
f_1	încovoiere	206 Hz
f_2	încovoiere	235 Hz
f_3	încovoiere	453 Hz

În figurile 3-5 sunt prezentate formele primelor trei moduri proprii de vibrație, vizualizate cu programul Ansys Workbench.

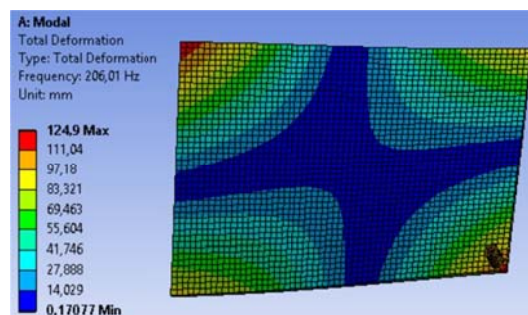


Figura 3. Modul 1

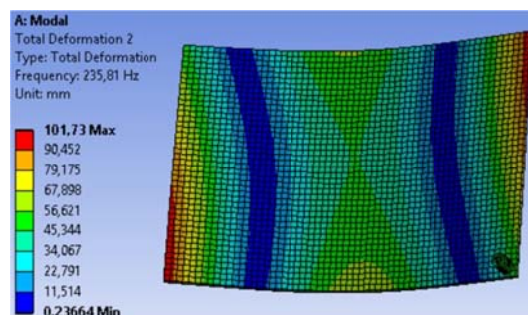


Figura 4. Modul 2

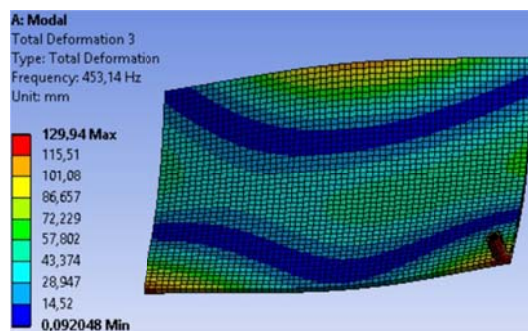


Figura 5. Modul 3

2.1.2 Analiza experimentală

Analiza modală experimentală a fost efectuată pe placa complet liberă. Pentru aceasta, placa a fost agățată de un corp cu masă mare, care nu participa la mișcarea de vibrație (figura 6).



Figura 6. Analiza experimentală

În figura 7 este prezentată curba de răspuns în frecvență, exprimată sub forma mobilității măsurate experimental, ca raport între mărimea de ieșire (viteza), măsurată în colțul plăcii și mărimea de intrare (forța), aplicată în centrul plăcii, corespunzătoare Cazului 1.

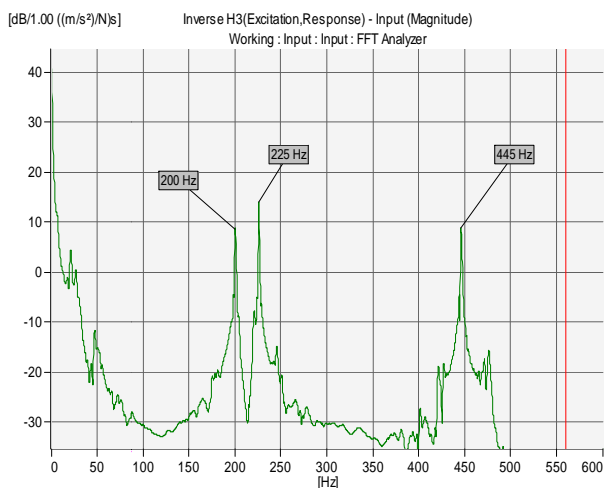


Figura 7. Curba de răspuns în frecvență

2.1.3 Concluzii corespunzătoare Cazului 1

Pentru primele trei moduri de vibrație, atât prin simulare numerică, cât și experimental, au fost determinate frecvențele proprii corespunzătoare primelor trei moduri proprii de vibrație. Rezultatele sunt trecute în tabelul 2.

Din tabel, rezultă eroarea relativ mică obținută în urma comparării celor două seturi de rezultate, lucru care certifică metoda de modelare cu elemente finite aleasă.

Tabel 2.Comparatie rezultate Caz 1

Modul	Frecvențe		Eroarea
	Simulare numerică	Analiza experimentală	
I	206 Hz	200 Hz	6 %
II	235 Hz	225 Hz	10 %
III	453 Hz	445 Hz	8 %

2.2 Analiza modală în Cazul 2

2.2.1 Analiza numerică

În acest caz, utilizându-se același program, Ansys Workbench, s-a efectuat analiza modală a două plăci din sticlă borosilicată, care au fost „lipite” între ele printr-un strat subțire de ulei cu grosimea de 0,01 mm. Acest pachet este denumit sandwich și este prezentat în figura 8. Densitatea celeilalte sticle a rezultat ca fiind $\rho = 2121 \text{ kg/m}^3$.

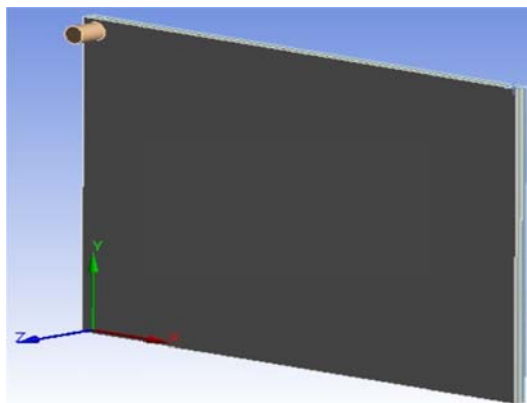


Figura 8. Pachet de tip sandwich

În model s-au folosit trei tipuri de contacte: două dintre acestea se află între ulei și fiecare dintre cele două sticle și cel de-al treilea se află între una dintre sticle și traductorul piezoelectric.

Modelul de calcul este prezentat în figura 9. Structura a fost discretizată în 4008 de elemente de tip brick cu 8 noduri pe element. În urma discretizării au rezultat 29197 de noduri. Mărimea elementului de discretizare este de 7mm.

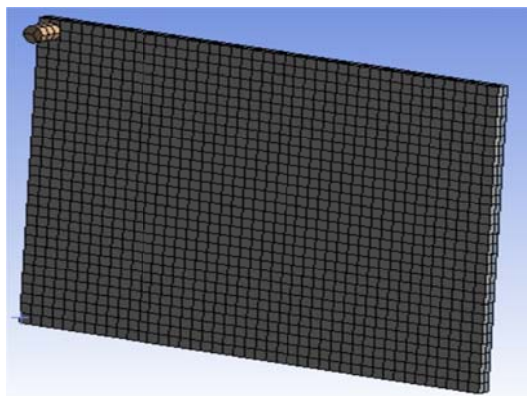


Figura 9. Modelul de calcul numeric

Valorile obținute în urma simulării numerice, ale primelor trei frecvențe proprii, sunt prezentate în tabelul 3, iar formele modurilor proprii, specifice celor trei frecvențe sunt evidențiate în figurile 10-12.

Tabel 3.Rezultate MEF in cazul 2

f_i (Hz)	Mod	Valorile frecvențelor MEF

Analiza modală a unei plăci din borosilicat prin modelare cu element finit și prin calcul experimental

f_1	încovoiere	213 Hz
f_2	încovoiere	240 Hz
f_3	încovoiere	470 Hz

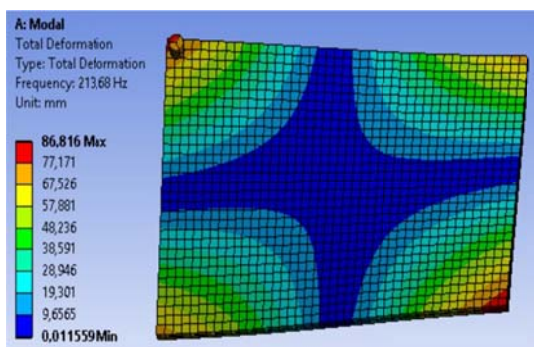


Figura 10. Modul 1

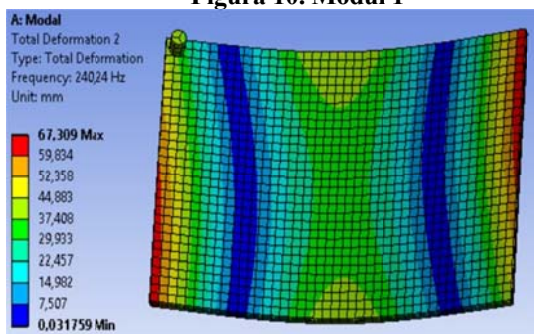


Figura 11. Modul 2

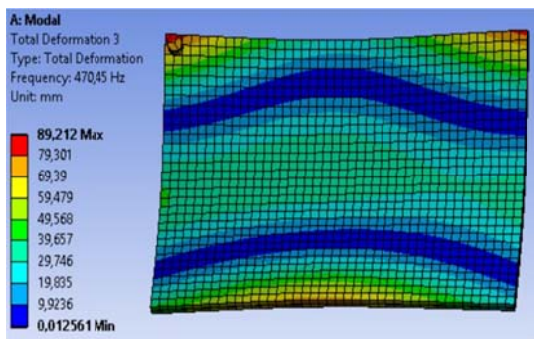


Figura 12. Modul 3

2.2.2 Analiza experimentală

Valorile primelor trei frecvențe proprii obținute experimental, în urma lovirii în centru a celor două plăci din sticlă borosilicată, separate printr-un strat subțire de ulei, sunt prezentate în figura 13

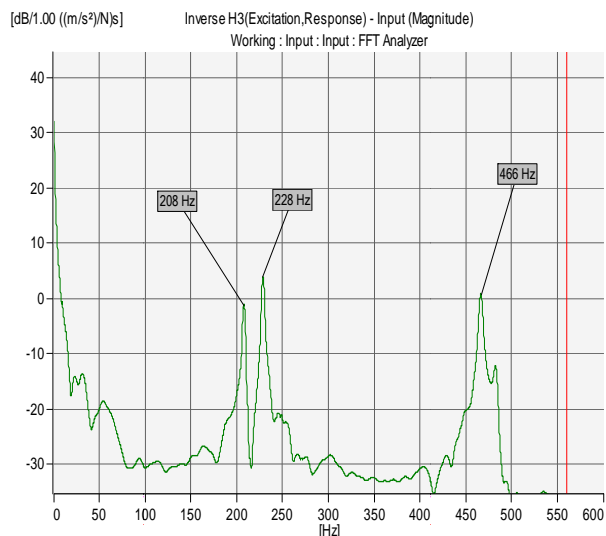


Figura 13. Curba de răspuns în frecvență

2.2.3 Concluzii corespunzătoare Cazului 2

Pentru primele trei moduri de vibrație, atât prin simulare numerică, cât și experimental, au fost determinate frecvențele proprii corespunzătoare primelor trei moduri proprii de vibrație. Rezultatele sunt trecute în tabelul 4. Din tabel, rezultă eroarea relativ mică obținută în urma comparării celor două seturi de rezultate, certificând încă o dată în plus, dacă mai era cazul, robustețea metodei alese.

Tabelul 4. Comparatie rezultate Caz 2

Modul	Frecvențele simulării [Hz]		Eroarea [%]
	Simulare numerică	Analiza experimentală	
I	213 Hz	208 Hz	5 %
II	240 Hz	228 Hz	12 %
III	470 Hz	466 Hz	4 %

2.3 Analiza modală în Cazul 3

Rezultatele bune obținute în primele două cazuri ne-au conferit siguranța obținerii de rezultate corecte și în cazul în care vom analiza o placă dreptunghiulară din sticlă borosilicată, a cărei grosime este egală cu dublul grosimii plăcilor din primele două cazuri, respectiv $t = 7,8$ mm.

Modelul de calcul este prezentat în figura 14. Structura a fost discretizată în 2675 de elemente de tip brick cu 8 noduri pe element. În urma discretizării au rezultat 15345 de noduri. Mărimea elementului de discretizare este de 5mm.



Figura 14. Modelul de calcul numeric

S-a observat faptul că frecvențele proprii, obținute prin simulare numerică, s-au dublat, lucru de altfel așteptat, deoarece structura este mai rigidă (tabelul 5).

Tabelul 5. Rezultate MEF caz 3

f_i (Hz)	Mod	Valorile frecvențelor MEF
f_1	încovoiere	494 Hz
f_2	încovoiere	572 Hz
f_3	încovoiere	1150 Hz

Formele modurilor proprii de vibrație au rămas aceleași. Ele sunt reprezentate în figurie 15-17.

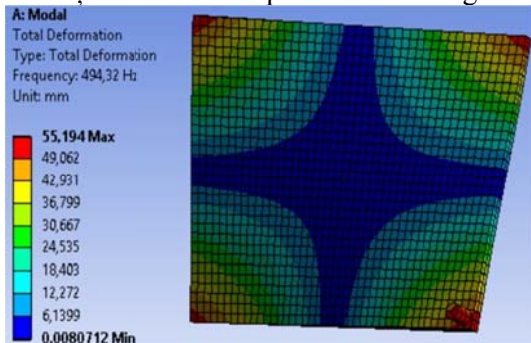


Figura 15. Modul 1

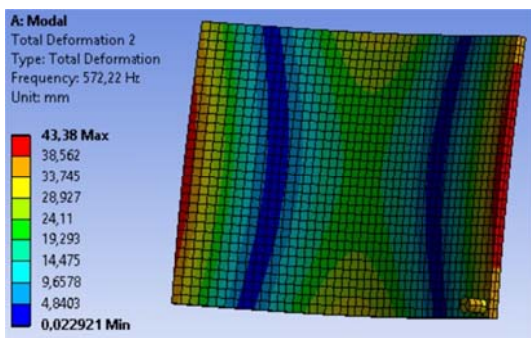


Figura 16. Modul 2

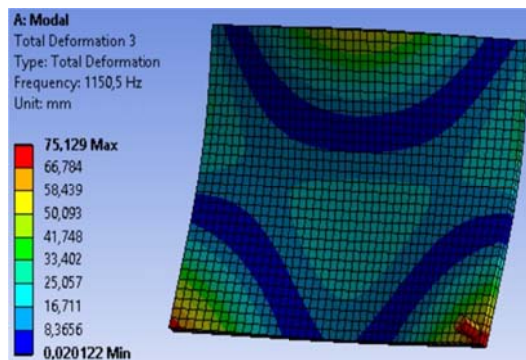


Figura 17. Modul 3

3 CONCLUZII

Alegerea metodei de simulare numerica prin metoda elementelor finite și a tipului de element folosit, au fost certificate de rezultatele bune și valorile relativ mici ale erorilor obținute în Cazul 1 (tabelul 2).

În Cazul 2, deși valorile densității sticlelor puteau fi cunoscute din standarde, s-a preferat determinarea lor experimentală pe baza măsurării directe a masei. Au rezultat astfel, pentru cele două sticle din borosilicat, valorile 2136 kg/m^3 și, respectiv, 2121 kg/m^3 . Valoarea densității uleiului, folosită ca dată de intrare în programul de simulare Ansys Workbench, a fost cea din standard, respectiv, 800 kg/m^3 . În ceea ce privește modulele de elasticitate și coeficientul de contracție transversală, pentru sticle s-au folosit modulul longitudinal $E = 63000 \text{ MPa}$, respectiv $\nu=0,20$, iar pentru pelicula de ulei, s-au folosit modulul transversal $G = 1620 \text{ MPa}$ și, respectiv, $\nu=0,46$. Toate cele trei straturi, au fost modelate cu tipul de element brick cu 8 noduri.

În ciuda faptului că pelicula de ulei asigură o aderență foarte bună a celor două plăci de sticlă (cu mare dificultate puteau fi despărțite), rezultatele obținute, atât prin simularea numerică, cât și experimental, au surprins prin valorile lor apropiate de cele rezultate în Cazul 1, reliefând faptul că, plăcile vibrează, oarecum, independent. Concluzia care se desprinde din observația de mai sus, constă în faptul că, obținerea unei structuri din sticlă borosilicată de grosime dublă față de grosimea sticlei inițiale, dar cu păstrarea regimului de frecvențe proprii, corespunzătoare primelor trei moduri proprii de vibrație, pentru evitarea fenomenului de rezonanță, presupune realizarea unui pachet de tip sandwich, așa cum este cel analizat în Cazul 2.

În cazul în care nu s-ar fi realizat acest pachet de tip sandwich, dar se dorea menținerea grosimii duble a sticlei, frecvențele primelor trei moduri proprii de vibrație, ar fi crescut considerabil și, în

Analiza modală a unei plăci din borosilicat prin modelare cu element finit și prin calcul experimental

unele situații, ar fi putut apărea fenomenul de rezonanță (tabelul 6).

Tabelul 6. Comparatie rezultate

Mod	Valorile frecvențelor proprii			
	Cazul 1		Cazul 2	
	Numeri c	Experimenta l	Numeri c	Experimenta l
I	206 Hz	200 Hz	213 Hz	208 Hz
II	235 Hz	225 Hz	240 Hz	228 Hz
III	453 Hz	445 Hz	470 Hz	466 Hz

Pentru a exista certitudinea unei simulări numerice corecte, analiza numerică realizată prin MEF, trebuie, cel puțin într-o primă fază, dublată de o analiză experimentală, care să certifice modelul.

4 BIBLIOGRAFIE

[1]. Părășanu I., cursul de "Dinamica structurilor", București, 2017.

[2]. Sorohan Ș., cursul de " Practica modelării cu elemente finite ", București, 2016.

[3]. <http://www.schott.com/d/tubing/9a0f5126-6e35-43bd-bf2a-349912caf9f2/schott-algae-brochure-borosilicate.pdf> Accesta la data: 2.05.2017

[4]. <http://www.btc.ro/tehnologie/> Accesta la data: 27.04.2017

ANALIZA STATICĂ ȘI DE STABILITATE AXIAL SIMETRICĂ A UNEI STRUCTURI CILINDRICE

HOTHAZIE Ștefan¹

Conducător științific: Conf. dr. ing. Viorel ANGHEL

REZUMAT: Structurile de tip isogrid sunt configurații de rigidizori, de diferite secțiuni, ce alcătuiesc o structură regulată plasată pe plăci subțiri, cu scopul de a mări factorul de flambaj al acestora. Datorită impactului major al isogrid-ului asupra stabilității structurilor ranforsate și, de asemenea, al avansării tehnologiei de manufacturare, folosirea acestui tip de ranforsare în industria aerospațială a crescut în ultimii ani. Pentru dimensionarea preliminară a geometriei isogrid-ului trebuie rulate un număr destul de mare de simulări numerice. În cazul structurilor foarte mari, timpul de execuție al simulărilor numerice este mult prea mare. Așadar, această publicație are ca scop rezolvarea acestei probleme. Se propune a se găsi o soluție analitică a problemei de analiză statică și de stabilitate al unui cilindru ranforsat cu structura de tip isogrid. Aceasta este obținută considerând placa subțire împreună cu structura isogrid ca o singură placă subțire cu proprietăți modificate. Aceasta este apoi implementată într-un program de calcul simbolic 'Maxima', care va calcula numeric tensiunile la nivelul structurii cât și factorul de flambaj al acesteia.

CUVINTE CHEIE: isogrid, simulare, rigidizor, flambaj, static

1 INTRODUCERE

În această lucrare va fi prezentată o soluție analitică a problemei de analiză statică cât și de flambaj al unui cilindru placat cu rigidizori de tip isogrid, însoțită de o implementare într-un program de calcul simbolic 'Maxima'.

Soluția analitică presupune o modificare a ecuațiilor clasice de calcul static și de flambaj al unui cilindru supus la forțe axiale simetrice. În principal, se propune o metodă de calcul generalizată a proprietăților echivalente ale unei structuri de tip placă subțire ceva aproximativ structura complicată a plăcii placate cu izogrid a cilindrului.

Aceasta va fi însoțită de o implementare simplă în programul 'Maxima' care va face calculul numeric și va afișa variația parametrilor caracteristici ai structurii sub forma unor grafice, ca de exemplu: variația factorului de flambaj versus grosimea plăcii subțiri, variația factorului de flambaj versus înălțimea rigidizorilor, etc.

2 STADIUL ACTUAL

Placarea structurilor de tip înveliș subțire cu rigidizor de tip isogrid este utilizată în industria aerospațială în principal pentru mărirea factorului de flambaj. Această metodă are avantajul de a ușura structura și de a îmbunătăți stabilitatea acesteia când este supusă la forțe axiale simetrice. Prin utilizarea rigidizorilor de tip izogrid învelișul subțire va avea o grosime redusă deoarece o parte

din forțele și momentele de încovoiere ce apar în structura cilindrică sunt preluate de rigidizori, aceștia având o rezistență la încovoiere mai mare decât placa subțire simplă. Acest fapt este datorat geometriei înalte a rigidizorilor, întrucât, la solicitarea de încovoiere, tensiunile variază liniar doar pe direcția radială. Așadar, rigidizorii au masa distribuită predominant în direcția radială a cilindrului. Datorită acestui tip de design, se pot atinge factori de flambaj mai mari utilizând mai puțin material.

Structura, astfel beneficiind de o masă redusă, a fost adoptată de industria aerospațială în construcția avioanelor de mare viteză, a rachetelor și chiar și a structurilor de rezistență folosite în construcția sateliților.

De-a lungul anilor au fost publicate numeroase metode analitice sau semianalitice care să descrie o astfel de structură isogrid. De menționat este metoda analitică folosită de către NASA în manualul 'NASA Isogrid Design Handbook', în care se folosește o aproximare a structurii placă subțire rigidizată ca o placă subțire cu proprietăți modificate. Ce diferă în abordarea NASA față de abordarea acestui articol este faptul că manualul folosește o axă neutră modificată și faptul că modifică modulul lui Young și grosimea plăcii subțiri echivalente. Metoda folosită în acest articol nu necesită folosirea unei axe neutre modificate, iar proprietățile plăcii subțiri modificate sunt approximate complet diferite. Alte metode analitice au fost publicate, însă datorită numărului mare de

publicații, se vor rezuma câteva caracteristici. Acestea folosesc metode de aproximare a factorului de flambaj folosind funcții de bază trigonometrice sau alte metode asemănătoare. În acest articol s-a folosit o metodă neobișnuită ce va fi descrisă în capitolele următoare. Ce a împrumutat acest articol din literatură este împărțirea cilindrului în module identice cu care se reconstruiește întreaga structură și ipotezele pe care se bazează metoda analitică.

3 SOLUȚIA ANALITICĂ

3.1 DESCRIEREA PROBLEMEI

Problema folosește metoda descrisă în lucrarea 'BUCKLING ANALYSIS OF GRID STIFFENED COMPOSITE STRUCTURES' de către Samuel Kidane[2], și anume, descompunerea structurii în module elementare. Aceste module elementare sunt o reducere a designului rigidizorilor atașați cilindrului. Folosind această tehnică se simplifică masiv calculele. Aceste module vor fi apoi folosite la reconstrucția cilindrului original astfel: se alege un număr întreg de module și se construiește circumferința la baza cilindrului, apoi se copiază acest rând pe direcția axei de simetrie până când se atinge lungimea dorită a cilindrului. În figura 1, s-a ilustrat un modul exemplu cu înălțimea 'a' și lățimea 'b', având rigidizori pe laturi și pe cele două diagonale ale acestuia.



Fig 2. Model FEM pentru modul

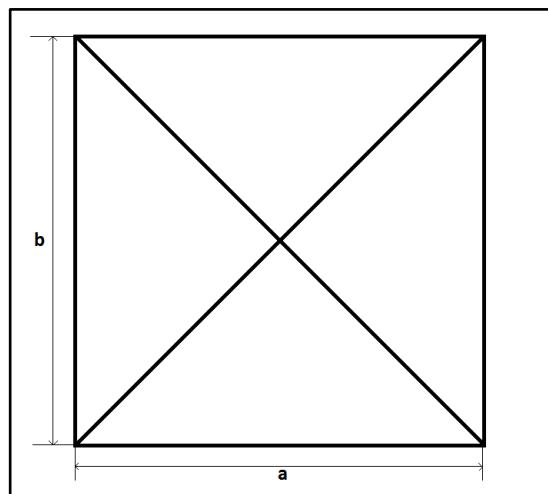


Fig. 1. Modul cu doi rigidizori

Problema constă în calculul tensiunilor structurii cât și factorul de flambaj. Pentru acest lucru vom avea nevoie de matricea de rigiditate a modulului și, implicit, a întregii structuri.

3.2 CALCULUL MATRICII DE RIGIDITATE

Pentru calculul matricii de rigiditate vom începe prin a defini expresiile elongațiilor și a forțelor distribuite pe placa curbă subțire. Toate acestea sunt o reiterație modificată a formulelor de calcul ale teoriei de flambaj ai cilindrilor de lungime medie din cartea 'Buckling of Bars, Plates and Shells' de Robert Millard Jones[1].

$$\begin{aligned}\bar{\epsilon}_x &= u_x + \frac{1}{2}w_x^2 \\ \bar{\epsilon}_y &= v_y + \frac{w}{r} + \frac{1}{2}w_y^2 \\ \bar{\gamma}_{xy} &= v_x + u_y + w_x w_y\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}k_x &= -w_{xx} \\ k_y &= -w_{yy} \\ k_{xy} &= -2w_{xy}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_x &= \bar{\epsilon}_x + zk_x \\ \epsilon_y &= \bar{\epsilon}_y + zk_y \\ \gamma_{xy} &= \bar{\gamma}_{xy} + zk_{xy}\end{aligned}$$

Elongațiile notate cu bară deasupra sunt elongațiile plăcii plane. Acestea au fost scrise sub formă neliniară deoarece sunt necesare în calculele ce vor urma. Elongațiile liniare sunt insuficiente pentru calculul flambajului axial simetric. Următoarele trei expresii sunt cele pentru curbura plăcii, acestea reprezentând deviația deformației de la placa plană. Ultimele trei expresii sunt forma finală a elongațiilor totale. Deoarece studiem plăci curbe subțiri, aceste elongații totale variază liniar pe grosimea plăcii. Axa z reprezintă axa pe direcția radială, axa y pe direcția

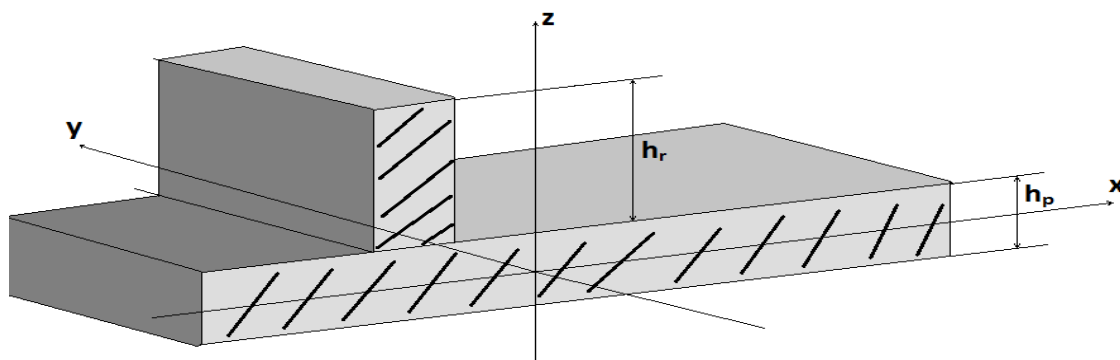


Fig. 3. Placă și rigidizor

circumferențială iar axa x pe direcția axială a cilindrului.

Din moment ce ne interesează numai deformații axial simetrice, toate derivatele în funcție de y vor fi nule iar deformația circumferențială v va fi zero. Astfel, expresiile de mai sus vor deveni:

$$\bar{\epsilon}_x = u_x + \frac{1}{2}w_x^2$$

$$\bar{\epsilon}_y = \frac{w}{r}$$

$$\bar{\gamma}_{xy} = 0$$

$$k_x = -w_{xx}$$

$$k_y = 0$$

$$k_{xy} = 0$$

$$\epsilon_x = u_x + \frac{1}{2}w_x^2 - zw_{xx}$$

$$\epsilon_y = \frac{w}{r}$$

$$\gamma_{xy} = 0$$

Vom defini acum forțele și momentele distribuite:

$$N_x = \int_h \sigma_x dz = A_{11}\bar{\epsilon}_x + A_{12}\bar{\epsilon}_y$$

$$N_y = \int_h \sigma_y dz = A_{21}\bar{\epsilon}_x + A_{22}\bar{\epsilon}_y$$

$$N_{xy} = \int_h \tau_{xy} dz = A_{33}\bar{\gamma}_{xy}$$

$$M_x = \int_h \sigma_x z dz = A_{44}k_x$$

$$M_y = \int_h \sigma_y z dz = 0$$

$$M_{xy} = \int_h \tau_{xy} z dz = 0$$

După cum se poate vedea, expresiile forțelor și momentelor distribuite vor fi funcții liniare de elongații și curburi care pot fi scrise sub formă matriceală:

$$\begin{pmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \\ M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ A_{21} & A_{22} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & A_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & A_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \bar{\epsilon}_x \\ \bar{\epsilon}_y \\ \bar{\gamma}_{xy} \\ k_x \\ k_y \\ k_{xy} \end{pmatrix}$$

Matricea A_{ij} este matricea de rigiditate a modului. Majoritatea valorilor matricii A_{ij} au fost neglijate deoarece valorile respective reprezintă tocmai efectele de cuplaj ai rigidizorilor, care sunt nesemnificative. Rolul rigidizorilor în metoda analitică prezentată în articol este de a modifica proprietățile plăcii curbe a cilindrului. Se neglijează orice alt efect al rigidizorilor.

Calculul propriu-zis al integralelor forțelor și momentelor distribuite se va împărți în doi pași: unul dedicat calculului matricii de rigiditate a plăcii curbe și unul dedicat calculului matricii de rigiditate al rigidizorilor.

$$N_x = \int_{\frac{h_p}{2}}^{\frac{h_p}{2}+h_r} \sigma_x dz + \int_{\frac{h_p}{2}}^{\frac{h_p}{2}} \sigma_x dz$$

$$N_y = \int_{\frac{h_p}{2}}^{\frac{h_p}{2}+h_r} \sigma_y dz + \int_{\frac{h_p}{2}}^{\frac{h_p}{2}} \sigma_y dz$$

$$N_{xy} = \int_{\frac{h_p}{2}}^{\frac{h_p}{2}+h_r} \tau_{xy} dz + \int_{\frac{h_p}{2}}^{\frac{h_p}{2}} \tau_{xy} dz$$

$$M_x = \int_{\frac{h_p}{2}}^{\frac{h_p}{2}+h_r} \sigma_x z dz + \int_{\frac{h_p}{2}}^{\frac{h_p}{2}} \sigma_x z dz$$

$$M_y = \int_{\frac{h_p}{2}}^{\frac{h_p}{2}+h_r} \sigma_y z dz + \int_{\frac{h_p}{2}}^{\frac{h_p}{2}} \sigma_y z dz$$

$$M_{xy} = \int_{\frac{h_p}{2}}^{\frac{h_p}{2}+h_r} \tau_{xy} z dz + \int_{\frac{h_p}{2}}^{\frac{h_p}{2}} \tau_{xy} z dz$$

În figura 3 s-au ilustrat înălțimile plăcii și rigidizorilor, h_p respectiv h_r . Expresiile tensiunilor rămân cele obișnuite:

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_x + \nu\epsilon_y)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_y + \nu\epsilon_x)$$

$$\tau_{xy} = \frac{E}{2(1+\nu)} \gamma_{xy}$$

În figura 4 s-a ilustrat o placă cu un rigidizor rotit împreună cu sistemul de coordonate al plăcii, XOY.

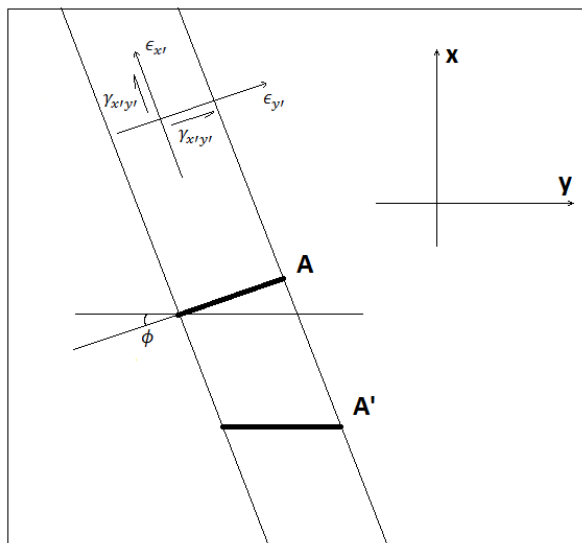


Fig. 4. Placă și rigidizor rotit

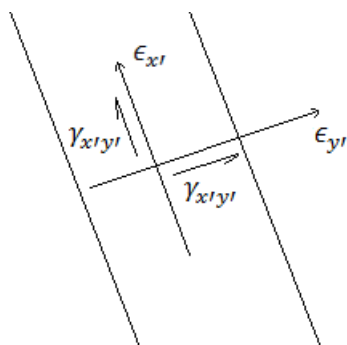


Fig. 5. Elongații rotite

Efectul rigidizorilor este doar de a da rezistență la încovoiere plăcii pe care o ranforcează. Pentru a afla expresiile tensiunilor în sistemul de coordonate global, elongațiile în lungul rigidizorului, ilustrate în figura 4, trebuie rotite cu unghiul ϕ . Vom scrie această relație între elongațiile din sistemul de coordonate al modulului și elongațiile din sistemul de coordonate local al rigidizorului ca o relație matriceală, unde $c = \cos(\phi)$ iar $s = \sin(\phi)$:

$$\begin{pmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c^2 & s^2 & sc \\ s^2 & c^2 & -sc \\ -2sc & 2sc & c^2 - s^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \epsilon_{x'} \\ \epsilon_{y'} \\ \gamma_{x'y'} \end{pmatrix}$$

Deformația rigidizorului are loc doar în lungul acestuia, așadar, singura elongație nenulă este $\epsilon_{x'}$:

$$\epsilon_{x'} = c^2 \epsilon_x + s^2 \epsilon_y - sc \gamma_{xy}$$

Idem, avem pentru tensiuni în sistemul de coordonate al modulului:

$$\begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c^2 & s^2 & sc \\ s^2 & c^2 & -sc \\ -2sc & 2sc & c^2 - s^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_{x'} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c^2 \sigma_{x'} \\ s^2 \sigma_{x'} \\ -2sc \sigma_{x'} \end{pmatrix}$$

Cum singura tensiune nenulă în lungul rigidizorului are următoarea expresie, $\sigma_{x'} = E \epsilon_{x'} = E(c^2 \epsilon_x + s^2 \epsilon_y - sc \gamma_{xy})$, avem:

$$\begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{pmatrix} = E \begin{pmatrix} c^2(c^2 \epsilon_x + s^2 \epsilon_y - sc \gamma_{xy}) \\ s^2(c^2 \epsilon_x + s^2 \epsilon_y - sc \gamma_{xy}) \\ -2sc(c^2 \epsilon_x + s^2 \epsilon_y - sc \gamma_{xy}) \end{pmatrix}$$

Pentru a afla contribuția rigidizorului la forța distribuită N_x , vom scrie echilibrul forțelor astfel:

$$N_x = \frac{F_x}{a} = \frac{1}{a} \int \sigma_x dA$$

$$N_x = \frac{1}{a} \int_{-\frac{h_p}{2}}^{\frac{h_p}{2} + h_r} \sigma_x \frac{t_r}{\cos(\phi)} dz$$

Forța F_x reprezintă forța totală pe aria rigidizorului. N_x este forța distribuită pe latura a a modulului. Elementul de arie dA este egal cu grosimea rigidizorului t_r împărțit la $\cos(\phi)$ înmulțit cu dz , grosimea unei fâșii mici de rigidizor. S-a împărțit la $\cos(\phi)$ deoarece se integrează pe proiecția ariei transversale a rigidizorului pe axa Ox .

În mod similar se obțin și relațiile pentru restul forțelor și momentelor distribuite:

$$N_x = \frac{E}{a \cos(\phi)} \int_{-\frac{h_p}{2}}^{\frac{h_p}{2} + h_r} t_r c^2 (c^2 \epsilon_x + s^2 \epsilon_y - sc \gamma_{xy}) dz$$

$$N_y = \frac{E}{b \sin(\phi)} \int_{-\frac{h_p}{2}}^{\frac{h_p}{2} + h_r} t_r s^2 (c^2 \epsilon_x + s^2 \epsilon_y - sc \gamma_{xy}) dz$$

$$N_{xy} = \frac{E}{a \cos(\phi)} \int_{-\frac{h_p}{2}}^{\frac{h_p}{2} + h_r} t_r (-2sc) (c^2 \epsilon_x + s^2 \epsilon_y - sc \gamma_{xy}) dz$$

$$M_x = \frac{E}{a \cos(\phi)} \int_{-\frac{h_p}{2}}^{\frac{h_p}{2} + h_r} t_r c^2 (c^2 \epsilon_x + s^2 \epsilon_y - sc \gamma_{xy}) z dz$$

$$M_y = \frac{E}{b \sin(\phi)} \int_{-\frac{h_p}{2}}^{\frac{h_p}{2} + h_r} t_r s^2 (c^2 \epsilon_x + s^2 \epsilon_y - sc \gamma_{xy}) z dz$$

$$M_{xy} = \frac{E}{a \cos(\phi)} \int_{-\frac{h_p}{2}}^{\frac{h_p}{2} + h_r} t_r (-2sc) (c^2 \epsilon_x + s^2 \epsilon_y - sc \gamma_{xy}) z dz$$

Similar procedăm și în cazul plăcii subțiri. Matricea de rigiditate totală se obține prin însumarea matricilor de rigiditate ai fiecărui rigidizor și cea a plăcii. Având aceste relații finale, putem extrage coeficienții matricii de rigiditate dintre forțe și momente distribuite și elongații și curbură.

Se vor enumera din nou pașii pentru obținerea coeficienților matricii de rigiditate totale:

1. Se calculează matricea de rigiditate pentru placa curbă.

2. Se alege un rigidizor și se scot expresiile forțelor și momentelor distribuite ale acestuia în funcție de elongații și curburile folosind expresiile de mai sus.
3. Se scot coeficienții elongațiilor și curburilor din expresiile rezultate din pasul anterior și se asamblează matricea de rigiditate a rigidizorului.
4. Se repetă pașii 2 și 3 pentru toți rigidizorii.
5. Se compune matricea de rigiditate a modulului prin adunarea tuturor matricilor de rigiditate calculate anterior.

3.3 CALCULUL TENSIUNILOR ÎN CAZUL SOLICITĂRII STATICE AXIAL SIMETRICE

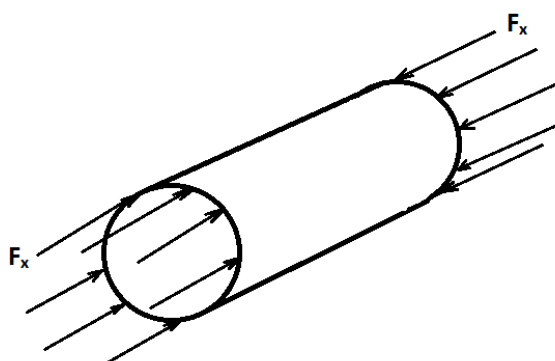


Fig. 6. Cilindru solicitat axial simetric

Calculul este acum unul simplu. Având matricea de rigiditate, putem scrie relația dintre forțe și momente distribuite și elongații și curburile:

$$\begin{pmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \\ M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ A_{21} & A_{22} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & A_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & A_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \bar{\epsilon}_x \\ \bar{\epsilon}_y \\ \bar{\gamma}_{xy} \\ k_x \\ k_y \\ k_{xy} \end{pmatrix}$$

Necunoscutele sunt elongațiile și curburile, și anume vectorul din dreapta. Cunoscutele sunt F_x , forța axială, și R , raza cilindrului. Cum N_x este forța F_x împărțită la circumferința cilindrului, și cum restul forțelor și momentelor sunt nule, avem:

$$\begin{pmatrix} \bar{\epsilon}_x \\ \bar{\epsilon}_y \\ \bar{\gamma}_{xy} \\ k_x \\ k_y \\ k_{xy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ A_{21} & A_{22} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & A_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & A_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} F_x \\ 2\pi R \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Dacă separăm matricea de rigiditate totală în matricile de rigiditate a fiecărei componente, calculate în capitolul 3.2, vom putea obține tensiunile fiecărui element al modulului. Elongațiile, ce au fost calculate mai sus, sunt aceleași pentru orice componentă.

Astfel, tensiunile elementelor se pot afla doar prin simpla înmulțire a matricii de rigiditate ale acestora cu vectorul de elongații.

3.4 CALCULUL LA FLAMBAJ

Mai întâi vom scrie ecuațiile de echilibru sub forma generală:

$$\begin{aligned} \frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{\partial N_{xy}}{\partial y} &= 0 \\ \frac{\partial N_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial N_y}{\partial y} &= 0 \\ \frac{\partial^2 M_x}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 M_{xy}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 M_y}{\partial y^2} + N_x w_{xx} + N_y w_{yy} \\ &+ 2N_{xy} w_{xy} - \frac{N_y}{R} = p \end{aligned}$$

Presiunea p reprezintă presiunea distribuită pe circumferința cilindrului.

Facând toate derivatele în funcție de y nule și componenta v zero, avem:

$$\begin{aligned} N_x &= A_{11} \left(u_x + \frac{1}{2} w_x^2 \right) + A_{12} \frac{w}{R} \\ N_y &= A_{21} \left(u_x + \frac{1}{2} w_x^2 \right) + A_{22} \frac{w}{R} \\ N_{xy} &= 0 \\ M_x &= A_{44} (-w_{xx}) \\ M_y &= 0 \\ M_{xy} &= 0 \end{aligned}$$

Iar sistemul de ecuații diferențiale devine:

$$\begin{aligned} \frac{\partial N_x}{\partial x} &= 0 \\ \frac{\partial^2 M_x}{\partial x^2} + N_x w_{xx} - \frac{N_y}{R} &= p \end{aligned}$$

Din prima relație rezultă ca $N_x = N$ constant. Dacă descompunem a doua relație avem:

$$A_{44} \frac{d^4 w}{dx^4} - N \frac{d^2 w}{dx^2} + \frac{N_y}{R} + p = 0$$

Vom scoate N_y numai în funcție de w/R din expresiile forțelor distribuite N_x și N_y , pentru a putea obține o ecuație diferențială de ordinul patru.

$$N_y = \frac{1}{A_{11}} \left(A_{21} N + (A_{11} A_{22} - A_{12} A_{21}) \frac{w}{R} \right)$$

Asadar, ecuația diferențială devine:

$$A_{44} \frac{d^4 w}{dx^4} - N \frac{d^2 w}{dx^2} + \frac{A_{11} A_{22} - A_{12} A_{21}}{A_{11}} \frac{w}{R^2} + \frac{A_{21}}{A_{11}} N + p = 0$$

Din cauza faptului că rezolvarea propriu-zisă a acestei ecuații diferențiale este mult prea voluminoasă

pentru acest articol, se va descrie numai pașii de rezolvare și se va da direct răspunsul.

Pentru rezolvare:

1. Se scrie polinomul caracteristic care are patru rădăcini.
2. Se alcătuieste soluția generalizată cu patru constante.
3. Se pun următoarele patru condiții la limită: la fiecare dintre capete $w = 0$ și $w_{xx} = 0$.
4. Se obține un sistem linear de ecuații în patru necunoscute.
5. Se egalează determinantul cu zero și vom obține o relație între cele patru constante. Acea relație conține variabila N și este de forma:

$$N = 2 \sqrt{\frac{A_{11}A_{22} - A_{12}A_{21}}{A_{11}} \frac{A_{44}}{R^2}}$$

Se știe că N este forța distribuită pe circumferința cilindrului, și anume:

$$N = \frac{F_x}{2\pi R}$$

Printr-o simplă înlocuire ajungem la formula forței critice de flambaj pentru un cilindru de lungime medie sollicitat axial:

$$P_{cr} = 4\pi \sqrt{\frac{A_{11}A_{22} - A_{12}A_{21}}{A_{11}}} A_{44}$$

4. REZULTATE NUMERICE

S-a oferit o adresă web la sfârșitul acestui articol unde se află codul principal al programului în care s-a implementat metoda analitică prezentată în acest articol.

Pentru a obține o măsură a erorii pe care o poate avea metoda analitică, s-a ales un model de cilindru cu isogrid cu următoarele specificații:

- R=.5 m
- material: Aluminu
- E=70 GPa
- $\nu=0.33$
- F=100000 N

În figura 7 este ilustrat cilindrul cu isogrid, cu modul de raport înălțime/lățime egal cu 1, iar în figura 12 este ilustrat cilindrul cu isogrid, cu modul de raport înălțime/lățime egal cu 2.5.

Învelișul subțire, atât și rigidizorii, sunt făcuți din același material: aluminu. Raza cilindrului este de 0.5 metri. În tabelul de mai jos sunt figurate rezultatele ce s-au obținut mai întâi cu programul propus, iar apoi cu modelare cu element finit.

$\frac{b}{a}$	h_p [mm]	$\frac{P_{crA}}{F}$	$\frac{P_{crFEM}}{F}$	ϵ_{rel} [%]
1	8	196.12	175.13	11.98
1	4	63.56	51.03	24.55
1	2	28.8	21.38	34.7
1	1	17.36	7.423	133.86
1.5	8	190.79	172.8	10.41
1.5	4	59.41	49.76	19.38
1.5	2	25.64	19.44	31.85
1.5	1	15.01	5.14	191.68
2	8	188.41	169.67	11.04
2	4	57.52	46.23	24.42
2	2	24.18	14.85	62.80
2	1	13.91	4.31	222.73
2.5	8	187.27	169.67	10.37
2.5	4	56.61	46.23	22.45
2.5	2	23.46	14.85	57.95
2.5	1	13.38	4.31	210.44

În figurile următoare sunt ilustrate câteva rezultate ale calculelor cu element finit.

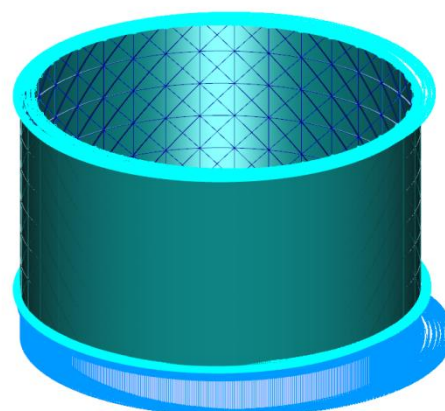


Fig. 7. Cilindru cu isogrid $b/a=1$

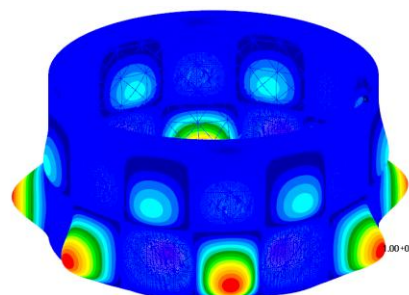


Fig. 8. $b/a=1$; $h_p=8$

Tabelul 1. Rezultate numerice

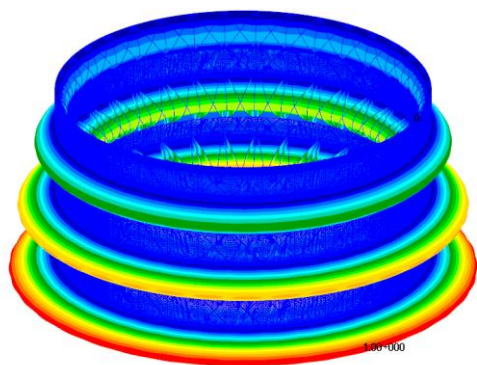


Fig. 9. $b/a=1$; $hp=4$

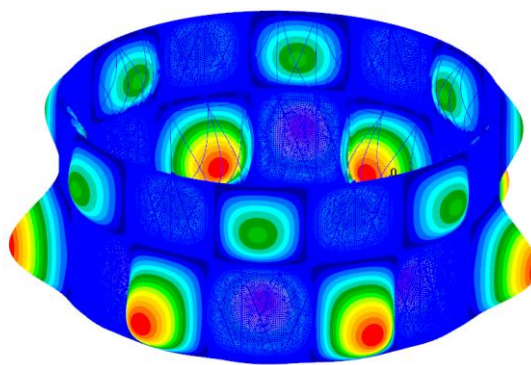


Fig. 13. $b/a=2.5$; $hp=8$

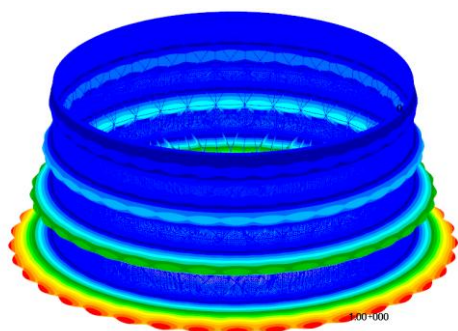


Fig. 10. $b/a=1$; $hp=2$

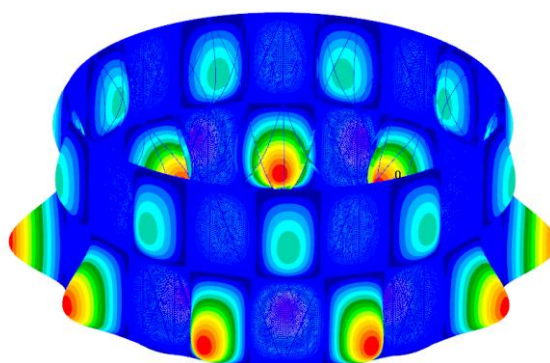


Fig. 14. $b/a=2.5$; $hp=4$

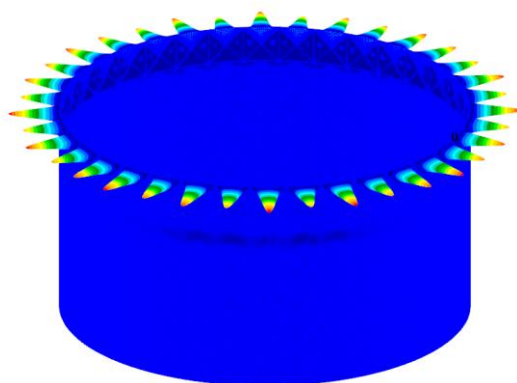


Fig. 11. $b/a=1$; $hp=1$

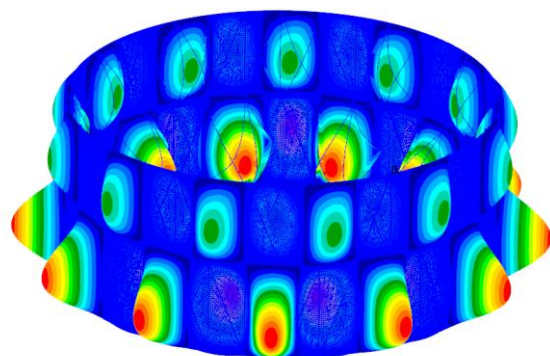


Fig. 15. $b/a=2.5$; $hp=2$

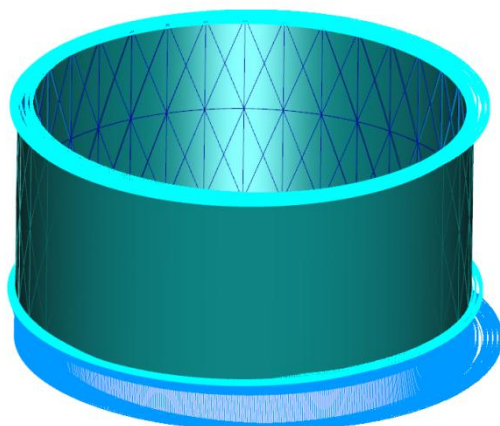


Fig. 12. Cilindru cu isogrid $b/a=2.5$

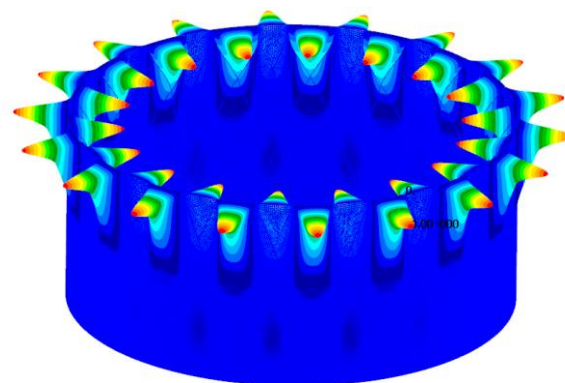


Fig. 16. $b/a=2.5$; $hp=1$

După cum se poate vedea pentru module unde rigidizorii au o pondere volumică mică,

predomină flambajul clasic unde placa flambează prima. Pentru module în care rigidizorii au pondere volumică mare, ca de exemplu în figurile 11 și 16, flambajul are loc mai întâi pentru rigidizori. Acest fapt explică de ce eroarea pare a fi extrem de mare în acele cazuri (>200%). Valoarea flambajului în acele cazuri este una locală, cea a rigidizorilor, și nu cea globală a întregii structuri.

5 CONCLUZII

După cum se poate vedea calculul analitic, prezentat în acest articol, al unei asemenea structuri de tip cilindru ranforsat cu isogrid, poate avea erori considerabile. De menționat este și faptul că în realitate valorile factorului de flambaj sunt cu mult mai mici chiar și decât rezultatele date de analiza cu element finit. Așadar, această metodă nu trebuie considerată ca fiind foarte precisă.

Această metodă a fost creată pentru a servi ca unealtă în fazele preliminare al unui studiu de fezabilitate. A fost concepută pentru a scurta timpul de calcul al acestor parametri, întrucât se pierde foarte mult timp pe un calcul ce nu redă fidel realitatea.

Un studiu important ar fi cel al dezvoltării unei metode de determinare a flambajului care ia în calcul și distribuția de imperfecțiuni în structură. Un calcul statistic ar fi posibil, însă cea mai promițătoare metodă ar fi cea care folosește calculul variațional în a determina viteza cu care geometria cilindrului se alterează și a lucra direct cu aceste date pentru a capta toate tipurile de imperfecțiuni ce ar putea fi prezente în structura după construire.

6 MULȚUMIRI

Menționez pe Camelia Munteanu, Radu Bibire și Mihaela Nastase pentru contribuții la realizarea analizelor cu element finit folosite în această lucrare.

7 BIBLIOGRAFIE

- [1]. Robert Millard Jones, (2006), *Buckling of Bars, Plates, and Shells*, Bull Ridge Corporation, Blacksburg, Virginia, 0978722302, 9780978722302
- [2]. Samuel Kidane, (2002), "Buckling Analysis of Grid Stiffened Composite Structures", Addis Ababa University

DETERMINAREA NUMERICĂ A FACTORULUI DE INTENSITATE A TENSIUNII LA VÂRFUL UNEI FISURI DIN APROPIEREA UNEI GĂURI

NEGRESCU Mario-Alin¹, SAVU Mihai-Costin¹

Conducător științific: Prof. Dr. Ing. Ștefan Dan PASTRAMĂ

REZUMAT: În lucrare se prezintă un calcul numeric utilizând metoda elementelor finite pentru calibrarea factorului de intensitate a tensiunii la vârful unei fisuri situate în apropierea unei găuri circulare. Structura considerată este o placă metalică sollicitată cu o tensiune uniformă. În urma calculului numeric se propune o expresie polinomială a factorului de intensitate a tensiunii, ce poate fi utilizată pentru evaluarea duratei de viață a structurii în cazul solicitărilor variabile.

CUVINTE CHEIE: fisură, factorul de intensitate a tensiunii, elemente finite, interpolare polinomială

1 INTRODUCERE

Majoritatea structurilor conțin fisuri ce apar fie în procesul de fabricație fie în timpul funcționării. În anumite condiții, aceste fisuri se pot propaga, conducând la cedarea piesei. Modul în care o fisură se propagă depinde de starea de tensiune ce apare în regiunea în care aceasta se află. După mișcarea relativă pe care o au suprafețele de rupere situate de o parte și de alta a planului în care se extinde fisura, propagarea acesteia se poate face în următoarele trei moduri simple (Pană & Pastramă, 2001):

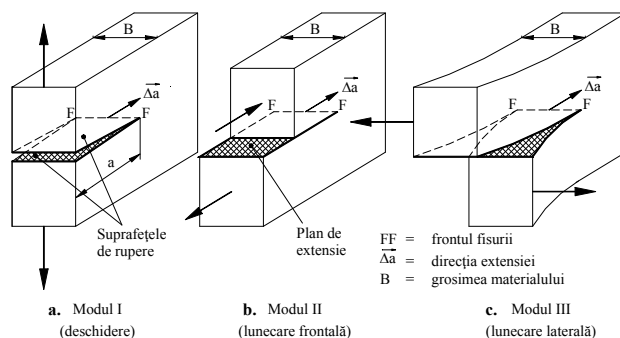


Fig. 1. Modurile de propagare a fisurii (Pană & Pastramă, 2001)

Modul I: fisura se extinde prin deschidere; deplasările punctelor de pe suprafețele de rupere sunt perpendiculare pe planul de extensie al fisurii (figura 1,a);

Modul II: fisura se extinde prin lunecare frontală; deplasările punctelor de pe suprafețele de rupere se fac în planul fisurii, perpendicular pe

frontul acesteia, în sensul de avansare a fisurii (figura 1,b);

Modul III: fisura se extinde prin lunecare laterală; deplasările punctelor de pe suprafețele de rupere se fac în planul fisurii, paralel cu frontul ei (figura 1,c).

Toate celelalte moduri posibile pot fi descrise prin combinarea acestor trei moduri simple.

Cele mai multe ruperi fragile se produc după modul I, la care energia elastică de deformare disponibilă și deplasările frontului fisurii sunt mai mari decât la celelalte moduri.

Pentru a evalua posibilitatea de propagare fragilă a unei fisuri, este necesară determinarea *factorului de intensitate a tensiunii*, care este parametrul cel mai important în mecanica ruperii liniar elastică. Factorul de intensitate a tensiunii caracterizează starea de tensiune din jurul vârfului unei fisuri și este utilizat ca și criteriu de cedare în cazul în care zona cu deformări plastice datorate concentrării de tensiune din jurul fisurii are dimensiuni neglijabile. Acest parametru, notat cu K urmat de un indice ce precizează modul de extindere a fisurii (I, II sau III), este utilizat de asemenea în calculul duratei de viață a pieselor cu fisuri sollicitate de încărcări variabile în timp. Factorul de intensitate depinde de geometria piesei, dimensiunile și poziția fisurii, mărimea și distribuția încărcărilor, și poate fi calculat cu relația generală:

$$K = F\sigma\sqrt{\pi a} \quad (1)$$

în care F este un factor ce depinde de geometria piesei, σ este tensiunea îndepărtată aplicată, iar a

¹ Specializarea Mechanical Engineering, Facultatea de Inginerie în Limbi Străine;

E-mail: marionegrescu@yahoo.com;

Determinarea numerică a factorului de intensitate a tensiunii la vârful unei fisuri din apropierea unei găuri

reprezintă lungimea sau semilungimea fisurii. Analizând relația (1), se poate observa că factorul de intensitate a tensiunii este direct proporțional cu încărcarea aplicată și cu rădăcina pătrată a lungimii fisurii.

Propagarea fragilă a unei fisuri este posibilă în cazul în care factorul de intensitate este cel puțin egal cu valoarea critică K_c (factorul critic de intensitate a tensiunii). Dacă sunt îndeplinite condițiile stării plane de deformare, atunci K_c este o constantă de material, se notează K_{Ic} și se numește *tenacitatea la rupere*.

În cazul unor structuri simple, expresii ale factorului de intensitate a tensiunii pot fi găsite în compendii sub forma unor grafice sau expresii matematice funcție de lungimea fisurii și geometria piesei (Rooke & Cartwright, 1976), (Murakami, 1987), (Wu & Carlsson, 1991). În cazul unor structuri complicate, pentru care nu sunt disponibile soluții, determinarea acestui parametru se poate face utilizând metode analitice, numerice sau experimentale. În literatura de specialitate există un număr foarte mare de studii în care se propun astfel de metode pentru evaluarea factorului de intensitate a tensiunii. O sinteză a acestora este prezentată în (Cartwright & Rooke, 1975). Odată cu dezvoltarea foarte rapidă a computerelor, metodele numerice au început să fie din ce în ce mai folosite în calculele de mecanica ruperii. Dintre acestea, cea mai utilizată în prezent este metoda elementelor finite (MEF) pentru care s-au creat programe performante, ce pot modela structuri complexe.

În lucrare se prezintă un calcul cu elemente finite pentru determinarea factorului de intensitate a tensiunii la vârful unei fisuri situate în apropierea unei găuri circulare, într-o placă solicitată cu o tensiune uniformă ce produce deschiderea fisurii după Modul I. Analizele cu elemente finite au fost făcute pentru mai multe lungimi ale fisurii, iar rezultatele obținute au fost interpolate obținându-se o expresie generală a factorului de intensitate a tensiunii pentru această structură. Relația obținută poate fi utilizată pentru determinarea factorului de intensitate pentru orice lungime a fisurii aflată în intervalul considerat.

2 STRUCTURA STUDIATĂ

Calculul numeric a fost realizat pentru o placă de lățime finită, având un concentrator de tensiune de tip gaură circulară și o fisură aflată în apropierea găurii. Geometria structurii este prezentată în figura 2, iar dimensiunile acesteia sunt listate în Tabelul 1. Placa este solicitată de o

tensiune îndepărtată uniformă $\sigma = 100\text{MPa}$, iar materialul acesteia are constantele: $E = 21 \cdot 10^4\text{MPa}$ și $\nu = 0.3$.

Tabelul 1. Geometria structurii

ρ [mm]	H [mm]	b [mm]	W [mm]
13.2	396	66	198

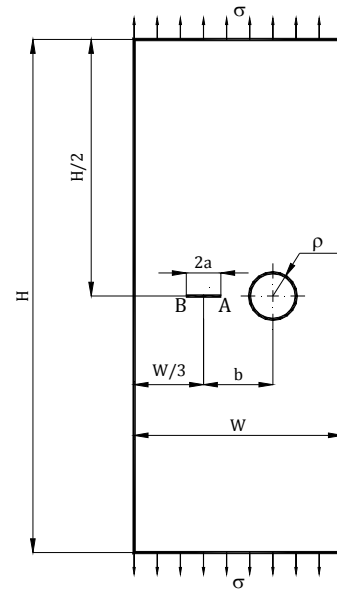


Fig. 2. Structura studiată

3 ANALIZA CU ELEMENTE FINITE

Calculul numeric a fost efectuat prin metoda elementelor finite, utilizând programul FRANC2D (<http://cfg.cornell.edu/software>). Acesta este un software specializat pentru mecanica ruperii, ce poate simula propagarea unei fisuri într-o structură. Programul poate modela structuri stratificate și are o opțiune pentru calculul la încovoire al îmbinărilor suprapuse (lap joints) excentrice. FRANC2D poate modela de asemenea structuri bidimensionale utilizând elemente triunghiulare sau patrulatere cu patru sau opt noduri.

În zona din jurul vârfului unei fisuri solicitate în Modul I, într-un sistem de axe având originea la vârful fisurii, tensiunile sunt date de relațiile (Irwin, 1957):

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right) \\ \sigma_y &= \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right) \\ \tau_{xy} &= \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2}\end{aligned}\quad (2)$$

în care r și θ sunt coordonatele polare ale unui punct iar K_I este factorul de intensitate a tensiunii. Se poate observa că, la vârful fisurii (pentru $r \rightarrow 0$) tensiunile devin infinite (câmpul de tensiuni este singular). Pentru simularea singularității la vârful fisurilor, programul FRANC2D utilizează elemente speciale triunghiulare în care nodurile de mijloc de lângă vârful fisurii sunt mutate la sfertul laturii. Modul în care este simulată singularitatea de la vârful fisurii cu ajutorul acestor elemente a fost descris de către Barsoum [8].

Discretizarea inițială a plăcii a fost realizată utilizând elemente patrulatere cu opt noduri (figura 3). Placa s-a considerat cu o grosime suficient de mare pentru a asigura existența stării plane de deformație.

După realizarea discretizării, au fost introduse caracteristicile materialului și apoi condițiile la limită. Latura inferioară a plăcii a fost blocată pe ambele direcții (figura 4), iar pe latura superioară s-a aplicat tensiunea uniformă $\sigma = 100$ MPa.

Programul permite introducerea ulterioară a unei fisuri centrale sau de margine prin indicarea coordonatelor vârfurilor (vârfului). Pentru studiu au fost considerate șapte lungimi diferite ale fisurii, corespunzătoare rapoartelor $a/b = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7$.

Pentru fiecare fisură creată, discretizarea este refăcută automat în zona acesteia, introducându-se elemente singulare triunghiulare la vârfuri.

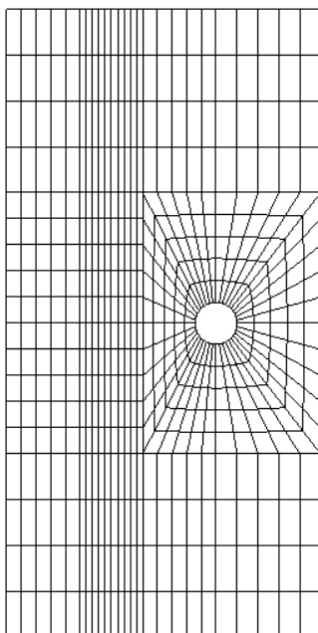


Fig. 3. Discretizarea inițială fără fisură

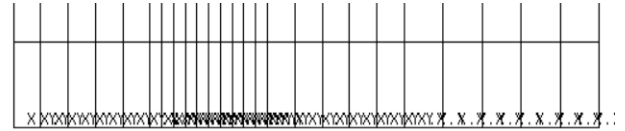


Fig. 4. Blocajele aplicate pe latura inferioară

Un exemplu de re-discretizare în zona fisurii este prezentat în figura 5, în care se poate observa deformată structura, cu fisura deschisă după Modul I pentru raportul $a/b = 0,4$ (corespunzătoare unei lungimi a fisurii $2a = 52,8$ mm). Structura nedeformată este desenată cu linii portocalii.

În urma re-discretizării după introducerea fisurii, au rezultat între 1931 și 2609 noduri și respectiv între 638 și 990 elemente.

4 REZULTATE ȘI DISCUȚII

Valorile factorului de intensitate a tensiunii K_I la vârful A, obținute în urma analizelor cu elemente finite precum și valorile factorului adimensional F din relația (1) sunt prezentate în Tabelul 2.

Factorul adimensional de intensitate a tensiunii F a fost reprezentat grafic în funcție de raportul a/b în figura 6.

Tabelul 2. Rezultatele obținute

a/b	K_I [MPa√mm]	$F = \frac{K_I}{\sigma\sqrt{\pi a}}$
0,1	475,51	1,044
0,2	685,43	1,064
0,3	864,92	1,097
0,4	1041,98	1,144
0,5	1238,76	1,217
0,6	1496,83	1,342
0,7	1974,98	1,639

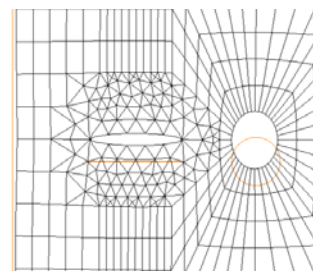


Fig. 5. Structura deformată în cazul $a/b = 0,4$

Determinarea numerică a factorului de intensitate a tensiunii la vârful unei fisuri din apropierea unei găuri

Rezultatele obținute au fost interpolate pentru a se obține o relație generală de calcul pentru factorul adimensional F . S-a obținut următoarea corelație polinomială de gradul 5, cu coeficientul de determinare $R = 0.999985$:

$$F(a/b) = 0,976 + 1,328 \cdot \frac{a}{b} - 9,344 \cdot \left(\frac{a}{b}\right)^2 + 34,426 \cdot \left(\frac{a}{b}\right)^3 - 55,866 \cdot \left(\frac{a}{b}\right)^4 + 35,211 \cdot \left(\frac{a}{b}\right)^5 \quad (3)$$

Funcția de interpolare polinomială este reprezentată în graficul din figura 6 prin curba albastră.

Se poate observa foarte buna concordanță între valorile obținute prin analiza cu elemente finite și funcția de interpolare.

Expresia obținută pentru factorul adimensional de intensitate a tensiunii F poate fi utilizată pentru calculul factorului de intensitate K_I în structura studiată pentru orice lungime a fisurii exprimată prin raportul a/b cuprins între 0,1 și 0,7.

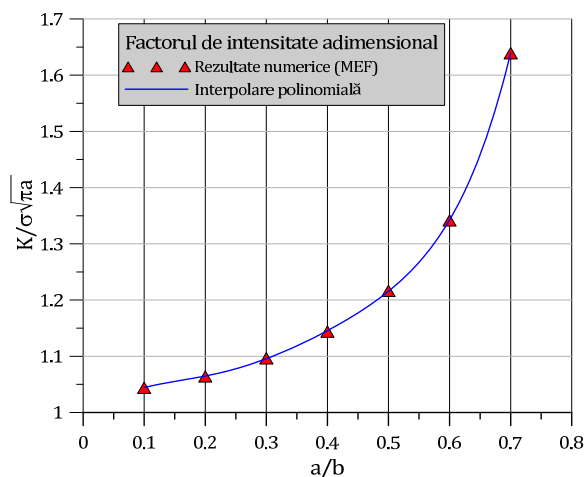


Fig. 6. Variația factorului adimensional de intensitate a tensiunii

5 CONCLUZII

În lucrare se prezintă un studiu cu elemente finite pentru determinarea expresiei generale a factorului de intensitate a tensiunii la vârful unei fisuri aflate într-o placă cu gaură circulară, solicitată de o tensiune îndepărtată uniformă.

Calculul a fost efectuat cu ajutorul programului de elemente finite FRANC2D, specializat pentru analiza structurilor cu fisuri.

Rezultatele numerice obținute în urma analizelor cu elemente finite au fost interpolate pentru a obține o relație generală a factorului de intensitate a tensiunii sub formă polinomială.

Corelația între rezultatele numerice și funcția de interpolare obținută sub forma unui polinom de gradul cinci a fost foarte bună, coeficientul de determinare R fiind foarte aproape de 1.

Relația de calcul obținută poate fi utilizată pentru analiza propagării fisurii și determinarea duratei de viață a plăcii analizate sub acțiunea sarcinilor variabile.

Această metodologie poate fi aplicată oricărei structuri ce conține o fisură și pentru care nu există în literatura de specialitate relații de calcul al factorului de intensitate a tensiunii care să poată fi utilizate pentru evaluarea integrității structurii.

6 BIBLIOGRAFIE

- [1]. Pană, T., Pastramă, Ș.D. (2001), *Integritatea structurilor metalice*, Editura Fair Partners, București, ISBN 9739998437.
- [2]. Rooke, D.P., Cartwright, D.J. (1976), *Compendium of stress intensity factors*, Her Majesty's Stationery Office, London, ISBN 9780117713369.
- [3]. Murakami, Y. (editor) (1987), *Stress Intensity Factors Handbook*, Pergamon Press, Oxford, ISBN 9780080348094.
- [4]. Wu, X.R., Carlsson, J. (1991), *Weight functions and stress intensity factor solutions*, Pergamon Press, Oxford, ISBN 9780080417028.
- [5]. Cartwright, D.J., Rooke, D.P. (1975) – „Evaluation of the Stress Intensity Factors”, *The Journal of Strain Analysis for Engineering Design*, vol. 10, pp. 217–224, ISSN 0309-3247
- [6]. FRANC2D software – accesat în 5 Mai 2017, website: <http://cfg.cornell.edu/software>
- [7]. Irwin, G.R. (1957) – „Analysis of stresses and strains near the end of a crack traversing in a plate” *Journal of Applied Mechanics*, vol. 24, pp. 361–364, ISSN 0021-8936
- [8]. Barsoum, R. S. (1976) – „On the use of isoparametric finite elements in linear fracture mechanics”, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, vol. 10, No. 1, pp. 25-37, ISSN 1097-0207.

7 NOTAȚII

Următoarele simboluri sunt utilizate în cadrul lucrării:

K = Factorul de intensitate a tensiunii
 $[MPa\sqrt{mm}]$;

F = Factorul adimensional de intensitate a tensiunii

a = semilungimea fisurii centrale [mm]

σ = tensiunea îndepărtată aplicată [MPa]

OPTIMIZAREA UNEI COMPONENTE DE SUSȚINERE A MOTORULUI UNEI NAVE SPAȚIALE

BIBIRE Radu-Petru¹

Conducător științific: Prof. dr. ing. **Ștefan SOROHAN**

REZUMAT: Această lucrare prezintă optimizarea unei piese suport pentru motoarele ce intră în componența sistemului de stabilitate și control al atitudinii și pe orbită unui satelit, această operație micșorând semnificativ numărul de iterații dintre inginerii proiectanți și inginerii de calcul. Pornind de la întreg spațiul alocat acestei piese și ținând cont de datele de intrare: poziția prinderii și poziția motoarelor, se ajunge la o valoare minimă a masei, păstrând valoarea frecvenței primului mod propriu de vibrație peste o anumită valoare prestabilită.

CUVINTE CHEIE: optimizare, satelit, reducerea masei, creșterea rigidității.

1 INTRODUCERE

Într-o epocă în care timpul de dezvoltare și costurile sunt mai importante ca niciodată, CAE (inginerie asistată de calculator) joacă un rol important alături de testarea tradițională. Înainte de testările tradiționale, simulările virtuale pot dezvălui o perspectivă semnificativă asupra funcționării și posibilei defecțiuni a unui produs.

Un domeniu particular care poate fi aplicat pe parcursul întregului proces de dezvoltare este optimizarea structurală. Această metodă matematică vizează un design optimizat al unei structuri dorite, satisfăcând în același timp o serie de constrângeri rezonabile legate de solicitări dar și o funcție obiectiv precum greutatea minimă. Termenul "optimizat" se referă la funcția obiectiv definită care ar putea fi și rigiditatea structurală sau orice altă cantitate mecanică de interes.

În ultimii ani optimizarea structurală a devenit un instrument valoros pentru ingineri și proiectanți. Deși a fost aplicată de decenii, optimizarea în inginerie nu a fost un instrument de proiectare utilizat în mod obișnuit până când sistemele de calcul de înaltă performanță au fost disponibile pe scară largă. Ca urmare a analizelor de optimizare și pe măsură ce industria adoptă soluțiile optimizate, structurile devin mai ușoare, mai rigide și mai ieftine. Acest tip de rezolvare a problemelor și îmbunătățirea produselor este acum o parte crucială a procesului de proiectare în industria de astăzi.

¹ Siguranța și Integritatea Structurilor, Facultatea IMST;

E-mail: radubibire7@yahoo.ro

În această lucrare este prezentată optimizarea unei piese suport pentru motoarele ce intră în componența sistemului de stabilitate și control al atitudinii și pe orbită unui satelit. Astfel, se pleacă de la întreg spațiul alocat pentru această piesă, și trecând prin diferite tipuri de optimizare se va ajunge la o masă minimă, dar cu valoarea primului mod de vibrație peste o anumită valoare stabilită de la început.

2 STADIUL ACTUAL

La începutul secolului trecut Michell a publicat o lucrare privind optimizarea structurală „The Limits of Economy of Material in Frame-structures”, (Michell 1904). Deși acestei zone de cercetare nu i-a fost acordată prea multă atenție până la dezvoltarea computerelor, lucrarea lui Michell a marcat începutul acesteia. Analitic, el a obținut variante optime pentru unele structuri cadru elementare, dar pentru a optimiza o structură reală pentru condiții arbitrare, erau necesare metodele numerice. Optimizarea structurală modernă a trebuit să aștepte încă jumătate de secol, iar evoluția sa este descrisă de (Vanderplaats 1993). În perioada anilor 1940-1960, Schmit combină metoda deplasărilor cu optimizarea numerică neliniară, în ceea ce el a numit apoi „Structural Synthesis”, (Schmit 1960). Cu toate acestea, puteau fi tratate doar structuri foarte simple, cum ar fi grinzi și cadre cu un număr mic de elemente. Dezvoltarea optimizării structurale este în mod evident legată de creșterea rapidă a puterii de calcul și dezvoltarea metodei elementelor finite. Folosind structurile discrete, analiza duce la optimizarea formei și optimizării topologiei structurilor continue.

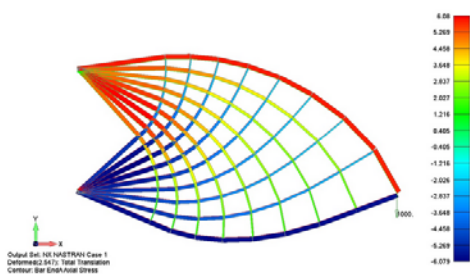


Fig. 1. Solutia problemei lui Michell folosind programul cu elemente finite NX NASTRAN

Optimizarea structurală este astăzi un concept amplu, iar rezultatul unei optimizări structurale variază de obicei enorm datorită diverselor posibile constrângeri și scopuri de optimizare. Mai ales dacă trebuie incluse aspecte economice și estetice, ar trebui să fie clar pentru orice inginer că cea mai rigidă structură cu siguranță nu ar putea fi cea mai ieftină. O introducere în multe dintre conceptele utilizate și aplicații importante de optimizare structurală sunt date în (Pedersen 2003). Scopul optimizării este cel mai adesea să se minimizeze sau să se maximizeze o proprietatea fizică a structurii, de exemplu: minimizarea energiei de deformare (egală cu maximizarea rigidității globale), minimizarea deplasării unui punct ales sau minimizarea tensiunii maxime, proprietăți care sunt toate dependente de sarcină. Alte proprietăți fizice care pot fi utilizate ca obiective de optimizare sunt volumul, greutatea, proprietăți care la prima vedere sunt independente de sarcină. Constrângerile pot limita aceleași proprietăți ca și cele enumerate, în special proprietățile globale, cum ar fi greutatea, dar și energia de deformare e adesea folosită ca și constrângere.

Din punct de vedere al industriei spațiale, la proiectarea piesei de suport pentru antena de pe satelitul Sentinel-1B, a fost folosită optimizarea topologică, și a fost manufacturată cu ajutorul printării 3D (Fig. 2).

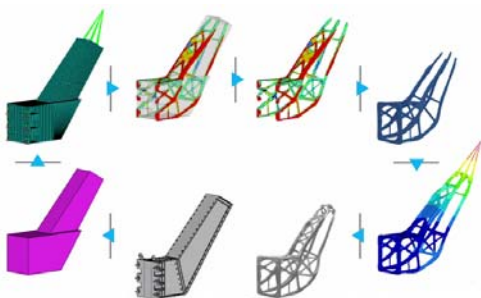


Fig. 2. Pașii urmăriți în proiectarea piesei suport pentru satelitul Sentinel-1B

Din punct de vedere matematic, o problemă de optimizare se referă la determinarea unui set de soluții $x \in R^n$ care minimizează (sau maximizează) o funcție $f: R^n \rightarrow R$. În plus, și constrângerile $g_j(x)$ pot fi scrise în funcție de variabila x . Astfel, problema de optimizare se poate scrie în următoarea formă generală:

$$\begin{aligned} & \text{minimizeaza } f(x), x \in R^n \\ & \text{ținând cont ca } g_j(x) \leq 0, j = 1, \dots, m \end{aligned}$$

3 METODE DE OPTIMIZARE A STRUCTURII

Optimizarea structurală poate fi împărțită în trei clase mari (Fig. 3):

Optimizarea topologică; cu ajutorul acesteia se optimizează distribuția de material într-un anumit spațiu alocat (numit și "design space") cu scopul de a susține încărcarea dată în cel mai bun mod posibil;

Optimizarea de formă; cu ajutorul acesteia se optimizează doar suprafața exterioară a structurii, distribuția de material rămânând aceeași;

Optimizarea de dimensiuni; această optimizare se ocupă cu modificarea grosimilor în structuri de tip shell, sau secțiunea transversală în structuri de tip bară, sau chiar unii parametri de material.

Pe lângă aceste mari clase de optimizare, se poate realiza și o optimizare parametrică, în care variabilele de proiectare sunt stabilite de proiectant sau de inginerul de calcul. Această optimizare presupune realizarea unui model parametric, astfel volumul de muncă putând crește semnificativ pentru structurile mai complexe.

De asemenea mai există și alte tipuri de optimizare, cum ar fi:

Optimizarea topometrică; la fel ca și în cazul optimizării de dimensiuni, aceasta se ocupă cu modificarea grosimilor, dar acest tip de optimizare se aplică doar pentru structurile de tip shell, iar optimizarea grosimii se face pentru fiecare element finit;

Optimizare topografică; și acest tip de optimizare se referă tot la structurile de tip shell, dar prin această optimizare se creează ambutisări care cresc rigiditatea structurii.

În această lucrare au fost abordate doar optimizarea topologică și optimizarea parametrică folosind algoritmul de recoacere simulată.

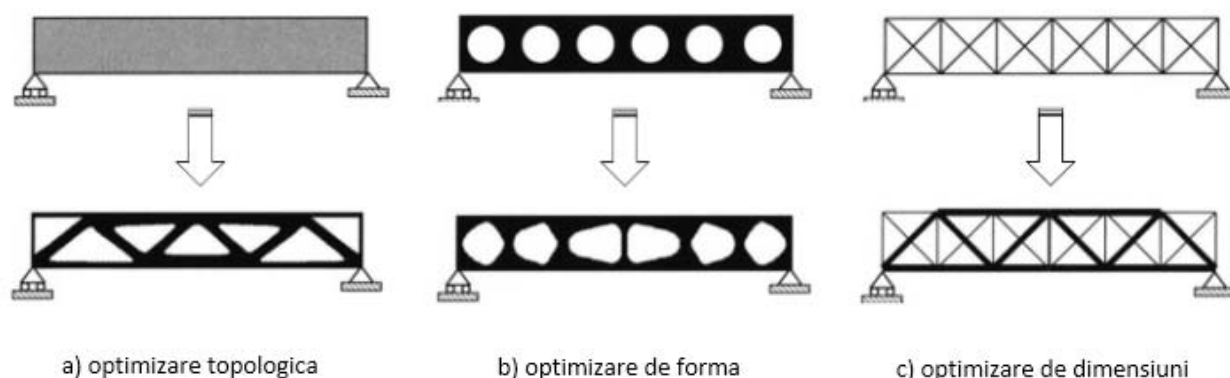


Fig. 3. Cele trei clase de optimizare structurală

3.1 Optimizarea topologică

Scopul optimizării topologice este acela de a găsi distribuția de material cu identificarea de goluri într-un domeniu spațial definit. Din punct de vedere al modelării cu elemente finite, aceasta necesită discretizarea întregului spațiu de design, iar rezultatele acestei optimizări iterative este acela de a spune care elemente trebuie reținute și care pot fi eliminate (Fig. 4).

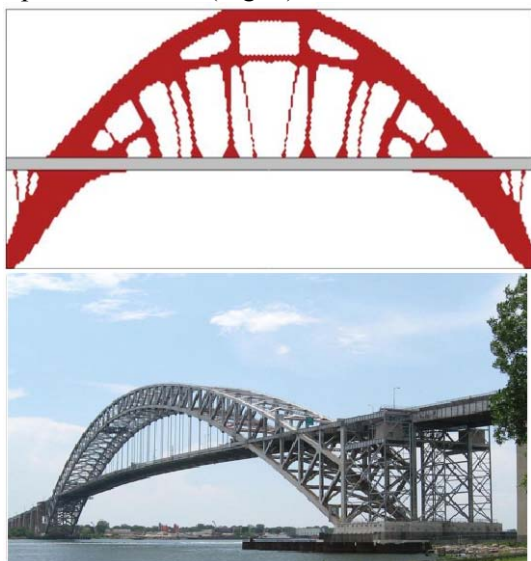


Fig. 4 Optimizarea topologică a unui pod

În proiectarea structurilor, de regulă obiectivul este acela de a maximiza rigiditatea structurii, ceea ce poate fi obținut prin minimizarea energiei globale de deformare elastică. O constrângere tipică este limita superioară a masei, dar constrângeri pot fi chiar și deplasările sau reacțiunile, dacă problema este de acest tip.

Cele mai cunoscute metode de a rezolva din punct de vedere numeric problemele de optimizare topologică sunt:

- Metoda SIMP (Solid Isotropic Material with Penalization);
- Metoda prin omogenizare;
- Metoda ESO (Evolutionary Structural Optimization).

Metoda abordată în optimizarea topologică din această lucrare este metoda SIMP. Metoda SIMP este cea mai folosită metoda pentru rezolvarea problemelor de optimizare topologică și de asemenea este folosită în aproape toate programele comerciale de optimizare topologică.

În această metodă, pentru fiecare element finit se definește o variabilă de proiectare $x \in [0, 1]$, variabilă de proiectare care de obicei este numită raport de densitate. La inițializarea optimizării, tot domeniul va conține elemente cu o distribuție de densitate arbitrar aleasă.

Rigiditatea elementului în modelul SIMP poate fi formulat astfel:

$$E_{ijkl}(x) = x^p * E_{ijkl}^0, \quad p > 1$$

unde E_{ijkl}^0 este proprietatea de material a materialului de baza, de obicei rigiditatea, p este exponentul de penalizare, iar x este variabila de proiectare. Variind factorul p se definește cât de importante sunt elementele cu densitățile între 0 și 1. Din punct de vedere ingineresc este de preferat o soluție în care elementele au densitățile 0 sau 1 și asta se obține mărind factorul de penalizare. În 2009 Rozvany (Fig. 5) spune că e recomandat ca factorul de penalizare să înceapă de la 1, mărindu-l treptat pentru a nu grăbi procesul de optimizare și să se oprească la un minim local.

Masa structurii, care de obicei se folosește ca funcție obiectiv sau constrângere, se poate calcula integrând densitatea elementelor $\rho(x)$ pe întreg domeniul Ω

$$W = \int_{\Omega} \rho(x) d\Omega.$$

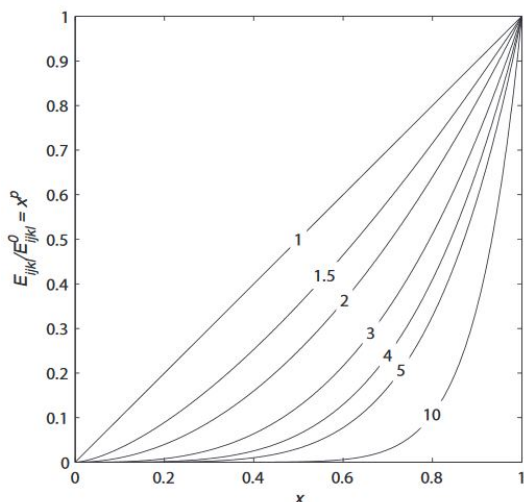


Fig. 5. Descreșterea eficienței pentru elementele cu densități intermediare la penalizări mari

Deși Rozvany precizează că este foarte posibil ca metoda SIMP să găsească o soluție optimă adevărată, Stolpe și Svanberg (Stolpe și Svanberg 2001) arată că nu e întotdeauna așa. Ei au descoperit că oricât de puțin a fost crescut exponențitul de penalizare, această metoda nu ajunge la o soluție optimă globală. De asemenea ei au arătat că oricât de mare era penalizarea, uneori metoda nu reușea să prezinte o soluție cu densitățile de 0 și 1.

3.2 Algoritm de recoacere simulată

Recoacerea simulată este o tehnică probabilistică de aproximare a optimului global al unei funcții date. Pentru problemele în care aproximarea cu optimul global este mai importantă decât găsirea unui optim local precis, algoritmul de recoacere simulată poate fi preferabil alternativelor, precum descreșterea gradientului.

Acest algoritm a fost inițial inspirat din procesul de recoacere din industria prelucrării metalului. Recoacerea implică încălzirea și răcirea unui material pentru a-i schimba proprietățile fizice datorită schimbărilor din structura internă. În recoacerea simulată, este păstrată variabila de temperatură pentru a simula procesul de încălzire. Inițial, această variabilă este setată ca fiind mare, iar apoi, aceasta scade ușor în timp ce algoritmul lucrează. Atât timp cât variabila de temperatură este mare, algoritmul va accepta și soluții care sunt mai proaste decât soluția inițială. Această abilitate a algoritmului îl face să sară peste un optim local (Fig. 6) dacă acesta apare în rularea algoritmului. Cu cât variabila de temperatură scade, scade și șansa ca algoritmul să accepte și soluții mai proaste, acesta concentrându-se pe o

parte a domeniului de căutare în care se speră că se poate găsi o soluție aproape de optimum global.

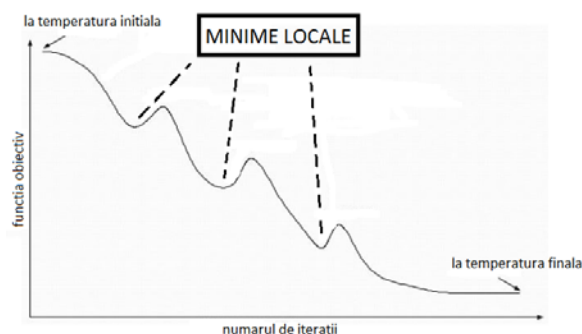


Fig. 6. Convergența unui algoritm de recoacere simulată

4 STUDIU DE CAZ

Sistemul de control al atitudinii și pe orbită asigură două funcții majore. În timpul fazei de rotație stabilizată, acesta furnizează o referință pentru controlul majorității funcțiilor legate de zbor, cum ar fi antenele de orientare, panourile solare sau orientarea motorului principal pentru manevre pe orbită. În timpul fazei de stabilitate pe trei axe, acesta se confruntă cu cele mai severe cerințe de atitudine impuse de sarcina utilă, constrângerile de atitudine fiind unul din factorii limitativi pentru precizia experimentală cerută. În cadrul acestor sarcini generale, sistemul de atitudine și control pe orbită efectuează o varietate de funcții specifice legate de diferitele aspecte ale misiunii.

În acest studiu, control atitudinii și pe orbita se face cu ajutorul unor motoare care asigură impulsuri pentru corecții de viteză. Pentru a mări eficacitatea acestor motoare, acestea trebuie plasate la o distanță cât mai mare de centrul de masă al satelitului.

Din cauza încărcărilor din timpul lansării unei rachete, sarcina utilă trebuie să reziste la frecvențe destul de mari, dar și la încărcări quasi-stactice la fel de mari.

4.1 Datele de intrare și obiectivele

Obiectivul acestui studiu de caz este proiectarea unui brachet pentru patru motoare ale sistemului de control și pe orbita a unui satelit.

Datele de intrare sunt datele care nu pot fi modificate în procesul de proiectare al unei astfel de piese. În acest caz, piesa este prinsă la baza satelitului de o placă sandwich de 10 mm grosime prin opt suruburi M5, pozițiile acestor găuri fiind una dintre datele de intrare (Fig. 7). O altă dată de intrare o reprezintă pozițiile celor patru motoare (Fig. 8), situate la o distanță destul de mare de prindere. Planul de prindere a motoarelor este înclinat la un unghi de 30° fata de planul orizontal.

De asemenea, spațiul alocat pentru această piesă este limitat la un volum de 686 mm x 250 mm x 300 mm (vezi Fig. 9).

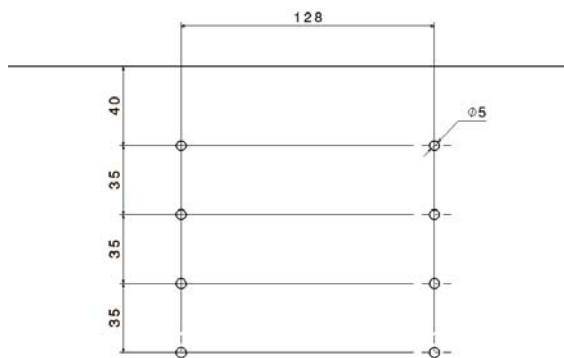


Fig. 7. Pozitia gaurilor de prindere pe satelit

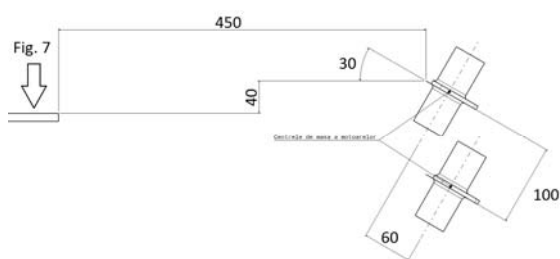


Fig. 8. Pozitia motoarelor

Cerința este proiectarea acestei piese, astfel încât masa ei să fie cât mai mică, dar în același timp frecvența primului mod propriu de vibrație să fie mai mare de 110 Hz, cu tot cu motoarele montate, masa fiecărui motor fiind de 0.3 kg.

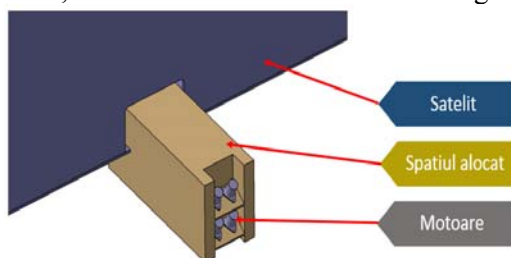


Fig. 9. Prezentarea spatiului alocat piesei de proiectat

Din punct de vedere al materialului folosit, acesta este un aluminiu cu următoarele proprietăți:

$E = 63.7 \text{ GPa}$ – modulul de elasticitate

$\nu = 0.33$ – coeficientul lui Poisson

$\rho = 2800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ – densitatea

Din punctul de vedere al programului folosit pentru optimizare, acesta este HyperShape, program dezvoltat de firma Altair. HyperShape este de fapt un program add-on pentru programul

de proiectare CATIA (dezvoltat de Dassault Systemes), care adaugă la modulul cu elemente finite din CATIA, o bară de instrumente pentru optimizare (Fig. 10), iar solverul pentru probleme de optimizare devine Optistruct. Astfel, CATIA devine preprocesor și postprocesor pentru solverul Optistruct dezvoltat tot de firma Altair.

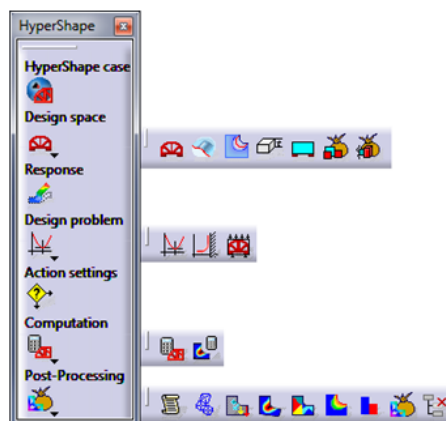


Fig. 10. Bara de instrumente adăugată în CATIA

4.2 Prima iterație

Pentru a identifica o formă posibilă a piesei, se apelează la optimizarea topologică folosind HyperShape. Pentru optimizarea topologică, solverul Optistruct folosește metoda SIMP, prezentată sumar în capitolul anterior.

Pentru început se discretizează (Fig. 11) întregul spațiu alocat cu elemente solide de tip tetraedru liniar (cu 4 noduri). Pentru a micșora durata de calcul a solverului se alege o discretizare cu elemente mai mari (10 mm la exterior și 15 mm la interior). Această etapă de optimizare preliminară fiind folosită doar pentru a identifica forma optimizată a braketului. Motoarele se discretizează cu elemente de tip masa rigidă cu masa de 0.3 kg și se conectează de braket cu elemente rigide.



Fig. 11. Discretizarea spatiului alocat

Pentru a evita ca algoritmul de optimizare să elimine elemente din jurul prinderii motoarelor și a prinderii brachetului pe satelit, plăcile de așezare și elementele din jurul găurilor de prindere se elimină din domeniul de optimizat (asa zisul "design space").

Programul HyperShape are și opțiuni pentru constrângeri de manufacturare, dar pentru o primă iterație aceste constrângeri nu se folosesc. De asemenea, pentru această optimizare, funcția obiectiv este definită de masa structurii iar constrângerea e reprezentată de frecvență primului mod de vibrație, care trebuie să fie peste 170 de Hz (aceasta frecvență fiind mai mare decât frecvență care trebuie obținută în final). Rezultatul analizei se prezintă în Fig. 12.

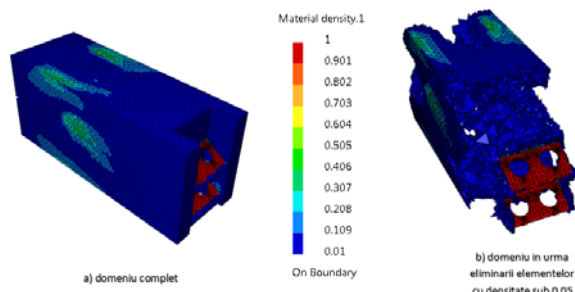


Fig. 12 Rezultate optimizare topologica

Se observă că algoritmul înlătură material de la interior, ceea ce este normal. Dacă am aproxima brachetul cu o bară încastrată cu o masă în capătul liber, primul mod de vibrație pentru aceasta ar avea următoarea formula aproximativă ([9]):

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{3EI}{M + 0.23m}}$$

Deci, pentru a crește frecvență proprie, trebuie crescut momentul de inerție al secțiunii barei. Dar obiectivul optimizării este acela de a minimiza masa, deci pentru asta se măresc dimensiunile exterioare ale secțiunii transversale și se elimină materialul din interior.

4.3 A doua iterație

Plecând de la rezultatele optimizării topologice din prima iterație, se proiectează un model parametric pentru a rula o optimizare parametrică, în care parametrii de proiectare sunt dimensiunile exterioare ale brachetului.

Chiar dacă în prima iterație a fost scos material din interior, în modelul parametric au fost introduse și rigidizări pe interior (un rigidizor în lungul brachetului, pe mijloc, și alte 6 rigidizări transversale situate la egala distanță, așa cum se prezintă în Fig. 13). Dacă aceste rigidizări pot lipsi, se decide într-o iterație ulterioară.

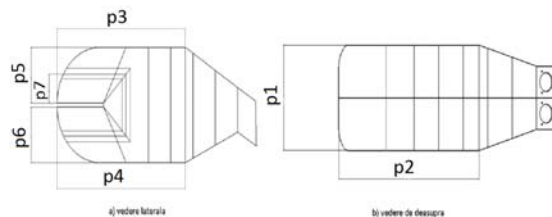


Fig. 13. Parametri folosiți în optimizarea parametrică

Pentru a realiza o optimizare parametrică, mai întâi se rulează analiza modală pentru a obține informații legate de masă și prima frecvență proprie. De aceasta dată, brachetul este modelat cu elemente de tip shell liniar, cu patru sau trei noduri, pentru a reduce efortul de calcul (Fig. 14). Grosimea elementelor de tip shell este de 4 mm (plăcile de așezare a motoarelor), 5 mm (învelișul exterior și rigidizările interioare) și 8 mm (zona din jurul găurilor de prindere, zona pe care se așază șaibă șuruburilor de prindere). Datorită strângerii șuruburilor, materialul de sub cele două șaibe se poate aproxima că nu se deplasează, astfel se blochează translațiile pe suprafețele de sub șaibe.

În urma analizei modale a acestui model, a rezultat frecvență a primului mod de vibrație de 158 Hz (mod de încovoiere în planul vertical), în timp ce frecvență celui de-al doilea mod de vibrație a rezultat 264 Hz (mod de încovoiere în plan orizontal). De asemenea, masa structurii fără motoare a fost obținută la 17.4 kg.



Fig. 14. Discretizarea brachetului cu elemente de tip shell a în CATIA

Pentru a rula o optimizare parametrică, se deschide modulul de optimizare parametrică, se stabilesc parametrii de optimizare (din Fig. 13), se stabilește funcția obiectiv (în cazul de față, minimizarea masei) și se stabilesc constrângerile: frecvență primului mod de vibrație mai mare de 199 Hz. Această valoare a constrângerii a fost

folosită pentru a mări frecvență ca mai apoi să se poată micșora masa și mai mult, chiar dacă frecvență scade.

Algoritmul folosit pentru optimizare este algoritmul de recoacere simulată, prezentat în capitolul anterior, algoritmul ce urmărește aproximarea cu un minim global.

În urma optimizării parametrice și a rotunjirii parametrilor, masa structurii a devenit 10.6 kg, realizându-se o reducere de 39% a masei, iar frecvența primului mod de vibrație devenind 199 Hz (încovoiere în plan vertical), frecvența celui de-al doilea mod devenind 274 Hz (încovoiere în plan orizontal). În imaginile de mai jos, se pot observa variațiile frecvenței și ale masei în procesul de optimizare parametrică (Fig. 15 și Fig. 16).

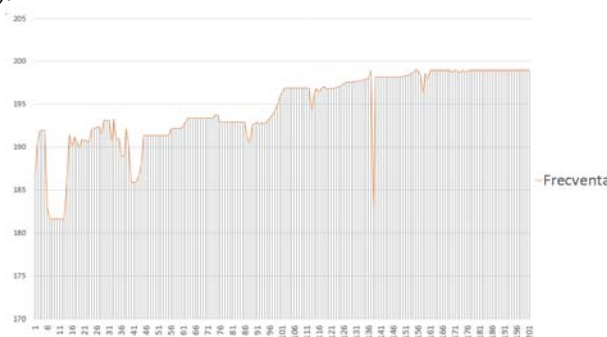


Fig. 15. Variația frecvenței în procesul de optimizare

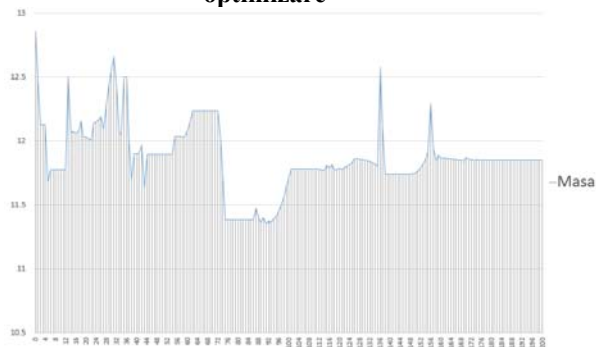


Fig. 16. Variația masei în procesul de optimizare

Din cauza masei mari a braketului, a mai fost realizată o optimizare de dimensiuni (grosimi de elemente). Astfel, grosimea învelișului și a rigidizărilor au fost redusă de la 5 mm la 1.6 mm (grosime minim recomandată în cazul în care braketul este manufacturat prin printare 3D). În urma acestor modificări, masa braketului scade considerabil, de la 10.6 kg la 4 kg (reducere de 62 %) în timp ce frecvența scade și ea, dar cu mult mai puțin, ajungând la 172 Hz.



Fig. 17. Modelul după optimizarea parametrică

4.4 A treia iterație

Pentru această iterație, se efectuează din nou o optimizare topologică, de această dată cu elemente de tip shell. Funcția obiectiv devine în acest moment maximizarea frecvenței primului mod de vibrație, în timp ce constrângerea este ca masa să fie mai mică decât 2.6 kg.

Fată de prima iterație, la această optimizare au fost folosite și constrângeri de manufacturare, și anume distanța minimă dintre două goluri a fost setată să fie 35 mm. De asemenea, la prima iterație nu a fost setat exponentul de penalizare, acesta rămânând 1, în schimb la această optimizare, penalizarea a fost de 10.

Ca și la prima optimizare, din domeniul de optimizare nu fac parte suprafețele de așezare a motoarelor, dar nici suprafețele de la prindere care sunt în contact cu șabilele.

Rezultatele în urma acestei optimizări se pot vedea mai jos (Fig. 18)

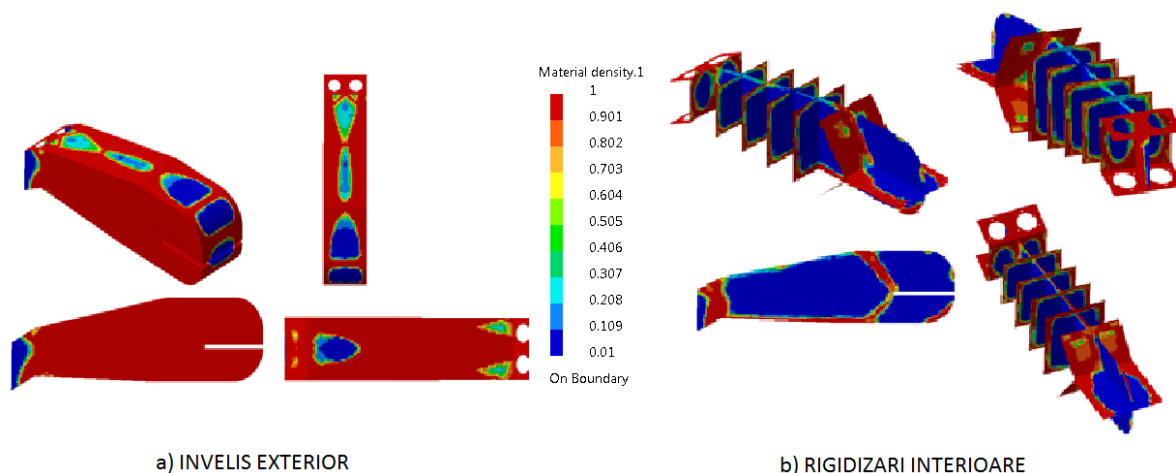


Fig. 18 Rezultatele optimizării topologice pe elemente de tip shell

4.5 Reproiectarea și validarea rezultatelor

După cum se observă în Fig. 18, în modelul optimizat este eliminat material mai mult din interiorul braketului, rigidizările transversale și longitudinale aproape dispărând.

În urma procesului de reproiectare, masa braketului a ajuns la 2.6 kg, valoare egală cu constrângerea dată în optimizarea topologică anterioară.

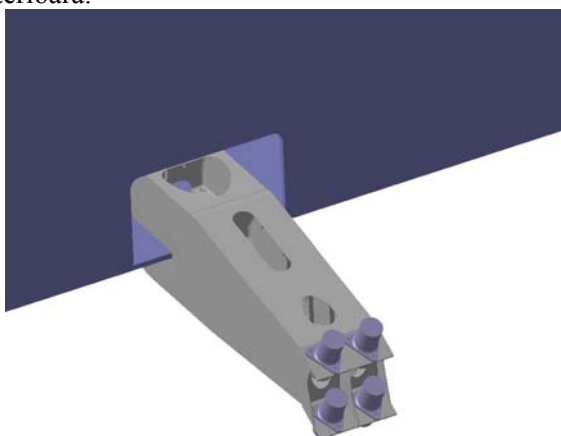


Fig. 19. Brachetul reproiectat montat pe satelit cu motoare

După procesul de reproiectare, brachetul trebuie remodelat (Fig. 19) și apoi discretizat cu elemente de tip shell (Fig. 20). A fost rulată o analiză modală pentru a obține exact rezultatele din urma optimizării topologice.



Fig. 20. Discretizarea cu elemente finite a braketului optimizat

În urma analizei modale, frecvența primului mod de vibrație ajunge la 160 Hz, frecvență ce corespunde cerințelor date inițial.

Tabel 1. Caracteristicile mecanice ale modelelor analizate

	Mode lul inițial	Înainte de optimizarea parametrică	După optimizarea parametrică	Optimizare a dimensiuni	Optimizarea topologica cu elemente shell
Masa totală [kg]	133	17.4	10.6	4	2.6
Frecvența fundamentală [Hz]	204	158	199	172	160

5 CONCLUZII

Plecând de la un spațiu alocat de masă totală 133 kg, cu ajutorul optimizării în mai multe iterații se ajunge la o masă mult mai mică, de doar 2.6 kg, frecvență fundamentală rămânând în cerințele impuse inițial.

Din punct de vedere al manufacturabilității, se observă ca forma brachetului nu permite manufacturarea acestuia prin mijloacele clasice decât dacă ar fi format din mai multe componente. Dar pe lângă surplusul de masă adus datorita elementelor de asamblare, totodată acestea reduc rigiditatea structurii, singura metodă de manufacturabilitate posibilă fiind printarea 3D.

Pentru a crește și mai mult rigiditatea, sau pentru a scade și mai mult masa brachetului, se pot realiza în continuare optimizări topologice și/sau parametrice. Se poate apela chiar și la optimizarea de formă pentru a înlătura concentratorii de tensiuni și a corecta local rigiditatea, sau se poate realiza o optimizare topografică, pentru a crea ambutisări care ar duce la creșterea rigidității globale. De asemenea, se poate apela la o optimizare topometrică pentru a vedea dacă local trebuie modificate grosimile învelișului.

Cert este faptul ca optimizarea structurală micșorează cu mult numărul de iterații între inginerii proiectanți și inginerii de calcul, dar aceasta nu înseamnă ca problema se rezolvă printr-o singură optimizare, cel mai bine se impune o succesiune de mai multe optimizări, în această lucrare numite iterații.

6 MULȚUMIRI

Aș dori să mulțumesc în primul rând domnului profesor Ștefan Sorohan pentru toate sfaturile date și pentru ajutorul dat la redactarea acestui articol.

În al doilea rând aș vrea să mulțumesc domnului Vasile Turcan, fostul șef al compartimentului din care fac parte în cadrul INCAS București.

7 BIBLIOGRAFIE

- [1]. U. Kirsch. "Structural optimization: fundamentals and applications". Springer-Verlag, 1993.
- [2]. P. Christensen and A. Klarbring. "An Introduction to Structural Optimization". Springer, 2008.
- [3]. M. Bendsøe and O. Sigmund. "Topology Optimization: Theory, Methods and Applications". Springer, 2003.

- [4]. Michell A. G. M. (1904): "The limits of economy of material in frame-structures". Philosophical Magazine, Vol. 8, 589-597.
- [5]. Rozvany G. I. N. (2009): "A critical review of established methods of structural topology optimization". Structural and Multidisciplinary Optimization, Vol. 37, 217-237.
- [6]. Stolpe M. and Svanberg K. (2001): "On the trajectories of penalization methods for topology optimization". Structural and Multidisciplinary Optimization, Vol. 21, 128-139.
- [7]. Vanderplaats G. N. (1993): "Thirty years of modern structural optimization". Advances in engineering software, Vol. 16, 81-88.
- [8]. OptiStruct –User's Manual-Altair Engineering
- [9]. http://www.roytech.co.uk/Useful_Tables/Vibrations/Natural_Vibrations.html (accesat la data de 02.05.2017)
- [10]. Pedersen P. (2003). „Optimal Designs; Structures and Materials - Problems and Tools”. Lyngby, Denmark
- [11]. Schmit L.A. 1960. „Structural design by systematic synthesis”. Second ASCE Conference on Electronic Computation. Pittsburgh, USA

STUDIUL ANALITIC, NUMERIC ȘI EXPERIMENTAL AL ÎNCOVOIERII UNOR EȘANTIOANE DE PANOU SANDWICH CU FEȚE DIN ALUMINIU ȘI MIEZ DIN POLISTIREN EXTRUDAT

SCARLAT Bogdana¹, DINU Vlad¹

Conducători științifici: Prof. dr.ing. Marin Sandu, Prof.dr.ing. Adriana SANDU

REZUMAT: Prezenta lucrare are ca obiectiv validarea metodologiei de predimensionare a panourilor sandwich ușoare, pe baza determinărilor experimentale și a simulării numerice cu elemente finite.

Testele de încovoiere în trei puncte au fost efectuate pe o mașină universală de încercat cu sistem de măsurare cu achiziție de date în calculator. Au fost testate eșantioane de tip bara sandwich cu fețe din aluminiu și miez din polistiren extrudat, cu diferite viteze de încărcare.

Buna concordanță a rezultatelor obținute recomandă relațiile de predimensionare pentru a fi utilizate în proiectarea structurilor sandwich cu miez din spumă polimerică.

CUVINTE CHEIE: sandwich, test încovoiere, simulare numerică

1 INTRODUCERE

Cerințele privind proiectarea unor structuri ușoare și rezistente au condus la utilizarea materialelor compozite, în primul rând în domeniul aviativ. O categorie importantă de substructuri compozite ușoare este cea a panourilor sandwich. Un panou sandwich se obține prin fixarea unor plăci rezistente (fețele) pe un miez din material ușor, mai puțin rezistent. Frecvent miezul este realizat din spume polimerice (figura 1). Panourile sandwich au rigiditate mare la încovoiere și se pot asambla ușor prin lipire cu adezivi structurali sau prin formă.

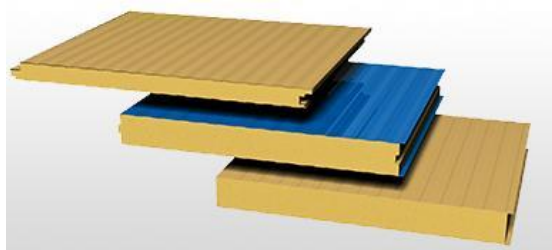


Fig. 1. Panouri sandwich pentru construcții

Panourile sandwich se utilizează în numeroase domenii ingineresti: construcții (pereți și acoperișuri), containere termoizolante, structuri de avioane, vagoane, vehicule, poduri, mobilier etc.

În lucrare se aplică metoda standard de predimensionare la încovoiere cilindrică pentru evaluarea rezistenței și rigidității unui eșantion de panou cu fețe din aluminiu și miez din polistiren extrudat.

¹ Specializarea Ingineria Transporturilor, Facultatea de Transporturi;

E-mail: bogdana.scarlat@gmail.com;

Rezultatele unei analize cu elemente finite sunt comparate cu determinări experimentale.

2 CALCUL ANALITIC LA ÎNCOVOIERE CILINDRICĂ PE BAZA MODELULUI DE BARĂ

Acest calcul se bazează pe teoria de bară compozită cu fețe rezistente și miez de rigiditate relativ redusă. Cea mai utilizată schemă de încărcare este prezentată în figura 2. Testul realizat conform acestei scheme este cunoscut sub titulatura de „încovoiere în trei puncte”. Se impune condiția ca distanța între rezeme l să fie mai mare decât de trei ori lățimea b a barei ($l > 3b$). Sarcina totală aplicată este $F = q \cdot b$.

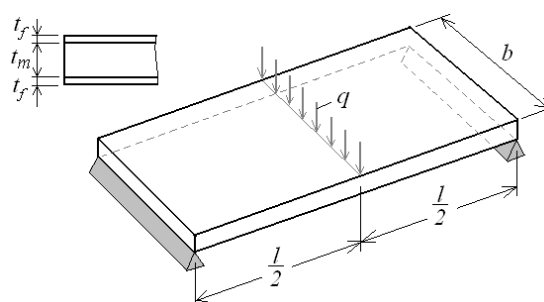


Fig. 2. Schema de încărcare și rezemare

Se propune un set inițial de parametri ai barei compozite și se evaluează comportamentul acesteia cu următoarele relații (Allen H.G., 1969):

- Rigiditatea de încovoiere a barei

$$D = \frac{1}{2} \cdot E_f \cdot t_f \cdot h^2 \cdot b, \quad (1)$$

unde E_f este modulul de elasticitate longitudinal al materialului fețelor, t_f - grosimea feței, t_m - grosimea miezului, $h = t_f + t_m$ - distanța între suprafețele mediane ale fețelor.

- Rigiditatea de forfecare a miezului

$$S = b \cdot h \cdot G_m, \quad (2)$$

în care G_m este modulul de forfecare al miezului din polistiren.

- Săgeata maximă a barei compozite

$$\delta_{\max} = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot D} + \frac{F \cdot l}{4 \cdot S}. \quad (3)$$

Primul termen este datorat încovoierii fețelor iar cel de-al doilea, forfecării miezului.

- Tensiunea maximă de încovoiere în fața barei compozite

$$\sigma_f = \frac{F \cdot l}{4 \cdot h \cdot t_f \cdot b}. \quad (4)$$

- Tensiunea de forfecare a miezului

$$\tau_m = \frac{F}{2 \cdot h \cdot b}. \quad (5)$$

Se impune condiția ca tensiunile calculate cu formulele (4) și (5) să nu depășească valorile admisibile corespunzătoare.

Au fost realizate modele experimentale și au fost efectuate analize cu elemente finite pentru cazul unor bare sandwich cu fețe din aliaj de aluminiu (2024-T3) și miez din polistiren extrudat cu densitate mică (30 kg/m^3). Au fost efectuate teste și au fost determinate următoarele valori ale parametrilor de material: modulele de elasticitate longitudinale $E_f = 70000 \text{ MPa}$, $E_m = 12,3 \text{ MPa}$, coeficienții de contracție transversală $\nu_f = 0,33$, $\nu_m = 0,2$, limita de curgere pentru duraluminiu $\sigma_{c,f} = 240 \text{ MPa}$, rezistența la rupere pentru polistirenul extrudat $\sigma_{r,m} = 0,42 \text{ MPa}$ (valoare medie). Pentru determinarea proprietăților miezului, cinci eșantioane de polistiren au fost încercate la încovoiere în trei puncte (fig. 3).

Testele au fost făcute pe o mașină universală de încercat Loyd Instruments LRX plus cu sarcina nominală de 5 kN.

Au fost testate batoane de polistiren cu secțiune dreptunghiulară $b \times h$ ($b = 50 \text{ mm}$, $h = 19,5 \text{ mm}$) și $l = 360 \text{ mm}$. Pentru cinci epruvete încercate a fost înregistrată variația săgeții în funcție de forța aplicată (un exemplu, în fig. 4).

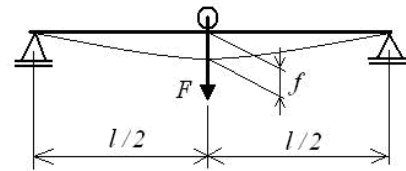


Fig. 3. Schema de testare a polistirenului

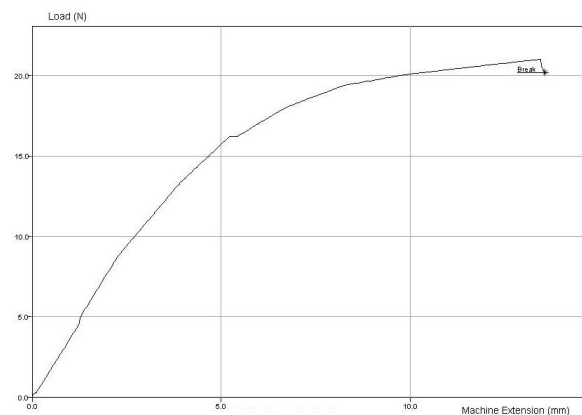


Fig. 4. Dependența forță-săgeată la testarea la încovoiere a unui eșantion de polistiren

Pe baza coordonatelor unui punct din zona liniară a înregistrării se poate deduce o valoare a modulului de elasticitate la încovoiere din relația

$$E_m = \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot I \cdot f}, \quad \left(I = \frac{b \cdot h^3}{12} \right) \quad (6)$$

Admițând că în domeniul solicitărilor elastice miezul se comportă ca un material omogen și izotrop s-a calculat modulul de elasticitate transversal

$$G_m = \frac{E_m}{2(1 + \nu_m)} = 5,125 \text{ MPa}. \quad (7)$$

S-a considerat o sarcină $F = 100 \text{ N}$ și următoarele valori pentru parametrii geometrici: $l = 180 \text{ mm}$, $b = 50 \text{ mm}$, $t_f = 1 \text{ mm}$, $t_m = 19,5 \text{ mm}$.

Lipirea fețelor pe miez s-a făcut cu adeziv epoxidic universal AW 106 / HV 953 U, cu parametrii elastici $E_a = 1350 \text{ MPa}$, $\nu_a = 0,45$ și

rezistențele la tracțiune și forfecare $\sigma_{r,a} = 33$ MPa, $\tau_{r,a} = 23$ MPa.

Cu aceste date s-au calculat rigiditățile

$$D = \frac{1}{2} E_f t_f h^2 b = 7,354 \cdot 10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}^2,$$

$$S = b \cdot h \cdot G_m = 5253 \text{ N},$$

și săgeata maximă

$$\delta_{\max} = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot D} + \frac{F \cdot l}{4 \cdot S} = 0,165 + 0,691 = 0,856 \text{ mm}.$$

Pentru tensiunile maxime în fețe și în miez au fost obținute valorile $\sigma_f = 4,39$ MPa și $\tau_m = 0,048$ MPa.

3 REZULTATE EXPERIMENTALE

Au fost încercate la încovoiere în trei puncte câte două eșantioane de panou sandwich la următoarele viteze de încărcare: 2, 10, 50 și 250 mm/min, conform schemei de încărcare din figura 3. Au fost obținute înregistrări de tipul celei din figura 5.

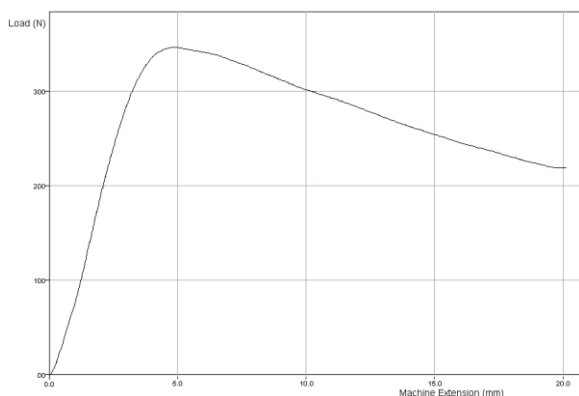


Fig. 5. Dependenta forță-deplasare (viteza de încărcare de 2 mm/min)

Pe zona solicitărilor elastice au fost determinate variațiile săgeții Δf asociate variației de forță $\Delta F = 100$ N, care sunt prezentate în tabelul 1.

La solicitarea cvasistatică (viteza de încărcare de 2 mm/min) s-a obținut o variație $\Delta f = 0,87$ mm, foarte apropiată de săgeata calculată analitic, de 0,856 mm. Se observă o creștere a forței maxime înregistrate cu mărirea vitezei de încărcare.

Tabelul 1. Rezultatele testelor

Epru- veta	Viteza de încărcare [mm/min]	Forța maximă înregistrată [N]	Δf [mm] la $\Delta F = 100$ N
1	2	347	0,87
2	10	369	0,78
3	50	388	0,79
4	250	395	0,81

4 REZULTATELE SIMULĂRII NUMERICE CU ELEMENTE FINITE

A fost efectuată o analiză liniar elastică în stare plană de deformații, pe baza unei modelări cu elemente finite patrulate (figura 6).

Adezivul utilizat la asamblarea speciemenelor nu a fost evidențiat în modelul cu elemente finite pentru că este mult mai rezistent decât polistirenul extrudat din care este făcut miezul (care va ceda primul la atingerea stării limită).

Pentru diminuarea efectelor locale, sarcina a fost considerată repartizată pe o mică arie din centrul feței superioare.

În figura 7 este prezentată deformată barei sandwich sub sarcina de 100 N.

Dintre cei doi termeni ce apar în calculul analitic al săgeții maxime, are o contribuție majoră cel datorat deformațiilor de forfecare induse în miez, ca urmare a rigidității scăzute a acestuia. Analiza cu elemente finite (AEF) a fost efectuată în regim elastic, cu deplasări mici. Calculul în deplasări mari (geometric neliniară) nu este absolut necesar deoarece analiza elastică a dat pentru săgeata maximă un rezultat (0,746 mm) destul de apropiat de cel experimental.

AEF a dat pentru tensiunile maxime în fețe și în miez valorile $\sigma_f = 15$ MPa și $\tau_m = 0,048$ MPa. Față de rezultatul de la predimensionare, s-a obținut o valoare mult mai mare pentru σ_f dar acest fapt se datorează unor efecte locale (fig. 8) pe care calculul analitic nu le evidențiază. Totuși, valorile τ_m coincid (fig 9).

Acest rezultat și evaluarea destul de corectă (în concordanță cu experimentul) a rigidității structurii, recomandă metodologia de predimensionare pentru utilizare în calculul de proiectare preliminar. Studiul analitic-experimental-numeric arată că cele trei metode de evaluare pot oferi date complementare utile în predicția comportamentului panourilor sandwich în exploatare.

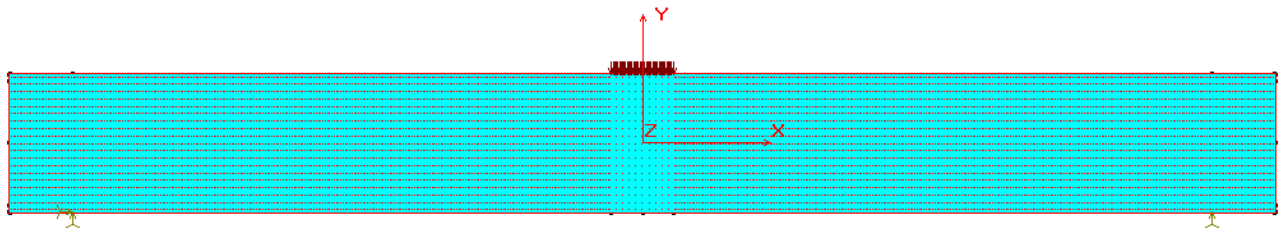


Figura 6. Modelul utilizat în calcul numeric

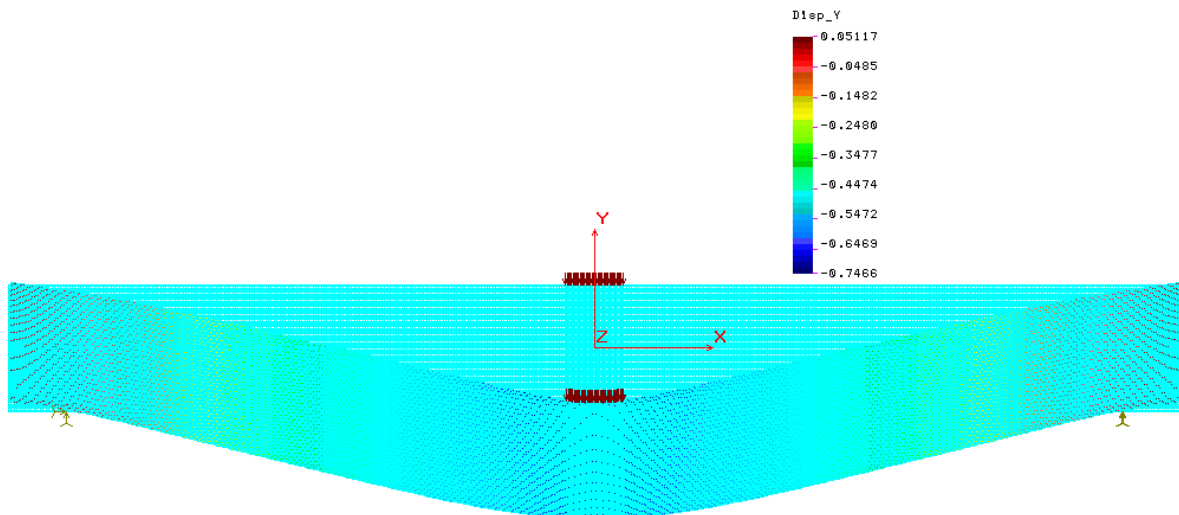


Figura 7. Deformata barei sandwich

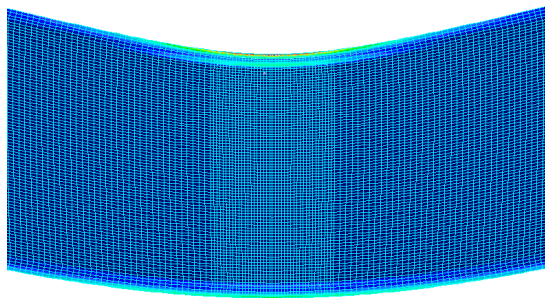


Fig. 8. Tesiuni echivalente în zona de încărcare

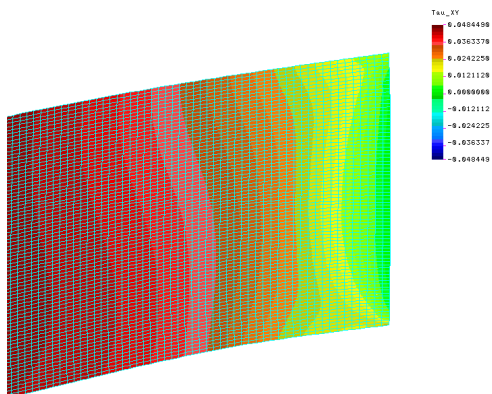


Fig. 9. Tensiuni de forfecare în miez

5 CONCLUZII

În activitatea proiectanților de structuri de rezistență apare frecvent situația când nu se pot satisface la nivelul maxim toate cerințele de performanță tehnică.

Plăcile sandwich întrunesc trei cerințe severe: masa specifică redusă, rezistență ridicată, cost rezonabil.

În lucrare a fost validată o metodologie simplă de predimensionare pe baza unor teste de încovoiere și a unei analize cu elemente finite. Relațiile de calcul pot fi utilizate și pentru optimizare structurală, de exemplu, pentru stabilirea grosimilor adecvate pentru fețe și miez dacă sunt cunoscute caracteristicile materialelor și sarcina impusă.

BIBLIOGRAFIE

- [1]. Allen H.G. (1969), *Analysis and design of structural sandwich panels*, Pergamon Press, Oxford.
- [2]. ASTM C 393-00, Standard test method for flexural properties of sandwich constructions.

ALGORITMI MATEMATICI ÎN FLUXURI LOGISTICE

BĂDIȚA Livia

Conducător științific: Conf.dr.ing. **George ENCIU**; As.dr.ing. **Adrian POPESCU**

După cum este cunoscut până la momentul actual, multe probleme de decizie sunt formulate ca algoritmi matematici care necesită maximizarea sau minimizarea unei funcții obiectiv raportându-se la anumite restricții. Prin elaborarea unor astfel de algoritmi matematici specializați, care să folosească o anumită structură, se pot obține rezultate importante în direcția eficientizării calculului și folosirea optimă a rezultatelor. Unul dintre domeniile de aplicabilitate a unor astfel de algoritmi este logistica industrială, mai exact sunt utilizați pentru optimizarea fluxurilor logistice. În prezenta lucrare se încearcă abordarea matematică în contextul optimizării fluxurilor logistice și sintetizarea legăturilor existente. Vom discuta unul dintre cei mai importanți algoritmi de optimizare a capacității de producție și a resurselor de diferite tipuri. În funcție de scopurile urmărite pot fi definite mai multe tipuri de algoritmi matematici cu aplicabilitate în domeniul logistic, însă vom aborda o problemă de tip transport generalizată la o clasă de probleme de alocare a resurselor.

1 INTRODUCERE

Modelul problemei de transport a apărut din considerente economice în diverse sectoare de activitate. Optimizarea costurilor de transport și de producție a reperelor/produselor de la furnizor/producători către punctele de depozitare sau beneficiari/consumatori, fiind esențială pentru toate companiile din diferite domenii de activitate.

În contextul problemelor de optimizare, un loc special îl ocupă problemele de tip transport. Modelul matematic care stă la baza rezolvării acestei probleme oferă un algoritm care este în măsură să determine soluția optimă în această problematică.

În cadrul modelului matematic, pot apărea situații tratate ca model pentru problema de transport echilibrată, cât și ca model pentru problema de transport neechilibrată, atât pentru minimizarea funcției obiectiv, cât și pentru maximizarea acesteia. Soluția acestei probleme este optimă dacă asigură condițiile și cerințele beneficiarilor, iar cheltuielile sunt minime.

Condiția principală impusă ca modelul pentru problema de transport să fie echilibrată este ca bunurile disponibile să aibă cantitățile cel puțin egale cu cantitățile bunurilor necesare.

Problema de transport are o abordare extrem de generalizată, dar aceasta poate fi mai apoi concretizată într-un număr mare de cazuri, specificând dacă există sau nu puncte intermediare sau obstacole între surse și destinații, modul în care se face transportul și scopurile urmărite.

Problema standard de transport este întâlnită sub denumirea de Problema Hitchcock – Koopmans, deoarece a fost enunțată de F. L. Hitchcock în 1941 și completată de Koopmans în 1947. (Leon S. Lasdon, 1975)

2 STADIUL ACTUAL

În cadrul lucrării este prezentată procedura de bază, câteva modele ale ei, precum și interpretarea într-o formă logică și cât mai simplă a problemei standard de transport.

Deoarece acest algoritm utilizează valori întregi ale parametrilor, pentru a determina o soluție optimă întregă, ea are în esență un caracter combinatorial.

Totuși în practică pot apărea chiar și probleme mai mari, a căror soluționare poate deveni dificilă fie datorită limitărilor de resurse, fie datorită limitărilor de timp. Pentru concretizarea legăturilor dintre algoritmi matematici și fluxurile logistice, în cadrul lucrării sunt prezentate o serie de exemple generalizate care pot fi întâlnite în diferite sectoare de activitate ale logisticii.

¹ Specializarea Logistică Industrială, Facultatea Ingineria și Managementul Sistemelor Tehnologice;

E-mail: livia.badita92@gmail.com;

2.1 Problema de transport Hitchcock-Koopmans

2.1.1 Optimizarea liniară

Se presupune alocarea eficientă a resurselor astfel încât profitul total să fie maxim. (Niculescu, C. 2012)

Fiind date următoarele notații:

- m - depozite;
- n - beneficiari;
- $a_i, i = \overline{1, m}$ - cantitatea disponibilă din resursa i ;
- $a_{ij}, j = \overline{1, n}$ - cantitatea necesară din resursa i pentru a produce o unitate de produs j ;
- $p_j, j = \overline{1, n}$ - profitul obținut dintr-o unitate de produs dat j ;

Se cere să se organizeze producția astfel încât profitul total să fie maxim.

$x_j, i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$ fiind cantitatea de produs j ;

$$\sup \sum_{j=1}^n b_j x_j$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq a_i, i = \overline{1, m} \text{ se numesc restricții} \\ x_j \geq 0, j = \overline{1, n} \text{ se numesc condiții de semn} \end{array} \right. [3]$$

2.1.2 Problema standard de transport

Se dau m origini/ centre de producție, fiecare detinând stoc a_i din același bun, și n destinații/consumatori cu cerințe b_j .

Să se găsească un plan de expediții de cost minim care să satisfacă toate cerințele. (Leon S. Lasdon, 1975)

- m - depozite;
- n - beneficiari;
- $a_i, i = \overline{1, m}$ - cantitatea de marfa disponibilă în depozitul i ;
- $b_j, j = \overline{1, n}$ - cantitatea de marfa cerută de consumatorul j ;

- $c_{ij}, i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$ - costul transportului unei unități de marfă de la depozitul i , la consumatorul j ;
 - $x_{ij}, i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$ - cantitatea de marfă expediată de la depozitul i , la consumatorul j
1. Se cunosc cantitățile de marfă solicitate de fiecare consumator și cele de care dispune fiecare depozit; [2]
 2. Totalul cererilor este egal cu totalul mărfii disponibile;
 3. Marfa se expediază direct consumatorului;
 4. Costul transportului este proporțional cu cantitatea de marfă expediată; [2]

Soluția acestei probleme este optimă dacă asigură aprovizionarea beneficiarilor cu produsele dorite, iar cheltuielile de transport sunt minime. [2]

Cu ajutorul precizărilor și notațiilor de mai sus, modelul problemei standard de transport este:

$$\min \left[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \right]$$

Modelul problemei de transport standard poate fi organizat în tabele de tipul:

Tabelul 1.

$D_i \setminus C_j$	C_1	C_2	...	C_n	Disponibil
D_1	c_{11}	c_{12}	...	c_{1n}	a_1
D_2	c_{21}	c_{22}	...	c_{2n}	a_2
...					...
D_m	c_{m1}	c_{m2}	...	c_{mn}	a_m
Necesar	b_1	b_2	...	b_n	

În raport cu

$$(1.1) \quad \sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i (\forall), i = \overline{1, m}$$

$$(1.2) \quad \sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j (\forall), j = \overline{1, n}$$

$$(1.3) \quad x_{ij} \geq 0, (\forall), i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n} [2]$$

Problema are soluție admisibilă dacă și numai dacă:

$$a_i \geq 0, (\forall), \quad i = \overline{1, m}$$

$$b_j \geq 0, (\forall), \quad j = \overline{1, n}$$

Mulțimea tuturor soluțiilor admisibile se numește domeniu admisibil.[3]

Cu condiția, cantitatea de bunuri disponibile trebuie să fie egală cu cantitatea de bunuri necesare, astfel încat problema de transport să fie echilibrată, (Barbaciou I., 2009)

$$(1.4) \quad \sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$$

Dacă problema nu este echilibrată, aceasta se poate echilibra prin introducerea unor centre fictive care să conducă la egalarea cantității bunurilor disponibile cu cantitățile celor necesare, și totodată considerarea costurilor unitare de transport de la sau către acestea ca fiind nule. (Leon S. Lasdon, 1975)

Restricțiile problemei de transport (1.1) și (1.2) pot fi scrise sub formă matriceală astfel:

$$M * x = D,$$

unde M este o matrice de dimensiuni $(m + n) * (m * n)$ ale cărei elemente sunt 0 sau 1, x un vector cu $m * n$ componente $x_{ij}; i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$, și D un vector cu $m + n$ componente $a_i, (\forall), i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$ (Barbaciou I., 2009)

Matricea M are următoarea structură:

$$M = \begin{pmatrix} \begin{matrix} 1 & 1 & \dots & 1 & 1 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 1 & \dots & 1 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & 1 & 1 & \dots & 1 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & \dots & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & \dots & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 & \dots & 1 & \dots & 0 & 0 & \dots & 1 \end{matrix} \end{pmatrix}$$

Condiția (1.4) face ca rangul matricei M să fie $m + n - 1$. (Barbaciou I., 2009)

Folosind tabele de forma celui prezentat mai jos putem rezolva problemele standard de transport:

Tabelul 2.

$x_{11}c_{11}$	$x_{12}c_{12}$		$x_{1n}c_{1n}$	a_{1u_1}
$x_{21}c_{21}$	$x_{22}c_{22}$		$x_{2n}c_{2n}$	a_{2u_2}
$x_{m1}c_{m1}$	$x_{m2}c_{m2}$		$x_{mn}c_{mn}$	a_{1u_m}
b_{1v_1}	b_{2v_2}		b_{nv_n}	

Numerele $u_i; i = \overline{1, m}$ și $v_j; j = \overline{1, n}$ sunt multiplicatori simplex sau variabile din duala problemei:

$$\max \left\{ \begin{matrix} u_1 + v_1 \leq c_{ij} \\ \sum_{i=1}^m a_i u_i + \sum_{j=1}^n b_j v_j \end{matrix} \right\}$$

Numim soluție nedegenerată de bază a problemei de transport un vector

$$x^* (x_{ij}^*), \quad i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n};$$

Cu $m + n - 1$ componente nenule.

O soluție de bază este degenerată dacă vectorul are mai puțin de $m + n - 1$ componente nenule.

Algoritmul de determinare a soluției optime presupune parcurgerea unor etape:

2.1.3 Determinare a unei soluții admisibile de bază

Pentru determinarea unei soluții de bază se utilizează tabelul standard aplicat condițiilor (1.1) și (1.2).

Se alege ca variabilă de bază un x_{pq} oarecare și i se atribuie valoarea maximă compatibilă cu ecuațiile, deci:

$$x_{pq} = \min\{a_p, b_q\}$$

- $a_p < b_q$, deci $x_{pq} = a_p$, toate celelalte variabile din linia p vor lua valoarea zero;
- $a_p > b_q$, deci $x_{pq} = b_q$, tabelul se restrânge stergând coloana q;
- $a_p = b_q$, tabelul se poate restrânge fie stergând linia p, fie stergând coloana q.

Se demonstrează că soluția determinată cu ajutorul algoritmului prezentat este o soluție de bază. Metoda generală de determinare a soluției de bază poate fi particularizată. Cele mai cunoscute

metode sunt: metoda colțului nord-vest, metoda elementului minim și metoda diferenței maxime. (Barbaciou I., 2009)

2.1.4 Metoda colțului de nord - vest

Cu ajutorul acestei metode se poate organiza transportul bunurilor disponibile din punctele de depozitare către punctele de consum, astfel încât costul total al transporturilor să fie minim.

Această metodă presupune parcurgerea următoarelor etape:

- Se pornește din colțul cel mai de nord-vest, respectiv din celula $(i, j), i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$
- Se atribuie acestei celule valoarea cea mai mică între disponibilul și necesarul corespunzătoare centrelor D_i și C_j , respectiv valoarea $x_{ij} = \min(a_i, b_j); (\forall) i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$;
- Se reduce disponibilul și necesarul de pe această linie și coloană cu valoarea alocată celulei $(i, j), i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$. Dacă $x_{ij} = a_i$, atunci se șterge linia i . Se alege în continuare următoarea celulă aflată în colțul cel mai de nord-vest, și se repetă procedeul până când au fost satisfăcute toate restricțiile. (Barbaciou I., 2009) (Leon S. Lasdon, 1975)

2.1.5 Metoda elementului minim

În această metodă la fiecare pas k al aplicării algoritmului intră în bază variabila x_{pq} dacă

$$c_{pq} = \min(c_{ij}); (\forall) i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n};$$

Cu ajutorul acestei metode se poate determina soluția inițială de bază.

2.1.6 Calculul multiplicatorilor simplex

Numerele $u_i; (\forall) i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$ și $v_j; (\forall) i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$ sunt multiplicatori simplex sau variabile din duala problemei.

Multiplicatorii simplex u_i și v_j se calculează rezolvând sistemul de ecuații:

$$c_{ij} = u_i + v_j$$

Pentru toți $x_{ij} \in B$, unde B reprezintă mulțimea variabilelor de bază.

Sistemul conține $m + n - 1$ ecuații și $m + n$ necunoscute, astfel încât se poate atribui unei necunoscute o variabilă arbitrară.

2.1.7 Criteriul de optimalitate

Situația poate fi îmbunătățită dacă există beneficii sau costuri comparative, acestea sunt nule pentru toate variabilele din bază.

$$\bar{c}_{ij} = c_{ij} - (u_i + v_j)$$

Soluția $x^* = x_{ij}^*$ asociată bazei este optimă dacă este satisfăcută condiția

$$\bar{c}_{ij} = c_{ij} - (u_i + v_j) \geq 0$$

Pentru x_{ij} aparținând unei baze optime. (Barbaciou I., 2009)

2.1.8 Algoritm pentru determinarea unei soluții îmbunătățite

Dacă există costuri comparative \bar{c}_{ij} negative, se determină:

$$\bar{c}_{pq} = \min_{i,j} \{ \bar{c}_{ij} < 0 \}$$

- Se atribuie variabilei x_{pq} o valoare pozitivă, nedeterminată;
- Se construiește un ciclu având primul vârf în celula (p, q) a tabelului și celelalte vârfuri situate numai în celule a căror variabile aparțin bazei. Mărima θ se scade din toate valorile asociate vârfurilor pare ale ciclului și se adună tuturor variabilelor din vârfurile impare;
- Se determină mărimea θ , atribuindu-i o valoare egală cu cea mai mică dintre valorile variabilelor de bază situate în vârfurile pare. Se demonstrează că ciclul corespunzător oricărei variabile care nu aparține bazei este unic determinat.

2.1.9 Alocarea Optimală a resurselor limitate. Formulare generală în fluxuri logistice

Problemele de programare a producției pot avea o serie de dificultăți de alocare a resurselor. Putem formula o problemă de producție, pentru care vom găsi soluții optime cu optimizarea cheltuielilor.

Având un număr de I activități și o resursă care trebuie alocată acestor activități în fiecare perioadă de timp T ; fie x_{ij} nivelul activității i la momentul t și se definește vectorul $x_i = [x_{i1}, \dots, x_{iT}]$.

Caracteristicile unei mașini de producție pot limita rata producției unui produs, ceea ce influențează mulțimea nivelurilor activităților admisibile. (Barbaciou I., 2009)

Toate aceste restricții, fie că se referă la cerere sau la producție, se numesc restricții tehnologice, fiind reprezentate de multimea S_i astfel încât $x_i \in S_i$.

Pentru operarea unei activități i există un cost și utilizarea a cel puțin unei resurse.

Pentru alocarea optimă a resursei se vor găsi acele restricții tehnologice care minimizează costul de operare în timpul alocat, al tuturor activităților, în raport cu imitățile de resursă corespunzătoare fiecărei perioade de timp.

Problema programării în timp a producției unui număr de I articole poate fi inclusă în această formulare luând nivelul de activitate x_{it} ca fiind cantitatea din articolul i produsă în perioada de timp t . Resursa poate reprezenta chiar și numărul de mașini din producție.

Dacă presupunem că cererile clientului, r_{it} , sunt cunoscute pentru toate articolele în toate perioadele de timp, atunci, restricțiile $x_i \in S_i$ pot proveni din limitarea inferioară și superioară a nivelului stocului μ_{it} și a activităților x_{it} produse

$$S_i = \{x_i \mid (x_{it})_{\min} \leq x_{it} \leq (\mu_{it})_{\max}, (\mu_{it})_{\min} \leq \mu_{it}, t = \overline{1, T}\}$$

Unde nivelele stocurilor sunt date de:

$$\mu_{it} = \mu_{it-1} + x_{it} - r_{it}, t = \overline{1, T}, \mu_{i0} \text{ este dat. (Leon S. Lasdon, 1975)}$$

2.2 Aplicarea problemei de transport. Exemple de probleme în care se poate aplica problema de transport.

2.2.1 Exemplul 1

Date fiind patru produse p_1, p_2, p_3, p_4 care pot fi executate pe trei mașini, M_1, M_2, M_3 .

Se cunoaște cantitatea cerută din fiecare produs, numărul de ore necesare pentru executarea fiecărui produs, prețul de vânzare, costurile de producție ale unei unități de produs pe fiecare mașină și numărul mașinilor disponibile. (Barbaciou I., 2009)

Pentru rezolvarea unui caz particular vom folosi datele din următorul tabel, unde sunt prezentate valorile menționate mai sus.

Tabelul 3.

Produs	Cerere pe zi	Nr. de ore necesare pe unitate	Preț vânzare	Preț de cost			Beneficiu pe oră		
				M_1	M_2	M_3	M_1	M_2	M_3
P_1	100	4	300	200	280	180	25	5	30
P_2	200	3	150	129	120	141	7	10	3
P_3	250	2	100	80	70	65	10	15	17,5
P_4	80	1	70	55	55	65	15	15	5
Numărul mașinilor disponibile				30	25	40			

Beneficiul pe oră obținut prin utilizarea unei mașini, de exemplu M_2 , pentru executarea unui produs, de exemplu p_3 , se calculează scăzând din prețul de vânzare al produsului prețul său de cost dacă este executat de M_2 și împărțind diferența la numărul orelor de lucru. (Barbaciou I., 2009)

2.2.2 Exemplul 2

Punctele de depozitare a bunurilor sunt D_1, D_2, D_3, D_4 , iar solicitanții/consumatorii sunt $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6$. [2]

Cantitățile disponibile în punctele de depozitare, unitățile cerute în punctele de consum și costul transportului unei unități de marfă de la depozitul D_i ; ($\forall i = \overline{1, 4}$), la beneficiarul C_j ; ($\forall j = \overline{1, 6}$) sunt prezentate în tabelul de mai jos.

Tabelul 4.

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	Disponibil
D_1	90	27	15	42	25	10	2200
D_2	20	22	20	17	12	22	2000
D_3	25	14	10	24	34	8	1000
D_4	18	25	28	30	21	28	1800
Cerere	1200	800	700	1900	1000	1500	

Se cere organizarea transporturilor necesare aprovizionării consumatorilor astfel încât costul total al transporturilor să fie minim.

Pentru determinarea soluției initiale de bază vom folosi metoda colțului nord – vest.

Variabila corespunzătoare pătratului situat pe linia 1 și coloana 1 ia valoarea 1200, deoarece cererea consumatorului C_1 este mai mică decât disponibilul din depozitul D_1 . După această atribuire, tabelul nu mai conține decât coloanele C_2, C_3, C_4, C_5, C_6 , liniile rămân aceleași, dar disponibilul pe linia D_1 este $2200 - 1200 = 1000$.

Variabila din colțul nord – vest al noului tabel este $x_{1,2}$. Comparând disponibilul de 1000 de unități din linia întâi cu cererea 800 din coloana C_2 , se atribuie variabilei $x_{1,2}$ valoarea 800.

Noul tabel conține coloanele C_3, C_4, C_5, C_6 , și liniile D_1, D_2, D_3, D_4 , disponibilul din prima linie fiind $1000 - 800 = 200$ de unități.

Variabila din colțul nord – vest este acum $x_{1,3}$ și valoarea care i se poate atribui este egală cu 200, disponibilul din prima linie.

Depozitul D_1 fiind golit, iar cererea consumatorului C_3 nefiind satisfăcută integral, tabelul pe care se lucrează acum este format din coloanele C_3, C_4, C_5, C_6 , și liniile D_2, D_3, D_4 .

Disponibilul din aceste depozite este cel inițial, adică egal cu 2000, 1000 și respectiv 1300 de unități, iar cererile nesatisfăcute încă sunt de 500, 1300, 100 și 1300 de unități.

Continuând același raționament, găsim: $x_{2,3} = 500$; $x_{2,4} = 1300$; $x_{2,5} = 200$; $x_{3,5} = 800$; $x_{3,6} = 200$; $x_{4,6} = 1300$.

Se observă că, lunând $x_{4,6} = 1300$, se epuizează disponibilul din ultimul depozit și se satisface în același timp integral cerera ultimului consumator.

Acest rezultat este asigurat de faptul că totalul cantităților de marfă din depozite este egal cu totalul cereilor.

Soluția determinată prin această metodă este o soluție de bază.

Soluția inițială de bază conține $m = 4$ linii și $n = 6$ coloane, iar soluția are $m + n - 1 = 6 + 4 - 1 = 9$ valori nenule.

După care urmărim parcurgerea metodelor explicate în algoritmul prezentat până în momentul în care vom determina soluția optimă a problemei.

3 CONCLUZII

În concluzie problemele de optimizare sunt la bază probleme de alegere a deciziilor din opțiunile disponibile.

În contextul fluxurilor logistice, algoritmi matematici au aplicabilitate, ei urmărind să optimizeze resurse și procesele anevoioase, făcând ca fluxul să fie mai profitabil.

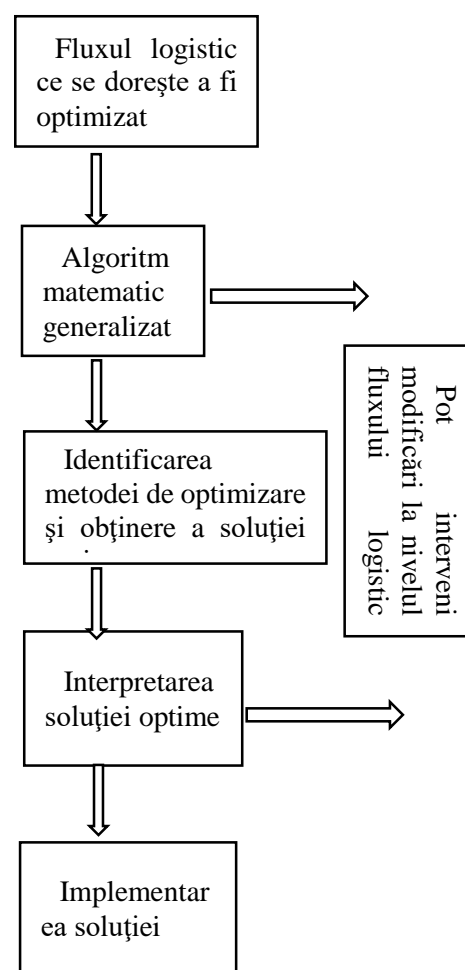
Făcând o schemă generală a construirii unui model matematic ar fi cel din figura 1.

Se poate vedea faptul că modelul lui Koopmans poate să și găsească aplicarea nu numai în transport, ci și în alte ramuri ale logisticii, cum ar fi în producția bunurilor.

Transportul este o structură care folosește un set de legături și conexiuni rezultate din infrastructurile modalităților de transport, având nevoie de o structură logistică proprie.

În cele din urmă algoritmi matematici putând fi materializați în programe software care pot simula procesul și genera soluțiile optime.

Fig 1.



4 BIBLIOGRAFIE

- [1]. Leon S. Lasdon, traducere din limba engleză dr. Stefan Cruceanu (1975), *Teoria Optimizării Sistemelor Mari*, Editura Tehnică, București.
- [2]. Barbacioru I. (2009), *Cercetări Operaționale*, Editura Academică Brâncuși, Târgu Jiu
- [3]. Niculescu, C. (2012), *Metode de optimizare pătratică*, Editura Universității București, București.

OPTIMIZAREA FLUXULUI DE DISTRIBUTIE A PIESELOR MECANICE IN ZONA DE ASAMBLARE MOTOR A AUTOVEHICULELOR

NEAGU Anca-Ştefania¹

Conducători științifici: Conf.dr.ing. **George ENCIU**, Asist. univ. dr. ing. **Popescu Adrian**

REZUMAT: In prezenta lucrare de cercetare stiintifica se va prezenta optimizarea unui flux logistic de transport a pieselor mecanice in industria auto cu ajutorul unui AGV. Sistemul de transport-transfer poate deplasa un grup de componente ale unui singur motor auto utilizand un sistem de ghidare de tip optic, magnetic, tag RFID in zona de asamblare a motorului auto. In zona de asamblare pot fi mai multe posturi de lucru, ceea ce rezulta programarea, optimizarea si gestionarea transeului AGV ului utilizand un sistem software specializat. Pentru implementarea sistemului este nevoie de un AGV complet automatizat, un sistem de depozitare, componentele motorului auto, sisteme de operare prin care se realizeaza programarea sistemului AGV.

CUVINTE CHEIE: AGV, RFID, Ghidare optica, Zona asamblare, Posturi de lucru

1 INTRODUCERE

Optimizarea fluxului logistic se va realiza prin implementarea unui sistem de transport-transfer complet automatizat.

2 STADIUL ACTUAL

In prezent se realizeaza transportul pieselor cu ajutorul AGV urilor complet automatizate, dar nu fac deplasarea componentelor unui singur motor.

Generalitati privind impartirea autovehiculului in zone de asamblare.

Zona compartimentului motor 4 cuprinde: mecanismul motor, instalatia de alimentare cu combustibil, instalatia de racire, instalatia de lubrifiere, instalatia de aprindere, instalatia de distributie, sistemul de pornire de pornire, transmisia autoturismului, mecanism de directie, sistem de franare, sistem de rulare, suspensia autovehiculului, echipament electric.



Fig.1 Motor auto [13]

Realizarea asamblarii motorului autovehiculelor

Piese de asamblat in zona de compartiment motor sunt transportate complet automatizat sau semiautomatizat in zonele de asamblare. Pentru optimizarea fluxului este nevoie de un sistem automatizat de tip AGV prin comanda satelit sau banda magnetica ce va facilita transportul pieselor in functie de referintele indicate de programul de gestionare.

Referintele pieselor sunt coduri unice de identificare prin care sunt organizate in depozite si mini buffere la posturile de lucru, acestea fiind gestionate intr-un sistem software. Piese sunt stocate in depozite provizorii si organizate pe tipuri de motoare. Grupuri de piese sunt organizate pe palete de transport transfer aflate pe sistemul AGV.

Pentru a realiza fluxul de asamblare al unui motor este nevoie de gestionarea pieselor, realizarea fiselor de lucru, impartirea pe zone de lucru, gestionarea uneltelor si a utilajelor de asamblare.

Inainte de realizarea asamblarii unui motor se realizeaza gestionarea pieselor prin care se documenteaza piesele ce vor fi asamblate printr-o referinta(cod unic de identificare). Aceste piese sunt documentate prin numar(cate piese se doresc sa fie incarcate pe banda, in industrie), zona in care trebuie sa se realizeze operatia, legaturi(suruburi, piulite, suport-puterea nominala de strangere).

Dupa realizarea documentatiei se creaza fisele de lucru pentru fiecare piesa astfel incat sa se creeze o coordonare si un control amanuntit a tuturor pieselor ce se doresc a fi asamblate. O fisa de lucru cuprinde poze cu piesele ce se doresc a fi asamblate, modul de asamblare si ordinea de montaj, pozitia

¹ Specializarea Logistica Industrială, Facultatea IMST;
E-mail: ancaneagu40@gmail.com;

operatorului, zona in care se realizeaza asamblarea, uneltele si legaturile utilizate.

In primul rand, in zona de pregatire motor se aseaza cutia de motor pe un suport, apoi se asambleaza cutia de viteze, aceasta se prinde in cinci suruburi de motor cu ajutorul uneltelor cu douille. In a doua etapa se asambleaza baia de ulei, apoi se va asambleza alternatorul si demarorul apoi curea de distributie. Se va realiza apoi clipsarea si conectarea cablajului pe motor conform fisele de pregatire. In a treia etapa se asambleaza GMV ul (Groupe motoventilator). Acesta este sistemul de racire al motorului, denumit si radiator. Apoi se emanseaza conductele pentru electrovanne si pompa de apa. Electrovanne este folosita pentru comanda unui debit de fluid dupa un impuls electric.

Flux logistic de transport automatizat al pieselor in zonele de asamblare al motoarelor autovehiculelor.

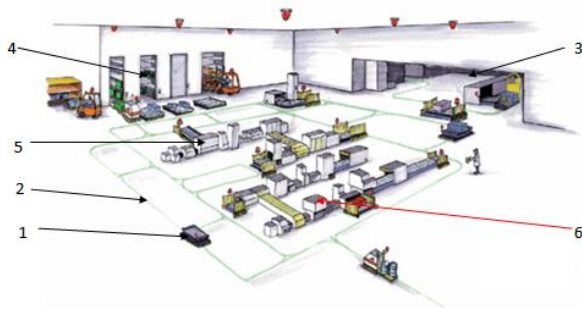


Fig.1 Flux logistic de transport-transfer in industria auto[12]

In Figura 1 este reprezentat un flux de transport al pieselor mecanice de asamblare a motoarelor auto complet automatizat. Pentru transportul produselor se va folosi un sistem AGV 1, acesta se va deplasa pe traseul 2 ghidat prin banda magnetica sau sisteme RFID. Sistemele AGV au punctul de plecare din zona 3 spre sistemul de depozitare 4. Alimentarea AGV urilor sa va face automatizat sau semiautomatizata (cu ajutorul unui operator pentru piese cu greutate scazuta) folosindu-se astfel sistemele RFID de identificare piese si produse pentru un singur motor. Un singur AGV v-a fii programat sa transporte pentru un singur motor, toate componentele necesare asamblarii lui. Motoarele auto se vor asambla in diferite posturi de lucru 5 in zone de asamblare 6 diferite.



Fig.2 Alimentare AGV[10]

In Fig. 2 este reprezentata alimentarea AGV ului in sistemele de depozitare. Alimentarea se poate realiza in mod automatizat sau semiautomatizat, utilizand un operator. Se poate automatiza utilizand TAG-uri pe toate produsele si pisele pe care AGV ul le va transporta. Tag-ul este un sistem de identificare al produselor, utilizand un sistem de operare prin care sunt gestionate si se va face urmarirea lor de la distanta. Acest tip de Tag furnizeaza sistemului software date despre produs, cat si zona unde pentru usurinta alimentarii AGV ului.



Fig.3 Deplasare AGV[10]

In figura 3 se poate observa trecerea AGV ului prin zone aglomerate sau greu de traversat utilizand alte sisteme sau un operator. Acest tip de AGV este ergonomic si usor de utilizat pentru spatii restranse, optimizand si compactand astfel spatiul industrial.

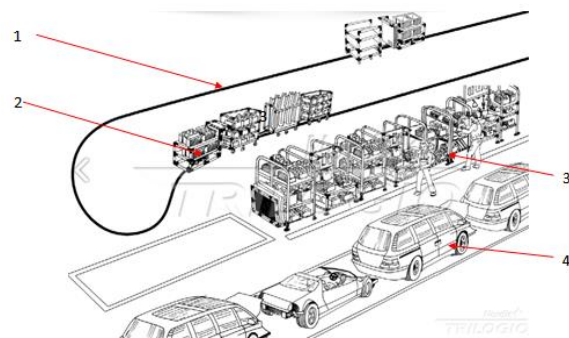


Fig.4 Transport-transfer in zona de asamblare motor auto[10]

In Figura 4 este reprezentat schematic distributia pieselor in zonele de asamblare al motoarelor autovehiculelor. AGV ul 2 este ghidat cu banda magnetica 1 in zonele de asamblare 3. Transferul pieselor se pot realiza automat sau semiautomat cu ajutorul operatorului. Piese transportate se vor asambla pe autovehiculele 4.

3 STUDIUL SISTEMELOR AGV

3.1 AGV cu banda magnetica.

AGV ul se poate deplasa detectand banda magnetica de culoare neagra.

Weasel lucreaza cu sistem optic de ghidare, ceea ce poate fi instalat usor, si repede. Viteza de deplasare este de 1m/s cu inclinare de maxim 20°. Poate fi utilizat spre operatii manuale cu operare butoane sau complet automatizat. Ruta sistemului

AGV este controlata prin taguri RFID plasate sub linia de ghidare optica. Software ul de control poate fi instalat rapid fara timp de consum in intalare si adaptare. De asemenea poate fi integrat cu usurinta intr-un flux de materiale.



Fig.5 AGV WEASEL[4]

Proprietati:

- fara senzori tehnologici complexi sau sisteme complexe de control;
- reduce investitiile costisitoare;
- reduce operatiile costisitoare;
- transport in siguranta a pieselor;
- designul compact, utilizandu' l in locuri mai putin accesibile;
- disponibilitate mare pentru mentenanta sistemului, pachete de baterii gratuite;
- eforturi mici pentru transportul produselor;
- integrare usoara in orice domeniu sau proces existent;
- optiuni pentru scvntire si depasire.

3.2 Sistem automatizat pentru transportul pieselor in industrie 3MC-M10



Fig.6 AGV 3MC-M10[5]

Acest tip de AGV poate transporta piese in orice directie posibila. Functionarea eficienta este posibila si in toate gradele de libertate, utilizarea la cele mai mari performante. Poate transporta la cea mai mare viteza si inalta acurateta prin adoptarea servo-driverul AC. Este echipat cu auto-incarcare, dupa operatii continue are posibilitatea aautoincarcarii. Incarcarea se realizeaza dupa confirmarea opririi AGV ului.

Operatiile de configurare sunt usor de realizat cu un dispozitiv HMI. AGV ul este echipat cu un display pentru setarea rutelor si operatiilor sistemului. AGV ul comunica prin Unitate Wireless LAN pentru o comunicare la viteza mare, cu o statie la nivelul solului ce poate fi controlata.

Specificatii tehnice:

- ⇒ Tip AGV: 3MC-M10
- ⇒ Sistemul de operare: W i r e l e s s t a n d a r d IEEE802, 11b/g/n 2.4GHz
- ⇒ Greutatea maxima a produselor transportate: 1000Kg
- ⇒ Sistemul de directionare si de conducere: tractiune fata, directionare prin roata din fata
- ⇒ Sistem de ghidare: ghidare magnetica
- ⇒ Directia de transport: Orice directie(cu fata, cu spate, pe diagonala, pe lateral, prin rotire)
- ⇒ Viteza maxima de transport: inainte/inapoi 60m/min, lateral 30m/min
- ⇒ Inaltimea la care se poate transfera incarcatura: 400mm
- ⇒ Oprirea se realizeaza la o precizie de ± 5 mm
- ⇒ Dimensiunile de gabarit ale AGV ului: W1150×H420×D1950mm
- ⇒ Raza minima de deplasare: 730mm
- ⇒ Greutatea AGV ului: 600Kg
- ⇒ Voltaj: 40V, sistem de autoincarcare

3.3 Sistem automatizat pentru transportul pieselor in industrie 3MC-M30/60



Fig.7 AGV 3MC-M30/60 cu sistem selectie a produselor[5]

Precizia de oprire a AGV ului este ± 5 mm, este echipat cu baterii ce se poate autoincarca. Sistemul sau de operare este Wireless LAN.

Specificatii tehnice:

- Tipul AGV ului: 3MC-M30, 3MC-M60
- Greutatea maxima de transport: 3000kg, 6000kg
- Directia de deplasare: tractiune fata, directionare prin roata din fata
- Sistem de ghidare: magnetica

- Directia de transport: Orice directie(cu fata, cu spate, pe diagonala, pe lateral, prin rotire)
- Viteza maxima de transport: inainte/inapoi 60m/min, lateral 30m/min
- Inaltimea la care se poate transfera incarcatura: 477mm
- Oprirea se realizeaza la o precizie de ± 10 mm
- Dimensiunile de gabarit ale AGV ului: W1522×H477×D2740mm
- Raza minima de deplasare: 1200mm
- Greutatea AGV ului: 1550Kg
- Voltaj: 48V, baterie cu autoincarcare

3.4 Sistem de transport piese industriale de tip platforma U-CART



Fig. 8 AGV U-Cart[5]

Sistemul are inaltimea maxima de 170mm si 348mm latime. Sunt disponibile patru tipuri de tractiune incepand de la 300kg pana la 1300kg. Sistemul de comunicare este de tip radio , U-CART este controlat prin retea radio de la un panou de control. Cand ruta este stabilita cu utilizarea sistemului de ghidare manetic, ruta de deplasare poate fi usor setata utilizand banda magnetica pentru opriri precise. Poate realiza pana la 200 de pozitii si opriri. Se poate autoincarca dupa 24 ore de functionare. Acesta este un echipament special ce poate se poate deplasa singur sau conectat la un AGV. Specificatii tehnice:

- ⇒ Tip: Platforma U-CART S, U-CART L
- ⇒ Greutatea maxima de transport: 300kg pana la 1300kg
- ⇒ Directia de deplasare: tractiune fata, directionare prin roata din fata
- ⇒ Sistem de ghidare: banda magnetica
- ⇒ Directia de transport: Orice directie(cu fata, cu spate, pe diagonala, pe lateral, prin rotire)
- ⇒ Viteza maxima de transport: inainte/inapoi 60m/min, lateral 30m/min

- ⇒ Oprirea se realizeaza la o precizie de ± 15 mm
- ⇒ Dimensiunile de gabarit ale AGV ului: W348×H170×D1357mm sau W348×H170×D2000mm
- ⇒ Timp de lucru: 4 ore continuu cu auto-incarcare

4. SISTEME DE AUTOMATIZARE. SISTEME DE OPERARE AGV

4.1 Sisteme de automatizare

Pentru automatizarea unui AGV se echipeaza cu antena pentru citirea TAG ului RFID. Tag ul este prevazut in sistemul de ghidare aflat in podea. Acesta transmite pozitia AGV ului si directia de deplasare conform figurii 9.

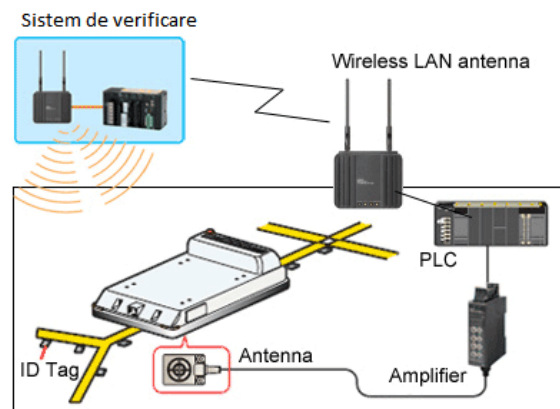


Fig.9 Configurare AGV[11]

4.2 Sisteme de operare

Sistem software de operare ce poate fii utilizat pentru un sistem AGV este Q-CAN AGV System.

Sistemul Q-CAN utilizeaza sisteme inteligente de tip AGV, acesta poate comunica cu fiecare sau in obtional cu module PC Vehicle Manager PC(modul AGVDIRECTOR™).

Sistemul software controleaza la distanta traficul, rutele, orpirlile, sistemul de comunicare(antena, senzori). AGV urile ce utilizeaza Q-CAN au sistem inertial de deplasare care nu necesita ghidare prin fire sau laser. Acestea folosesc banda magnetica aplicata pe podea, iar la locatiile cheie pentru ghidare folosesc planurile, graficile pentru rute si locatii generate de sistemul software.

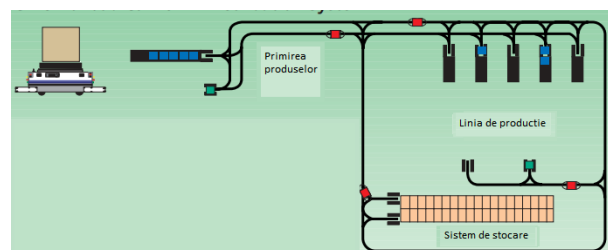


Fig. 10 Urmarire transport[6]

4.3 Sisteme de ghidare optica

Ghidarea unui sistem AGV se poate realiza prin detectarea unei suprafețe amplasate la nivelul solului cu ajutorul senzorului montat pe sistemul AGV. Senzorul detectează marcajul situat pe sol realizând astfel o traiectorie ordonată și în siguranța a AGV-ului. Senzorul transmite semnale către controller, iar controllerul către sistemul de operare.



Fig.11 Sezor vision[11]

5. AGV CU GHIDARE OPTICA

Acest tip de sistem cu ghidare automatizată include cel puțin o roată conducătoare prin care realizează propulsia corpului de-a lungul unei suprafețe, direcția de deplasare a corpului este realizată de sistemul inertial de navigație. Acest sistem de navigație detectează mișcarea reală a corpului în cel puțin trei grade de libertate. Sistemul AGV este echipat cu un senzor ce detectează în mod continuu mișcarea relativă a vehiculului în raport cu suprafața de ghidare. Poate fi un senzor cu contact fizic prin care atinge suprafața de ghidare sau non-contact. Sistemul de navigație este utilizat mai ales în cazurile în care se dorește transportul pieselor grele în lanț.

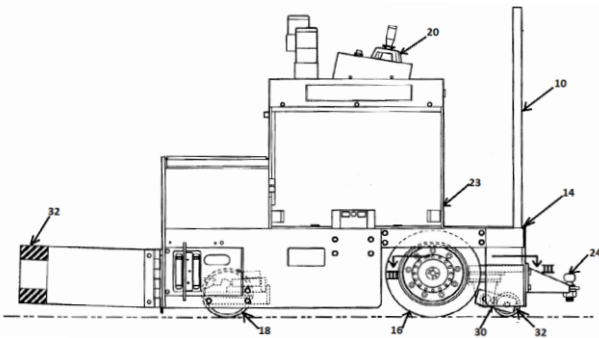


Fig.12 Componentele AGV ului[9]

Fiecare AGV 10 este alimentat de la o sursă cu baterii, amplasată într-un compartiment 23, care alimentează un motor de curent continuu electric 26 asociat cu fiecare roată de acționare 16 printr-un controller al motorului 27. AGV-ul 10 include suplimentar un senzor de deplasare la sol, în general, amplasat în zona 30, pentru detectarea continuă a mișcării corpului vehiculului 14 în direcția longitudinală a vehiculului atunci când se deplasează de-a lungul sistemului de ghidare și de rotație al vehiculului. Senzorul de deplasare la sol 30 include o

roată 32, care este o roată fără sarcină față de caroseria vehiculului 14. Senzorul 30 este echipat suplimentar cu un suport 34 pentru roata 32, inclusiv o pivotare cu articulație 36 care se atașează un ax 38 pentru mișcarea de rotație în jurul unei axe verticale, iar printr-un știft 40 blochează translația pe axa verticală, prin care transmite mișcarea de rotație la roata dintată 44. Pivotant 36 reprezintă un rulment. O pereche de brațe 48, care sunt realizate din tablă de oțel groasă, aceasta reprezentând suport pentru axul 50 și roata 32. Brațele suport 48 sunt montate pe pivotantul 38 de către axul 52. Axul 52 permite deplasarea verticală relativă a roții 32 în ceea ce privește caroseria vehiculului 14. Arcul 54 oferă o înclinație descendentă spre roata 32, în scopul de a menține roata în contact permanent cu podeaua. Acest lucru este util mai ales când roata trece peste fisuri și obiecte de pe podea, astfel încât roata menține contactul permanent cu podeaua. Roata 32 este realizată dintr-un material durabil, uretan, care minimizează uzura și asigură frecarea adecvată între suprafața roții și podeaua. În plus, aceasta permite înlocuirea ușoară a suprafeței roții.

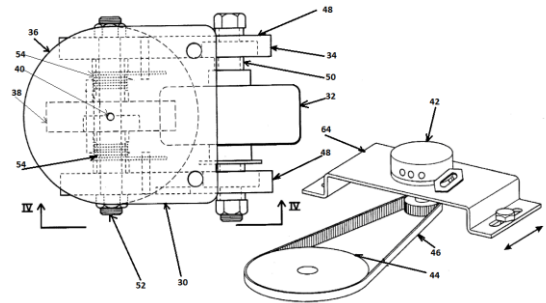


Fig.13 Funcionalitatea sistemului de directionare[9]

Un encoder de măsurare a distanței (DME) 56 este montat pentru a sprijini brațele 48 care sunt interconectate cu roata 32 printr-un lanț (nu este prezentat). Encoderul 56 este conectat electric la un computer de navigație și control 58 printr-un cablu 60. Sistemul de oprire 62a și știftul mobil 62b restricționează rotația axului 38 la mai puțin de o revoluție, în scopul de a proteja cablul 60. Encoderul 56 asigură o precizie de cincizeci de impulsuri per revoluție în două canale de hexagon, care permite măsurători ale mișcării în ambele direcții (înainte și înapoi) ale vehiculului. Encoderul este utilizat numai pentru direcția înainte a vehiculului, oferind astfel o precizie de o sută de impulsuri per revoluție. Ca alternativă, ceasul intern al unității de navigație și de control poate fi utilizat pentru a furniza impulsuri interpolate la 100 de impulsuri per revoluție în ambele direcții înainte și înapoi. În locul utilizării unui encoder, distanța poate fi măsurată prin alte dispozitive de măsurare la distanță. Mișcarea de

rotație a axului 38 este transferată într-un traductor de precizie staționar 42 prin intermediul rotii dinate 44 și cureaua 46. Cureaua 46 este o curea de distribuție dintată pentru a evita nealinierea dintre roata dintată 44 și encoderul 42. Encoderul 42 este mecanic și electric adus la o poziție centrală la $\pm 0,5$ grade de centru. Encoderul 42 este montat pe un suport 64, care este montat cu posibilitatea de reglare, pentru a permite întinderea curelei 46.

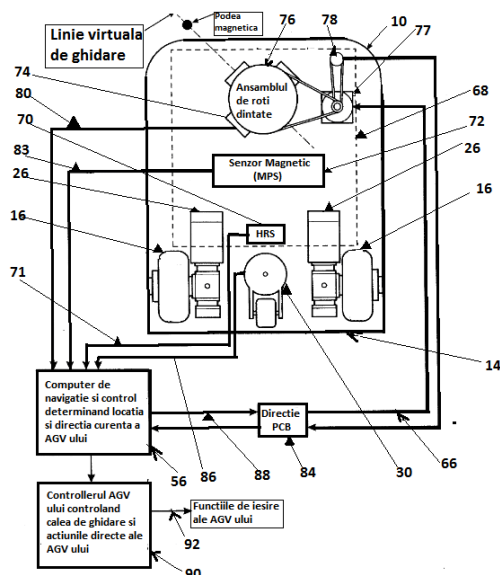


Fig.14 Flux informational de funcționare AGV [9]

Calculatorul pentru navigație și comandă 58 procesând intrările 71, 80, 83 și 86 și produce o ieșire 88, comanda de direcție 84. Această ieșire reprezintă o corecție pentru poziția AGV-ului pentru a alinia poziția reală a acestuia, calculată computerul de navigație și control 58, ajungând la poziția dorită. Poziția corectă a AGV-ului este stabilită printr-un calculator vehicul primar 90, care primește instrucțiuni de la calculatorul control central 21 utilizând un canal de comunicație radio sau wireless, cum ar fi infraroșu, RF. Computer 90 produce o ieșire 92, care, de exemplu, controlează viteza motoarelor de propulsie 26. Motoarele 26 sunt controlate de motorului 27 între una dintre cele trei viteze; cea mai mică viteză fiind oprirea.

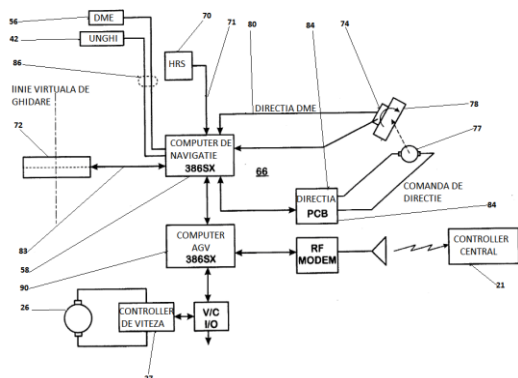


Fig.15 Schema de funcționare AGV [9]

6. CONCLUZII

În concluzie implementarea acestui tip de sistem se poate realiza în cadrul oricărui transport de componente ale unui autovehicul, în zonele de asamblare aferente.

Pe viitor se va realiza un model virtual al sistemului AGV detaliat și realizarea unui prototip.

7. BIBLIOGRAFIE

- [1] <http://www.nwradu.ro/2012/06/vezi-aici-masin-personala-cumparat/>
- [2] <http://www.promotor.ro/teste-auto/teste-speciale/am-construit-un-ford-b-max-si-nu-am-strictat-nimic-12652526/galerie-foto/poza-53>
- [3] <http://www.scoalarutiera.ro/notiuni-de-mecanica-auto>
- [4] <http://www.ssi-schaefer.de/en/conveying-and-picking/automated-guided-vehicles/weasel-R.html>
- [5] <http://agv.meidensha.co.jp/english/catalog/pdf/new.pdf>
- [6] http://www.agvsystems.com/wp-content/uploads/2012/08/Q-CAN_AGV_Savant5.pdf
- [7] <http://www.egemin-automation.com/en/automation/material-handling-automation-ha-solutions-agv-systems-agv-software-systems/management-software>
- [8] <http://www.msdi.ro/sisteme-de-transport-in-logistica-industriala-de-tip-agv-automated-guided-vehicle>
- [9] <https://www.google.ro/patents/US5764014>
- [10] <http://trilogiq.se/produkter/agv/agv-tillampning/>
- [11] http://www.omron.com.au/solutions/application_solutions/category_details.asp?app_id=E315
- [12] <http://www.steinbockus.com/AGVs/fs.html>
- [13] <http://clubtech.ro/viewtopic.php?t=915>
- [14] <http://www.zf.ro/analiza/explozia-vanzarilor-de-masini-si-scumpirea-pieselor-de-schimb-duc-piata-componentelor-auto-la-1-mld-euro-3073971/poze/>

8. NOTAȚII

Următoarele simboluri sunt utilizate în cadrul lucrării:

- AGV=Vehicul cu ghidare automatizat
- Zona de asamblare= Spațiul de lucru în care se desfășoară mai multe activități privind asamblarea unei zone dintr-un vehicul ce cuprinde mai multe posturi de lucru
- Post de lucru = spațiul în care se realizează asamblarea componentelor.
- DME=Encoder de măsurare a distanței

STUDIU COMPARATIV PRIVIND SISTEMELE AUTOMATE DE COLECTARE ȘI PROCESARE A RECIPIENTELOR DIN STICLĂ

OPREA Ionel Constantin¹

Conducător științific: Ș.I.dr.ing. Cicerone Laurențiu POPA

REZUMAT: În prezenta lucrare se va realiza un studiu comparativ al sistemelor de colectare și procesare a recipientelor din sticlă în vederea analizei posibilității implementării acestora în cadrul unor sisteme automate de colectare și procesare a deșeurilor. Au fost studiate mai multe echipamente de tip RVM (Reverse Vending Machine) de la mai mulți producători, s-au analizat caracteristicile generale și principiile de funcționare ale acestora și au fost enunțate concluziile privind studiul efectuat.

CUVINTE CHEIE: colectare deșeuri, procesare deșeuri, reciclare sticlă, Reverse Vending Machine

1 INTRODUCERE

Reciclarea presupune separarea și colectarea materialelor în vederea transformării lor în produse utile noi. O mare parte din aluminiul, sticla, hârtia sau oțelul folosite astăzi în întreaga lume sunt deja provenite din reciclare. Sticla și oțelul pot fi reciclate nu doar o dată, ci de nenumărate ori. Reciclarea aluminiului și oțelului utilizat la cutiile de băuturi, a hârtiei și cartoanelor, a sticlei, precum și a anumitor mase plastice constituie peste tot în țările occidentale o industrie înfloritoare. De asemenea, reciclarea permite comunităților să reducă costurile de depozitare a deșeurilor. Consumul de energie este și el influențat pozitiv de reciclare.

Obiectivul lucrării este acela de a efectua un studiu comparativ al sistemelor de colectare și procesare a recipientelor din sticlă în vederea analizei posibilității implementării acestora în cadrul unor sisteme automate de colectare și procesare a deșeurilor.

2 STADIUL ACTUAL

Procesul de colectare a deșeurilor din sticlă reprezintă prima etapă în procesul de reciclare a acestor tipuri de deșeuri.

Procesul de colectare este realizat prin diferite metode luând în considerare cantitatea de deșeuri, starea acestora dar și modul de utilizare ulterioară a deșeurilor.

Sticla este 100% reciclabilă, recuperarea ei salvând un volum important de resurse energetice. Fabricarea sticlei din cioburi consumă mult mai puțină energie decât fabricarea ei din materiile prime de bază. Sticla reciclată se folosește la fabricarea recipientelor pentru băuturi sau pentru hrană, precum și ca izolator în construcții.

Sticla clară (incoloră) recuperată servește la fabricarea produselor din sticlă clară, în timp ce sticlă colorată se folosește la realizarea produselor colorate. Din acest motiv unele programe de recuperare cer cetățenilor separarea pe culori a sticlelor recuperate.[1]

Deșeurile din sticlă se împart în 2 categorii, din punct de vedere a stării de degradare:

- Deșeuri din sticlă nereutilizabile;
- Deșeuri din sticlă reutilizabile.

Deșeurile din sticlă nereutilizabile sunt reprezentate de deșeurile colectate din diferite puncte de colectare sub formă de cioburi și recipiente de sticlă ce nu mai pot fi reutilizate. Acestea sunt colectate și trimise în zona de sortare și depozitate în vederea creării unor noi recipiente din sticlă.

Deșeurile din sticlă reutilizabile reprezintă ambalajele de sticlă ce pot fi reutilizate în vederea reumplerii cu noi produse. Aceste sticle sunt colectate cu ajutorul persoanelor care folosesc aceste ambalaje prin intermediul sistemelor de tip Reverse Vending Machine.

¹ Specializarea Logistică Industrială, Facultatea IMST;

E-mail: oprea.ionelconstantin@yahoo.com;

3 SISTEME DE TIP REVERSE VENDING MACHINE

Un sistem de tip RVM (Reverse Vending Machine) este un echipament care acceptă ambalajele de băuturi folosite (goale) și returnează recompensa utilizatorului (inversul ciclului tipic de vânzare). Principalii vânzători de sisteme de tip Reverse Vending Machine sunt Tomra din Norvegia și Wincor Nixdorf din Germania, deși există și o concurență din partea unor companii mai mici, cum ar fi Envipco și Repant.

Sistemele de tip Reverse Vending Machine sunt folosite pe scară largă ca o modalitate de a motiva persoanele să recicleze ambalajele unor alimente pe care aceștia le cumpără din magazine. Toate Sistemele de tip Reverse Vending utilizează sursă de curent alternativ de la priză.

Sistemele de tip Reverse Vending Machine care sunt disponibile pe piață permit atât detectarea unui singur tip de material dar și detectarea a mai multor materiale simultan fiind apoi sortate în scopul de a recicla plastic, sticlă sau aluminiu.

O clasificare a sistemelor de tip Reverse Vending Machine se poate realiza în funcție de tipul sistemelor.

- Sisteme de tip Front – Backroom;
- Sisteme de tip InPac;
- Sisteme de tip Bulk Collection. [2]

3.1 Sisteme de tip Front – Backroom

Sistemul de colectare a deșeurilor Tomra T-820 reprezintă sistemul ce intră în interacțiune cu persoanele care doresc să trimită către reutilizare deșeurile rezultate din consumarea unor produse de regulă alimentare.

Acest sistem de tip Reverse Vending Machine face parte din EasyPac, un concept ce înglobează o colectare responsabilă a deșeurilor prin sortarea, depozitarea și transportul acestora în vederea reutilizării sau crearea de noi ambalaje.

Tabelul 1. Specificatii tehnice Tomra T-820

Greutate	147kg	
Dimensiunile sticlei	Diametru	50-130mm
	Înălțime	85-380mm
Dimensiunile dozei de aluminiu	Diametru	50-100mm
	Înălțime	80-200mm
Viteza	După formă	60buc/min
	După cod de bare	50buc/min
Conectivitate	Interfață LAN, compatibilitate POS	
Consum	60W	

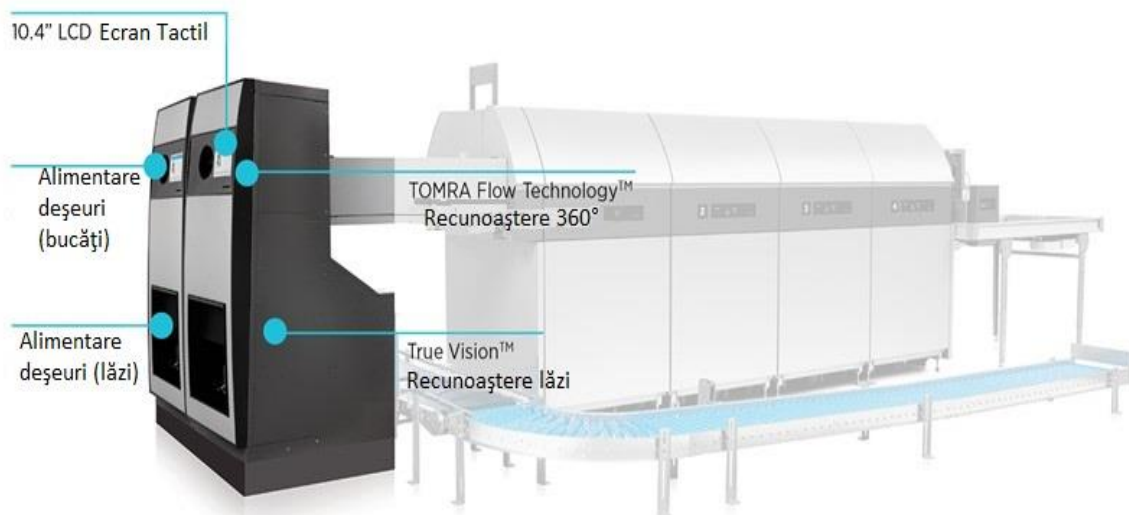


Figura 1. Front Reverse Vending Machine[3]

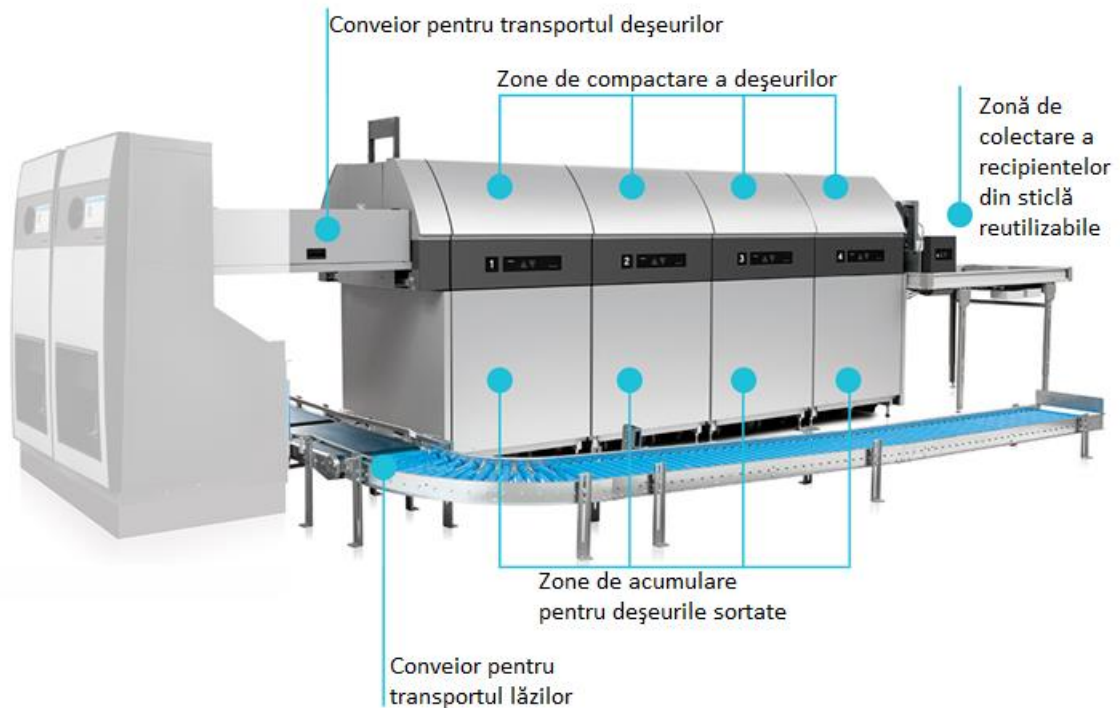


Figura 2. Backroom Reverse Vending Machine[4]

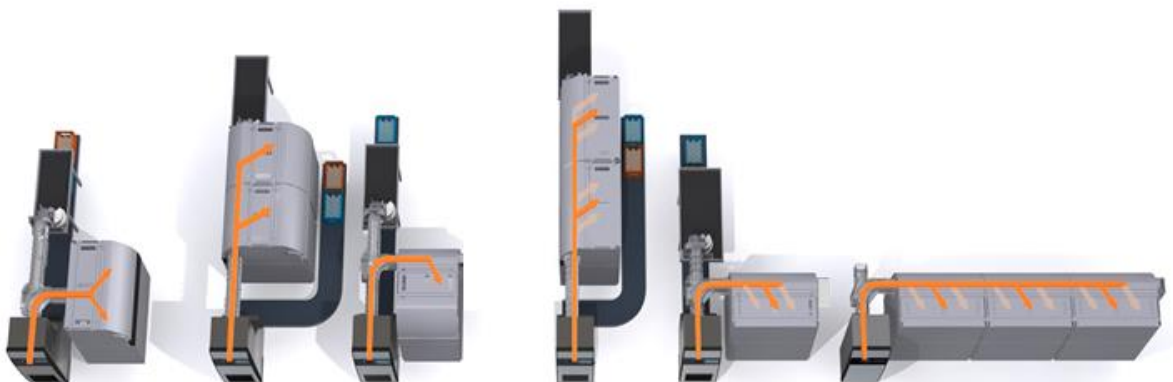


Figura 3. Modele layout ale sistemului Backroom[4]

Senzorul full-bin EasyPac împiedică supraîncărcarea recipientelor. Când un recipient este plin sau în timpul golirii, funcția de redirectionare EasyPac poate să devieze containerele într-o cutie alternativă, pentru a menține sistemul în funcțiune și pentru a asigura un timp ridicat de funcționare.

Sistemul se poate ocupa și de ambalaje de diferite forme - permițând posibilitatea de a returna alte tipuri de ambalaje

goale în cazul în care va fi nevoie în viitor. De asemenea, sistemul EasyPac poate fi ușor extins dacă crește volumul de retur din magazin fiind un sistem modular.

Sistemul EasyPac, datorită sistemului modular, poate fi adaptat pentru colectarea rapidă a recipientelor din sticlă cu ajutorul lăzilor. Recipientele aranjate în interiorul lăzilor sunt identificate în funcție de caracteristicile acestora de către sistemul Front RVM și permite trecerea

mai departe a lăzii. La capătul conveiorului de transport se poate realiza stivuirea lăzilor și transferul lor către o altă zonă de interes.

Sistemul DIGI RVM Backroom

Pentru funcționarea sistemului DIGI RVM sunt utilizate sistemele de colectare a deșeurilor DRV-5000 care fac legătura directă cu persoanele ce vor să aducă ambalaje pentru a fi reciclate.



Figura 4. Backroom DIGI Reverse Vending Machine[5]

Acestea sunt sisteme ce primesc informațiile de intrare venite prin intermediul ambalajelor reciclate (formă, aspect, etichetă, cod de bare) și apoi comandă mai departe cu ajutorul senzorilor, zona în care va fi dus respectivul ambalaj.

Lăzile cu sticlă sunt identificate cu ajutorul unui sistem denumit Quick Capture care realizează o imagine 3D a lăzii împreună cu sticlele din aceasta pentru a putea fi ușor identificate.

3.2 Sisteme de tip InPac

Sistemele de tip InPac au toate funcționalitățile integrate într-o singură unitate, cu acumulare și sortare internă, cu sau fără compactare.

Sistemele de tip InPac sunt sisteme ce nu depind de un layout tip backroom pentru a funcționa. Acestea sunt independente de sistemele adiționale ce privesc sortarea și compactarea deșeurilor, iar funcția de transport este realizată la nevoie în condiții automatizate sau manual de către o persoană.



Figura 5. DiGI RDV-5000[5]



Figura 6. Tomra InPac T-90[6]

Acest tip de sistem poate acumula deșeurile în zone de depozitare atașate de corpul acestora sau pot fi adaptate pentru ca deșeurile să fie preluate de către banda sau rolele unui conveior în funcție de cerință și deșeurile reciclate.

Sistem DB Export Bottle Sand Process Front InPac

Sistemul DB Export Bottle Sand este un sistem de tip RVM care transforma sticla în substituent pentru nisip. După golirea completă a sticlei, aceasta poate fi introdusă în interiorul sistemului, apoi butelia din sticlă este sfărâmiată la dimensiuni granulare de 1 mm transformând sticla într-un substituent pentru nisip utilizat în construcția de drumuri, construcții civile, terenuri de golf etc.

Sticla este fărâmițată într-un timp de aproximativ 5 secunde.

După ce sticlele sunt zdrobite, un sistem cu vid dublu îndepărtează praful și etichetele din plastic, lăsând în urmă granule fine de sticlă.

Fiecare sticlă produce 200 g de înlocuitor de pulbere.[10]



Figura 7. Sistemul DB Export Bottle Sand[7]

Acest tip de sistem este dotat cu un sistem de fărâmițare a sticlei după ce aceasta a fost în prealabil spartă de către doi tamburi dispuși alternativ cu rol de direcționare și transformare a sticlei în cioburi de sticlă.

3.3 Sisteme de tip Bulk Collection

Aceste tipuri de echipamente integrează un design și o construcție robustă cu senzori de sortare, care pot manipula toate tipurile de recipiente în diferite materiale, forme și mărimi, inclusiv recipiente de sticlă într-o singură direcție și care se pot direcționa mai departe către un sistem complet de sortare și mărunțire a deșeurilor.

Zona de aprovizionare cu deșuri poate fi umplută cu diferite tipuri de recipiente. Pentru acestea nu este nevoie de o sortare în prealabil deoarece sistemul de transfer direcționează recipientele către zona de identificare pe rând fără a crea o aglomerare în acea zonă.

După identificare acestea sunt sortate în zona de sortare a recipientelor. Sortarea se face atât pe baza refolosirii recipientelor dar și pe baza materialului sau stadiul în care se află recipientele.

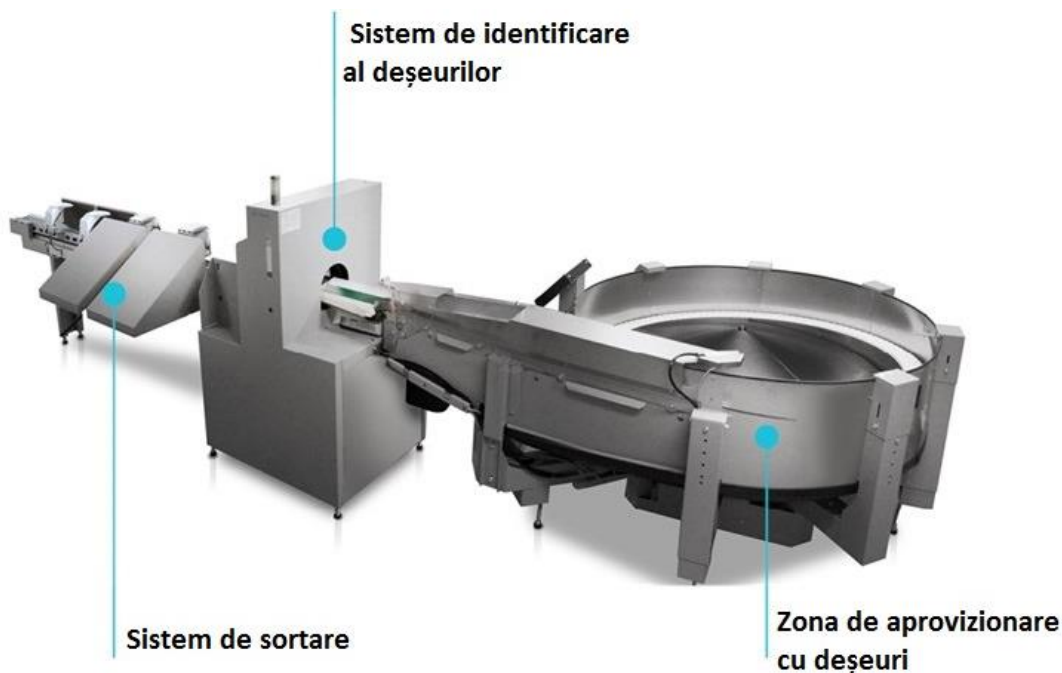


Figura 8. Sistem tip Bulk Collection de colectare a deșeurilor[8]

4 CONCLUZII

Sistemele de tip Reverse Vending Machine pot fi utilizate în locații comune frecventate de persoanele ce doresc să returneze recipientele golite. Aceste sisteme pot fi ușor integrate într-un flux logistic complet privind colectarea, transportul, sortarea și depozitarea deșeurilor din sticlă în vederea reutilizării ulterioare.

Direcții de cercetare viitoare:

- studiul sistemelor de identificare, transfer și depozitare a recipientelor din sticlă;
- realizarea unui model virtual pentru un sistem de colectare a recipientelor din sticlă în vederea implementării sale în cadrul unui sistem de colectare a deșeurilor;
- utilizarea aplicației software Witness Horizon pentru simularea fluxurilor materiale din cadrul sistemului de colectare a recipientelor din sticlă.

5 BIBLIOGRAFIE

- [1].<http://www.economisestepentrutine.ro/colectarea-selectiva-a-deșeurilor-impact-asupra-mediului/> accesat la data: 26.04.2017
- [2].<https://www.tomra.com/en/solutions-and-products/collection-solutions/reverse-vending/products> accesat la data: 27.04.2017
- [3].<https://www.tomra.com/en/solutions-and-products/collection-solutions/reverse-vending/products/front-end> accesat la: 27.04.2017
- [4].<https://www.tomra.com/en/solutions-and-products/collection-solutions/reverse-vending/products/backroom> accesat la:27.04.2017
- [5].Broșură produs DigiSystems accesibilă la https://www.digisystem.com/products/PRD00055/product_file/file/br_DRV.pdf
- [6].<https://www.tomra.com/en/solutions-and-products/collection-solutions/reverse-vending/products/inpac> accesat la: 27.04.2017
- [7].<http://www.dbexportbeer.co.nz/sand-machine> accesat la data: 3.05.2017
- [8].<https://www.tomra.com/en/solutions-and-products/collection-solutions/reverse-vending/products/bulk-collection-systems> accesat la data: 27.04.2017

CERCETARI TEORETICE PRIVIND DEZVOLTAREA SI REALIZAREA UNUI FLUX COMPLET AUTOMATIZAT PENTRU CULTIVAREA FLORILOR DE GHIVECE IN MEDIU CONTROLAT

NECHIFOR Ionut-Alexandru, anul I LI, facultatea IMST

Conducatori stiintifici: Conf.dr.ing ENCIU George, As.dr.ing POPESCU Adrian,
Departamentul MSP

REZUMAT:

Conceptul de sera automatizata are ca rol cresterea productivitatii domeniului agricol prin eliminarea factorului uman si al bolilor care pot aparea prin contactul dintre om si planta. Aceasta sera este structurata in cadrul unui depozit inchis, care are doar o iesire si intrari pentru aprovizionarea anexelor zonelor de semanat si transplantat. Punctele principale de interes in acest proiect sunt zona de semanat si cea de transplantat, acestea fiind la ora actuala principalele activitati agricole care inca se fac manual.

CUVINTE CHEIE: automatizare, agricultura, sera, flori

1 PREZENTAREA GENERALA A CONCEPTULUI

In general, termenul de sera este folosit pentru un mediu inchis/izolat in care sunt cultivate plante din diferite specii. In aceasta se pot influenta cresterea plantei prin controlul umiditatii, al temperaturii si lumini (la nivelul partii superioare a plantei) sau al Ph-ului (la nivelul inferior al plantei). O sera automatizata are rolul de a ghida cresterea plantei , fara interventia unui om, prin controlul tuturor variabilelor enumerate mai sus, intr-un mod prestabilit de un inginer horticol. Obiectivul principal este eliminarea completa a factorului uman si al bolilor care pot aparea prin contactul plantei cu mediul exterior. Toate sistemele automate prezentate in cadrul acestui proiect se pot gasi in comert, motiv pentru care acest concept poate fi pus in practica in prezent.

2 STADIUL ACTUAL

Momentan, problema cea mai mare in Romania este plata muncitorilor cu ora/ziua, pentru efectuarea proceselor de semanat si transplantat. Pentru a exemplifica aceasta problema voi compara viteza de semanare a unui muncitor care foloseste Unitatea de semanat manuala cu un utilizator comercializata de firma Roseeds si un sistem automat de semanat pneumatic comercializat de firma Urbinati in Romania prin intermediul firmei Roseeds.

Specializarea Logistica Industrialar, Facultatea IMST;

E-mail: nechi.alexjohn@yahoo.com;

Utilizatorul unitatii manuale poate semana aproximativ 10.000 de fire de rosii(50 de tavi) in 12 ore , pe cand un sistem automat Urbinati poate semana pana la 17.000 de fire de rosii pe ora(puse in acelasi tip de tavi).

Zonele principale de interes

In acest proiect ne-am focusat pe o structurare cat mai liniara a fluxului logistic prin care trece planta. In Fig.1 se poate observa drumul pe care il urmeaza floarea, din stadiul de samanta ,pana cand aceasta este destul de mare pentru a putea fi vanduta catre distribuitori.



Fig.1 Imagine explicativa a aranjarii zonelor de interes

2.1.1 Zona 1. Semanat

Aceasta zona este cea mai mica ca dimensiune dar are cele mai mari anexe. In cadrul acesteia se gasesc(Fig.2):

- 1.Unitatile automate de dozat si umplut tavi cu substrat
- 2.Sistemele de semanat automat(URBINATI Alfa – Seeding Line)
- 3.Depozit cu substrat si tavi de semanat

4. Depozit cu seminte din soiul florilor cultivate

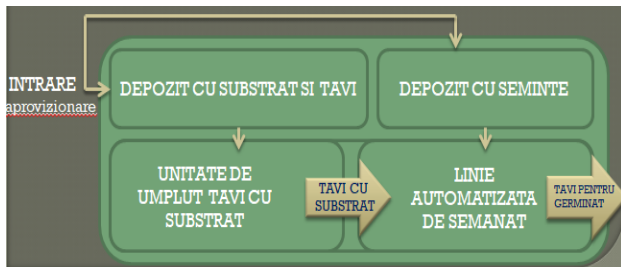


Fig.2 Imagine explicativa a aranjarii sistemelor automatizate si a anexelor din ZONA 1- Semanat

In Fig.2 sistemul de semanat si cel de umplut cu substrat sunt separate, pentru a putea explica mai bine procesele mecanice care apar in fiecare sectiune, dar in realitate, unitatea produsa de cei de la Urbinati, este conceputa sa fie un flux continuu, fara ca tava sa trebuiasca sa fie mutata de pe un conveyor pe altul, sau de la un sistem la altul(Fig.3).

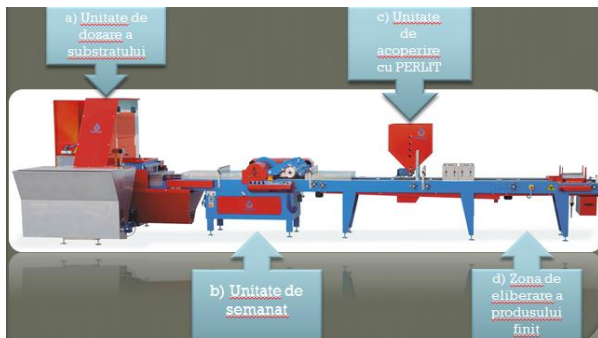


Fig.3 imagine explicativa a modului in care este structurat sistemul automat de semant Urbinati ALPHA

In acest sistem procesele sunt in ordinea urmatoare:

1. Un conveyor aduce din depozitul de tavi, un set de 100 de bucati din tavile de 200 de celule(Fig.4)



Fig.4 Captura de ecran in care se poate observa sistemul de dozare a tavilor

2. Tavile din plastic sunt separate una cate una si sunt umplute cu substrat steril, pregatit cu un Ph care sa ajute la cresterea florilor(Fig.5).



Fig.5 Captura de ecran in care este reprezentata o tava completata cu substrat

3. Tavile umplute urmeaza a fi presate in centrul celulelor pentru a ajuta la centrarea semintelor in mijlocul celulei. Aceasta adancitura ajuta si la pastrarea apei in celula in timpul udarii(fig.6).



Fig.6 Captura de ecran in care este reprezentata o tava dupa procesul de presare a substratului in celulele tavii

4. După presare, tavile ajung sub unitatea de semant propriu-zisa, care este formata dintr-un tambur rotativ(Fig.7), gaurit care este conectat la un sistem de vacum. Cand o gaura din tambur trece prin dreptul unei seminte(Fig.8), aceasta trage samanta si o tine pana cand aceasta ajunge in dreptul unei celule goale.



Fig.7 Captura de ecran in care este reprezentat sistemul de semant de tip tambur



Fig.8 Captura de ecran in care este reprezentata tava vibratoare din care se dozeaza semintele

5. La final, tavile cu seminte sunt acoperite cu un strat de PERLIT(o roca care nu incomodeaza cresterea plantei si mentine umiditatea pe durata germinarii) (Fig.9).

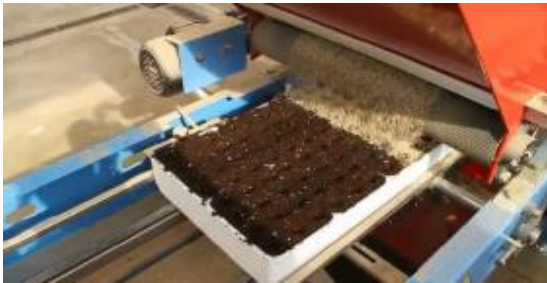


Fig.9 Captura de ecran in care este reprezentat procesul de acoperire cu PERLIT(nisipul alb)

6. Dupa acoperirea cu PERLIT, tavile sunt trimise in germinator, urmand ca acestea sa stea acolo aproximativ 7-10 zile.

2.1.2 Zona 3. Transplantat

Aceasta zona(Fig.10) contine 3 unitati automate, produse de URBINATI si VISSER, motiv pentru care este destul de voluminoasa desi este o zona cu o durata de utilizare mai mica decat cea a germinatorului si cea a depozitului final.

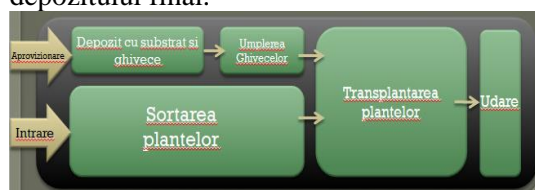


Fig.10 Imagine explicativa a amplasarii sistemelor automate din ZONA 3 - Transplantare

Fluxul logistic prin care trece planta este urmatorul:

1. Aceasta trece prin unitatea automata VISSER Select-O-Mat III care are rolul de a sorta plantele in functie de numarul de frunze, inaltime, si latime(Fig.11). In urma

acestui proces, avem certitudinea ca la final vom avea cele mai sanatoase si frumoase flori.



Fig.11 Captura de ecran in care se pot observa

6 plante de diferite dimensiuni, care sunt analizate de o camera(stanga sus)



Fig.12 Captura de ecran in care se poate observa sistemul cu tije, care are rolul de a inalta plantele din celulele tavilor, urmand ca acestea sa fie analizate de camerele si senzorii sistemului.



Fig.13 Captura de ecran in care se poate observa mecanismul care apuca planta si o duce catre tavile cu plantele deja sortate.



Fig.14 Captura de ecran cu plantele sortate

2. Plantele selectate urmeaza a fi transplantate din tavi in ghivece umplute de unitatea automata URBINATI IA 2400(Fig.15).Acestea sunt transplantate de catre VISSER PC-11, care poate transplanta intre 4000 si 7000 fire pe ora , in ghivece cu dimensiuni de la 8 pana la 22 de cm(Fig.16).



Fig.15 Imagine reprezentativa a sistemului de umplere a ghivecelor cu substrat



Fig.16 Imagine reprezentativa a sistemului de transplantare



Fig.17 Captura de ecran in care se poate observa mecanismul care apuca plantele si le duce catre ghivecele umplute cu substrat.



Fig.18 Captura de ecran in care se pot observa plantele in momentul in care sunt eliberate in ghivece.

3 CONCLUZII

In urma automatizarii acestor 2 procese principale, se va observa o imediata crestere si accelerare a productivitatii dar cel mai important, izolarea plantelor de mediul exterior are rolul de a reduce numarul de plante bolnave, slab dezvoltate, cu carente sau care au fost arse din cauza conditiilor nefavorabile de lumina.

Luand in considerare ca acest concept a fost creat pe baza unor informatii concrete si cu sisteme care pot fi gasite la ora actuala in comert, toate facilitatile si avantajele prezentate mai sus pot fi observate imediat cu implementarea acestui sistem.

4 MULȚUMIRI

Nechifor Daniela Corina, director al ROSEEDS

Nechifor Cristian Constantin, asistent de cercetare

Saroiu Andrei, inginer horticol

5 BIBLIOGRAFIE

- [1].<http://en.urbinati.com/product/seeding-line-alfa/> - Accesat la 07.05.2017
- [2].<http://en.urbinati.com/product/potting-machine-ia-2400/> - Accesat la 07.05.2017
- [3].<https://www.visser.eu/vision-grading-machines/select-o-mat/> - Accesat la 07.05.2017
- [4]. <https://www.visser.eu/plug-transplanters/pc-11/> - Accesat la 07.05.2017

SISTEME AUTOMATIZATE DE DEPOZITARE PENTRU CREȘTEREA ÎN MEDIU CONTROLAT A FLORILOR DE GHIVECI

SERAFIMESCU Silviu Cristian, NECHIFOR Ionuț Alexandru

Conducători științifici: Conf.dr.ing. ENCIU George, As.dr.ing. POPESCU Adrian

Rezumat: Aceasta lucrare are ca scop prezentarea conceptului de depozitare și aplicarea acestuia în domeniul horticulturii. Depozitul reprezintă locația unde marfurile sunt transportate în timp și nu în spațiu. Printre principalele funcții ale depozitelor se regăsesc funcțiile de primire a produselor, de depozitare/pastrare a produselor, de comisionare și de expediere a produselor.

Cuvinte cheie: Depozitare, Sisteme automatizate, Horticultura, Germinator;

1. INTRODUCERE.

Prezenta lucrare are ca scop automatizarea sistemelor de depozitare a florilor de ghiveci iar acest țel a fost realizat prin contopirea unor sisteme și masinării deja existente pe piață.

2. STADIUL ACTUAL AL CONCEPTULUI DE DEPOZITARE.

Depozitarea a fost inițial considerată o activitate necesară dar generatoare de costuri, conceptual modificându-se substanțial pe parcursul secolului XX, ajungând ca pentru secolul XXI să se considere ca obiectiv ideal în privința depozitării, reducerea neîntreruptă a stocurilor de marfuri care nu se află în mișcare, până când se va realiza o mișcare cvasi-continua. Scopul final va fi înlăturarea necesității de a depozita, în orice punct al rețelei, inclusiv între unitățile de producție, între acestea și clienți.

¹Specializare: Logistica Industrială; Facultatea: I.M.S.T

E-mail: silviuserafimescucristian@gmail.com

Depozitarea marfurilor se va modifica în viitor, sub influența mutațiilor din domeniul relațiilor cu furnizorii, al producției și al distribuției.

Amplarea schimbărilor din domeniul depozitării va depinde în secolul XXI, de capacitatea de inovare a managerilor logistici, pentru creșterea eficienței activității și a nivelului de servire a clienților.

3. CONȚINUTUL LUCRĂRII

3.1 Conceptul de depozitare

Depozitarea marfurilor, respectiv stocarea acestora, este strâns legată de procesele de transport.

Activitățile de extracție și prelucrare a materiilor prime, a semifabricatelor se desfășoară, de regulă, în localități diferite, situate la anumite distanțe unele de altele. În plus, există de regulă un anumit interval de timp între terminarea unui proces de producție și începutul altuia.

O parte din acest timp este afectată transportului, iar cealaltă este consumată cu operațiuni pregătitoare: expediere, întocmire a documentelor de transport, încărcare – descărcare, depozitare etc.

Depozitarea marfurilor este echivalentă cu un transport în timp al acestora și nu în spațiu. Ea constituie o componentă importantă a distribuției marfurilor, iar necesitatea depozitării și durata acesteia sunt determinate de condiții naturale, economice și alte considerente.

Depozitarea se poate realiza pe o perioadă mai mare de timp sau produsele se pot afla în tranzit. Există, de asemenea, o mare varietate de aspecte legale și de natură financiară, toate presupunând alegerea de informații și găsirea de alternative care să permită integrarea eficientă a depozitării în lanțul logistic.

Rolul și dezvoltarea depozitelor de marfuri trebuie să aprofundeze ținând cont de necesitățile actuale și de viitor ale economiei naționale, pornind de la concluziile unei ample și exigente

analize a rețelei de depozite existente, concomitent cu aplicarea rezultatelor pozitive, rod al tendințelor moderne care se manifesta pe plan mondial in acest domeniu.

3.2 Depozitarea florilor de ghiveci

Depozitarea acestor flori se face in doua depozite diferite:

Depozitul de germinatie (Germinatorul):

-in acest depozit florile petrec aproximativ 7-10 zile;

-parametrii ambientali sunt continuu verificati si optimizati pentru a facilita cresterea cat mai rapida a plantelor;

Depozitul final:

-acest depozit are rolul de a stoca plantele pana ce acestea se maturizeaza si sunt livrate catre clienti.

3.3 Germinatorul

Factorii de mediu sunt foarte importanti pentru declansarea proceselor de inradacinare si regenerare a noilor plante.

Fiecare specie are temperatura ei optima, valorile fiind cuprinse intre 15–16 grade Celsius (la Garoafa si Fuchsia, de exemplu) si 25–28 grade Celsius (la Croton si Ficus).

Temperatura din substrat trebuie sa fie cu doua-trei grade mai mare decat cea din atmosfera pentru ca acele seminte sa germineze. Diferenta se asigura amplasand sursele de incalzire sub recipientele in care s-au plantat acele seminte.

Germinatorul reprezinta o incinta special creata pentru a supraveghea si controla acesti factori de mediu.

Acesta este dotat cu pereti izolati termic si usi glisante automatizate si un sistem de depozitare, bazat pe conveioare cu role.



Fig. 1. Conveior cu role

Pentru a identifica si inregistra lotul din care fac parte tavile se foloseste un cititor de coduri de bare.

Pentru a se inregistra si modifica parametrii de crestere se folosesc senzori de umiditate, senzori de temperatura rezistenti la umiditate, un sistem de climatizare si un sistem de umidificare cu apa si ingrasamant foliar, cu pulverizare mecanica.



Fig. 2. Senzor de temperatura

3.4 Depozitul final

Are rolul de a stoca florile pana ce acestea se maturizeaza si sunt livrate catre clienti.

Sistemele de inregistrare si modificare a umiditatii si temperaturii sunt asemanatoare cu cele de la Germinator.

Sistemul de depozitare este unul de tip ASRS(Automatic Storage and Retrieval System).

Irigarea si hranirea florilor se realizeaza printr-un sistem de irigare prin picurare.

Sistemul de iluminat este automatizat si foloseste lampi speciale, ce se regasesc in fiecare celula a stivei, si programe de crestere preinstalate in sistem.

Prin modificarea lungimii de unda si a intensitatii luminoase se pot influenta atat inaltimea plantei cat si modul de inflorire al

acesteia. De exemplu, lumina roșie face plantele să devină înalte, în timp ce lumina albastră, atunci când este folosită singură, poate provoca o creștere mica, îndesata.

Pe lângă aspectele creșterii plantelor datorită fotosintezei, este important ca la proiectarea unui sistem de iluminare să se ia în considerare și cerințele spectrale ale fotomorfogenezei plantei. Fotomorfogeneza – schimbări morfologice induse de lumină într-o plantă – este reglementată în principal de tipul de fotoreceptori: phytochrome, cryptochrome și phototropin.

Prin orientarea acestor fotoreceptori la anumite lungimi de undă, producătorii sunt în măsură să obțină modificări morfologice în instalațiile lor (ex. inducerea și suprimarea de flori, înălțimea coronamentului, distanțele inter nodale pentru frunze etc).

Realizarea iluminării corecte ce corespunde fotomorfogenezei unei plante este numită “suficiența fotomorfogenezei”, necesară pentru a induce rezultatele vizate. Sistemele de iluminat cu LED-uri maximizează utilizarea energiei la iluminat.

Nivelul de lumină necesar pentru orice plantă poate fi cunoscut din literatura de specialitate publicată sau poate fi determinată de cerințele de lumină cunoscute ale plantelor cultivate (ex. plin soare, parțial soare, umbră, etc).

Dacă iluminarea de bază folosește lumina solară, nivelul de iluminare suplimentară trebuie să fie doar o fracțiune din nivelul complet de lumină, în timp ce nivelurile de lumină fotoperiodice (noapte lungă, zi lungă, zi neutră) pot fi chiar mai mici.

În domeniu sunt folosite cu preponderență lampile de tip LED deoarece acestea au următoarele avantaje ce le diferențiază de lampile normale.

Consum redus de energie – Becurile normale folosite în creșterea plantelor consuma între 100W și 1000W. Becurile LED pentru creșterea plantelor folosesc maxim 10W - ceea ce le face cele mai eficiente produse de iluminat disponibile pe această piață. LED-urile pentru creșterea plantelor sunt perfecte pentru a fi folosite în conjunctură cu energia solară sau eoliană. –

Stropire mai rară – Folosind LED-uri pentru creșterea plantelor, acestea vor transpira mai puțin, prelungind astfel perioadele dintre ciclurile de stropire. În cazul în care lipsiți de la domiciliu și plantele dvs rămân neingrijite pentru mai multe zile, acestea vor avea șanse de supraviețuire în plus fiindcă lumina de creștere nu le va usca. –

Durata de funcționare foarte mare – LED-urile pentru creșterea plantelor au durata de funcționare de 10-20 de ori mai mare decât becurile normale ce se folosesc în creșterea plantelor. Durata de viață a acestora este de 10 ani de funcționare 24/7 cu degradare minimă a calității sau cantității luminii –

Nu degaja căldură – LED-urile pentru creșterea plantelor degaja cantități infime de căldură și nu necesită ventilatoare sau coolere zgomotoase precum necesită soluțiile normale de pe piață. –

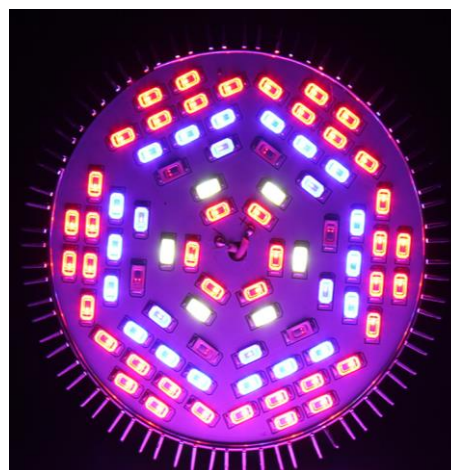


Fig. 3. Lampa LED pentru horticultura

Sistemul de irigație are rolul de a hidrata și hrăni florile atât pe perioada în care acestea se dezvoltă, cât și pe perioada de așteptare până la expediția acestora către clienți. El este poziționat pe partea superioară a celei de depozitare iar irigația se face prin picurare.

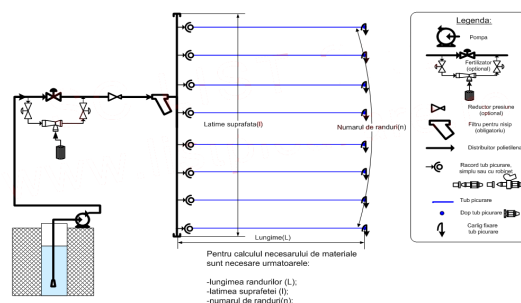


Fig. 4. Schematica sistemului de irigat

Pentru o eficiență cât mai mare a sistemului de depozitare, fiecare celulă din stivă este prevăzută cu un microîntrerupător cu manetă/limitator de cursă ce acționează sistemul de iluminat și cel de irigat al celei, astfel cele două sisteme sunt funcționale doar atunci când în interiorul celei este prezentă o tavă cu ghivece florale.



Fig. 5. Limitator de cursă

Spre deosebire de Germinator, depozitul final mai conține și un sistem de detectare a gazelor din încălț, bazat pe senzori electrochimici de gaze ce pot acționa sistemul de ventilație îndată ce se detectează o schimbare semnificativă a chimiei gazelor.

La baza senzorilor electrochimici stă utilizarea unei membrane poroase (în mod obișnuit PTFE) sau un sistem capilar care permite gazelor să difuzeze într-o celulă care conține electrolit sub formă de gel sau lichid și electrozi.

Configurarea exactă variază în funcție de producător și de elementul măsurat. Atunci când gazul vine în contact cu electrolitul, se produce o schimbare de potențial între electrozi.

Circuitul electronic asociat va măsura, amplifica și controlează semnalul electronic. Deoarece reacția este proporțională cu concentrația gazului prezent (presiune parțială), semnalul este ușor tradus în părți pe milion, procent sau ppm/h și citit pe display sau stocat în circuitele microprocesorului pentru o citire ulterioară.



Fig. 6. Senzor electrochimic de gaze

4. BIBLIOGRAFIE

- [1]. <https://biblioteca.regielive.ro/referate/chimie-anorganica/senzori-electrochimici-74705.html>- Accesat la data: 07.05.2017
- [2]. <http://en.urbinati.com/product/germination-cells/>- Accesat la data : 07.05.2017
- [3]. <https://ro.scribd.com/doc/25999550/Depozit-area-marfurilor-> Accesat la data :07.05.2017
- [4]. <https://www.visser.eu/automated-packaging-systems/econo-carts-loader/>-Accesat la data : 07.05.2017
- [5]. <http://stamh.com/ro/products/automatizare-transport/sisteme-automatizate-de-depozitare-pentru-pale%C5%A3i/> -Accesat la data: 07.05.2017
- [6]. <http://www.cemat.de/exhibitor/transnorm-system/124792>-Accesat la data: 07.05.2017
- [7]. <http://electronica-azi.ro/2013/11/05/iluminatul-cu-led-uri-stimuleaza-cresterea-plantelor/>-Accesat la data: 07.05.2017
- [8]. http://plantphys.info/plant_physiology/light.shtml-Accesat la data: 07.05.2017
- [9]. <https://goo.gl/TjmZ2o>

SISTEME DE ALIMENTARE TRANSPORT-TRANSFER A PRODUSELOR DE TIP GHIVECE CU FLORI

NECHIFOR Ionut Alexandru, TOMESCU Denisa-Elena

Conducatori stiintifici: Conf. Dr. Ing. **George ENCIU**, Asist. Dr. Ing **Adrian POPESCU**

REZUMAT: Lucrarea este bazata pe realizarea documentatiei in ceea ce priveste, alimentarea, transportul, dar si transferul unor fluxuri de produse de tip ghivece cu flori.

Initial, va voi prezenta aspecte generale referitoare la sistemele de alimentare transport-transfer, iar mai apoi ma voi axa pe cel mai eficient sistem automatizat de transport-transfer.

CUVINTE CHEIE : transport, transfer, conveior, sera, automatizat

1. Introducere

Pentru automatizarea fluxului de productie, cat si pentru optimizarea fluxului de produse este necesara folosirea unor sisteme automate de transport-transfer.

Conveioarele sunt utilizate in aproape toate ramurile de activitate industriala, constituind o solutie de transport produse in flux.

Desi sunt cunoscute sub diferite denumiri, cea mai corecta denumire din punct de vedere tehnic este cea de « conveior ».

Desi pot arata diferit ele indeplinesc aceeasi functie: aceea de a transporta produsele din punctul A in punctul B.

In functie de produsul transportat, conveioarele pot fi montate la nivelul solului, intr-un buncar (pentru a nu impiedica alte fluxuri) sau suspendate de tavan.

Exista mai multe tipuri de conveioare:

- conveioare cu role plate
- conveioare cu role cilindrice lungi
- conveioare cu banda

- conveioare cu banda conveioare de tip cart tractate prin podea



Fig. 1. Flux logistic

Conveioarele cu role sunt eficiente la transportul produselor cu greutate mare si pot fi neantrenate (gravitationale) sau antrenate.



Fig.2 Conveior cu role

Cea mai intalnita forma de conveior este cea cu banda, acesta fiind indicat pentru transportul produselor cu greutate medii si mici.



Fig.3 Conveior cu banda

Conveiorul cu lant functioneaza pe acelasi principiu ca si al celui cu banda doar ca in aceasta situatie produsul in loc sa fie transportat pe o banda el este asezat direct pe un lant care poate fi metalic sau din rasina sau un plastic dur.



Fig. 4 Conveior cu lant

Transportul produselor pe verticala se realizeaza cu ajutorul lifturilor, a transportoarelor inclinate care au montate cupe sau racleti.

Anumite tipuri de produse necesita un tratament specific. Pentru acestea se folosesc benzi metalice speciale.

Deplasarea materialelor intre depozit si sistemul de fabricatie si invers, respectiv intre doua sisteme de fabricatie oarecare, se realizeaza in conditiile unui sistem de productie "clasic" folosindu-se

camioane, electrocare, carucioare, vagoane, electro- si / sau moto-stivuitoare, conveioare.

2. Stadiul actual

Pana in acest moment am realizat documentatia referitoare la alimentarea, transportul, dar si transferul unor fluxuri de produse de tip ghivece cu flori. Initial sunt prezentate cateva aspecte generale, iar mai apoi va fi prezentat cel mai eficient sistem automatizat de transport-transfer.

¹Specializarea Logistica Industriala, Facultatea IMST

E-mail: denisatomescu97@yahoo.com

2.1. Prezentarea liniilor de transport

Pentru optimizarea liniilor de transport a produsului, mai exact a ghivecelor cu flori, din/sau spre o anumita zona se vor utiliza mai multe conveioare cu banda.

In conceptul serei automatizate exista 6 linii de transport :

- intre zona de semanat si depozitul 1 ;
- intre depozitul 1 si zona de transplantat ;
- intre zona de transplantat si depozitul 2 ;
- intre depozitul 2 si zona finala de transplantare ;
- intre zona finala de transplantare si depozitarea finala ;
- intre depozitarea finala si zona de eliberare catre vanzatori.

2.2. Conveiorul TS 5

Fiecare producator are nevoie de solutii de automatizare modulare, cu un grad inalt de configurabilitate, pentru a putea reduce timpul de inginerie si costurile operationale. Astfel, cel mai eficient sistem de transport transfer, ce poate fi utilizat in

cadrul serei automatizate este conveiorul TS 5.

Acest conveior este alcatuit din componente standardizate, care pot fi adaptate diferitelor tipuri de aplicatii de asamblare. Ghivecele/tavile pot fi transportate pe paletele port-ghivece sau direct pe sistemul cu role.

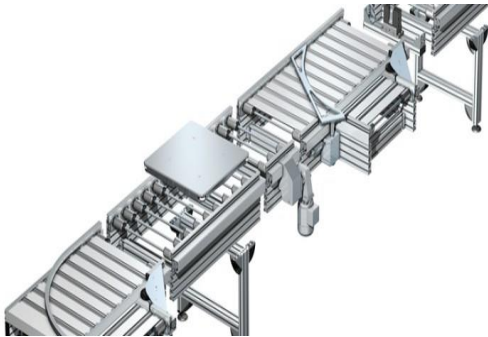


Fig.5 Conveior TS 5

Paletel port-ghivece este un sistem modular care consta in: corp de baza, placa suport, elemente de amortizare si buc se de pozitionare. Prezinta role amplasate pe laturile paletel pentru a reduce frecarea in special in curbe, la contactul cu elementele de deviere.

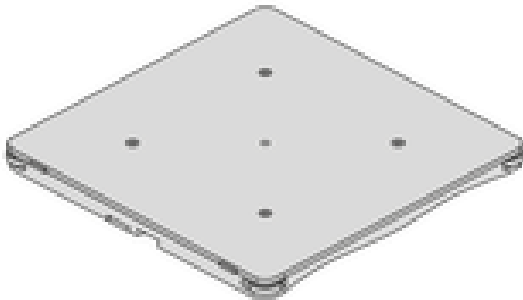


Fig.6 Paleta port-ghivece

In cazul separarii sau modificarii directiei (curbe, trecerea catre transportul transversal), trebuie acordata atentie pozitiei centrului de greutate al incarcarii pe paleta port-ghivece. La interiorul si la exteriorul suprafetei paletel port-ghivece in directia

longitudinala a conveiorului exista opritoare (stop gate).

Separatorul este cel care opreste paleta port-ghivece. Rolele din sectiunile conveior sint conduse printr-un arbore principal amplasat sub nivelul de transport. Pentru schimbarea directiei paletel port-ghivece sunt utilizate curbele. Pornirea si oprirea acestor module se face cu actionare separata prin arborele principal.

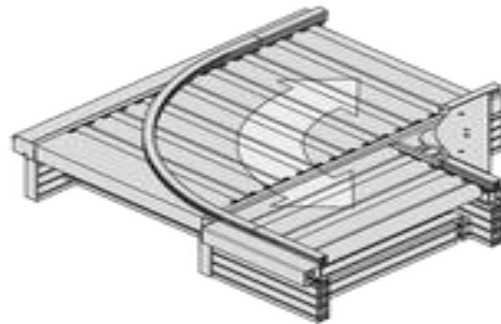


Fig.7 Curba folosita la schimbarea directiei de mers a paletel

Liftarea, ridica paleta port-ghivece si o muta transversal fata de directia conveiorului prin intermediul unei sectiuni cu bande antrenante.

Pe langa separatoare este necesara si folosirea unor amortizoare, utilizate pentru oprirea amortizata a paletel port-ghivece.

2.3. Beneficiile utilizarii unui astfel de conveior

- Consum de energie scazuta;
- Design modular- instalare usoara si rapida, costuri reduse de mentenanta;
- Usurinta transportului intre zonele propriu-zise ale serei;
- Transport eficient din punct de vedere energetic.

2.4. Conveiorul din otel

Este un conveior compact si solid, ce poate transporta cu usurinta ghivecele cu flori.

Format dintr-o curea de PVC, cu doua plase de poliester foarte rezistente, un inel inchis cu articulatii si un ghidaj de trapez central in partea de jos.

Viteza de deplasare poate fi aleasa in functie de dorinta utilizatorului.



Fig.8 Conveior din otel

Acestuia i se pot atasa atat un suport pentru tava/ghivece reglabil, cat si roti de transport.

2.5. Conveiorul din aluminiu

Un avantaj al conveiorului din aluminiu, fata de cel din otel, consta in posibilitatea de a regla inaltimea conveiorului dupa bunul plac, fiind dotat cu picioare de sprijin ajustabile



Fig.9 Conveior din aluminiu

3. Concluzii

Asadar, de-a lungul celor 6 linii de transport din cadrul serei automatizate pentru transportul produselor de tip ghivece cu flori se vor folosi sisteme flexibile de fabricatie, conveioare cu role si palete suport-ghivece.

In urma cercetarii am realizat documentatia referitoare alimentarea, transportul, dar si transferul unor fluxuri de produse de tip ghivece cu flori.

4. Bibliografie

- www.boschrexroth.com Accesat la data : 27.04.2017
- www.selftrust.ro Accesat la data : 02.05.2017
- www.mach.ro Accesat la data : 05.05.2017
- en.urbinati.com Accesat la data: 05.05.2017

STUDIU TEORETIC PRIVIND TIPURILE DE SISTEME DE SORTARE ȘI ÎMPACHETARE

MITROI Viorel-Ionuț-Marius

Conducători științifici: Conf.dr.ing. **George ENCIU**, As.dr.ing. **Adrian POPESCU**

REZUMAT: Împachetarea are un impact semnificativ asupra eficienței și eficacității lanțurilor de aprovizionare, în care îmbunătățirile pot fi realizate prin adaptarea și dezvoltarea conceptului de împachetare logistică. Pentru a realiza aceste îmbunătățiri, modelele trebuie să faciliteze evaluările de-a lungul lanțului de aprovizionare și să arate activitățile implicate în procesul de împachetare logistică. Cunoașterea și conștientizarea importanței și potențialul activităților logistice de împachetare de-a lungul lanțului de aprovizionare este scăzut.

CUVINTE CHEIE: sortare, împachetare, logistica, sistem

1 INTRODUCERE

Bunurile materiale sunt transportate, manipulate și depozitate ca încărcături unitare paletizate, încărcături unitare containerizate, încărcături unitare nepaletizate și bunuri materiale în vrac. Manipularea bunurilor materiale reprezintă un sistem tehnologic modern de grupare, ambalare, depozitare și manevrare, în vederea aprovizionării, transportului și distribuției acestora.

2 STADIUL ACTUAL

Cu toate că împachetarea este recunoscută ca având un impact semnificativ asupra eficienței sistemelor logistice (Twede, 1992; Ebeling, 1990; Lockamy, 1995) și activităților, cum ar fi producția, distribuția, stocarea și manipularea pe tot parcursul lanțului de aprovizionare, multe costuri care depind de împachetare în sistemul logistic sunt adesea trecute cu vederea de proiectanți.

Împachetarea logistică este un concept destul de nou, care are în ultimii ani dezvoltat și a câștigat o atenție sporită din partea industriei și comunității științifice. Conceptul de logistică de împachetare se axează pe sinergiile obținute prin integrarea sistemelor logistice de împachetare cu potențialul de a crește eficiența și eficacitatea lanțurilor de aprovizionare, prin îmbunătățirea activităților logistice de împachetare.

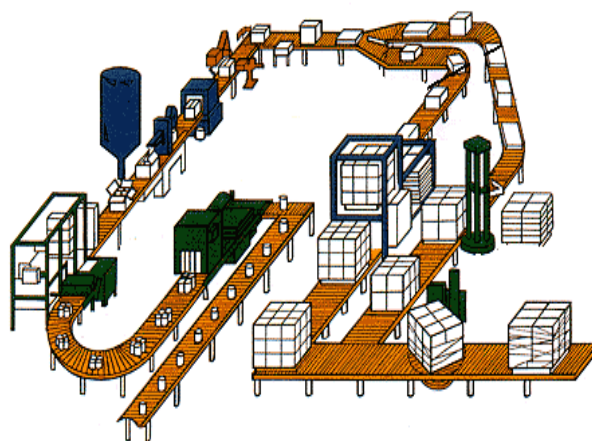


Fig. 1. Flux de Împachetare

2.1 ÎMPACHETAREA

Împachetarea este un sistem coordonat de pregătire a mărfurilor pentru o manipulare sigură, eficientă și eficace, pentru transport, distribuție, depozitare, de consum și de recuperare, re folosire.

2.1.1 Clasificare

Împachetarea poate fi clasificată drept primară, secundară sau terțiară, care reflectă nivelurile de împachetare.

Aceste definiții ar trebui să fie utilizate împreună cu luarea în considerare a împachetarilor ca sistem, cu niveluri ierarhice (Figura 2). Această abordare evidențiază interacțiunea naturală dintre diferitele niveluri de împachetare și facilitează înțelegerea interdependenței lor.

¹ Specializarea Logistica Industrială, Facultatea IMST;
E-mail: marius_mitroi@ymail.com;

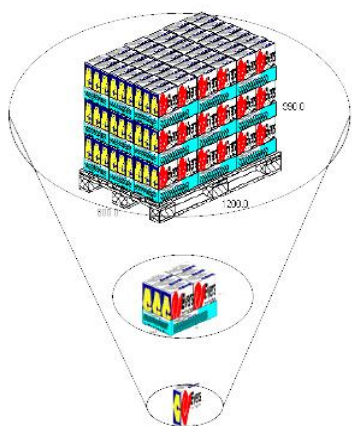


Figura 2. Niveluri de împachetare

Prin urmare, se poate susține, că performanța sistemului de împachetare este afectată de performanța fiecărui nivel și interacțiunile dintre aceste niveluri.

Adesea sunt utilizați mulți termeni pentru a descrie același tip de împachetare, care este văzut din diferite aspecte. Acest lucru complică înțelegerea domeniului de aplicare a sistemului de împachetare și nu facilitează comunicarea între diferite funcții și discipline.

Dominic definește împachetarea logistică ca “O abordare care are ca scop dezvoltarea unor pachete și sisteme de împachetare, în scopul de a sprijini procesul logistic și pentru a satisface cerințele clienților / utilizatorilor.”

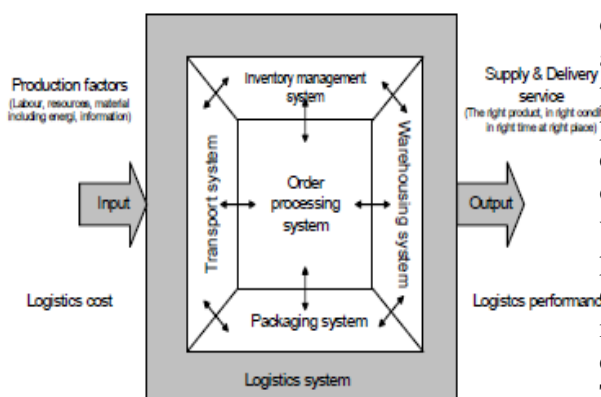


Figura 3. Sistem logistic și componentele acestuia

După cum arată Figura 3, sistemul de împachetare este considerat ca fiind unul dintre celelalte subsisteme logistice ca sistemul de transport, sistemul de gestiune a stocurilor, sistemul de procesare a comenzilor și a sistemului de depozitare. Ballou consideră împachetarea ca o activitate de sprijin pentru logistica de afaceri, în care el o numea „împachetare de protecție”.

2.2 SORTAREA

2.3 TIPURI DE SISTEME

2.3.1 Sistem de sortare și împachetare a oulor

Grupul de societăți Toneli detine cea mai mare și modernă stație de colectare, sortare și ambalare a oulor de consum din România, având o capacitate maximă de sortare și ambalare de 120.000 bucati per ora.

Ouale produse sunt colectate de la fiecare fermă parteneră și depozitate la Packing Center, sortate și ambalate. De aici, ouale sunt livrate atât la nivel național, cât și la export, printr-un sistem modern de distribuție și logistică, bazat pe mijloace auto proprii, conform comenzilor de livrare primite în sistem informatic prin intermediul firmei de distribuție parteneră Toneli Holding.



Figura 4. Colectarea oulor

Cu o capacitate de depozitare de 9 milioane de oua nesortate, stația dispune de o linie complet automatizată, de la sistemul care sortează ouale și până la linia de ambalare. Sistemul de sortare și procesare a oulor are la bază o tehnologie complexă, de ultimă generație, putând realiza operațiuni de mare finete. De exemplu, procesul de verificare a integrității coajilor de ou este realizat printr-un procedeu cu ultrasunete, aparatul putând detecta chiar și cele mai mici fisuri, de ordinul micrometrilor; ouale cu defecte sunt separate de cele intacte și eliminate din fluxul de sortare. Totodată, la randul lor, ouale murdare și fisurate sunt detectate, sortate și eliminate pe benzile setate de operator. Stația de sortare este dotată și cu un detector de culoare a cărui funcție face posibilă identificarea și separarea oulor albe de cele roșii și ambalarea lor în caserole.

Sistemul permite de asemenea detectarea și îndepărtarea oulor cu pete de sange în interior.

Un proces important în fluxul de sortare și ambalare este cel de dezinfectare, în care ouale sunt

dezinfectate cu ajutorul razelor UV, cel mai performant și modern procedeu în materie.



Figura 5. Dezinfectarea oualor



Figura 6. Categoriile de sortare

De asemenea, echipamentul are integrat un modul de sortare a oualor în funcție de greutatea lor, în 4 categorii importante. (Figura 6)

După ce sunt sortate în funcție de greutate, ele sunt dirijate către cele 12 linii automate de ambalare în caserole, respectiv în cofraje.

Procesul de ambalare este, de asemenea, complet automatizat. Mașina de ambalare este compusă din 12 linii distincte de ambalare (la caserola – conținând 4, 6, 8, 10 sau 15 oua; respectiv la cofraj (diferite tipuri) – conținând 20 sau 30 de oua). Ambalajele asigură integritatea produselor, acestea fiind compacte și protejând produsele de lovituri.



Figura 7. Categoriile de ambalare



Figura 8. Procesul de ambalare



Figura 9. Ambalarea oualor

Procesul de ambalare individuală se finalizează cu operațiunea de ambalare în cutii colective. La capătul liniei de ambalare este montat un cititor de bare care are rolul de a separa ambalajele individuale pe traiectorii diferite pentru a putea intra în procesul de paletizare. Acest proces este de asemenea automatizat în totalitate, intervenția umană lipsind, operațiunea fiind realizată prin intermediul a doi roboți ce au instalate programe speciale de paletizare, putând executa simultan 6 tipuri diferite de paletizări.

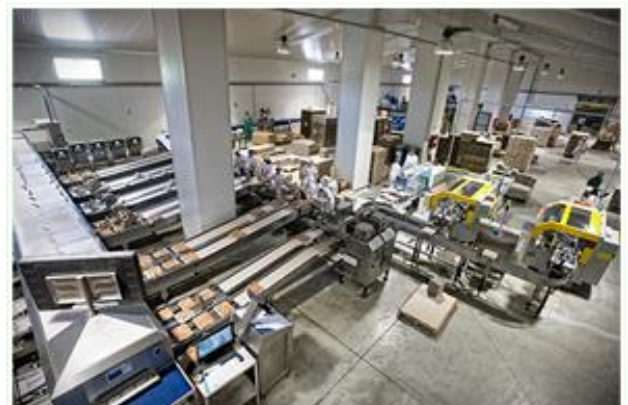


Figura 10. Ambalarea în cutii

2.3.2 Sistem de sortare și împachetare a cartofilor

Tehnologia este îmbunătățită în sensul în care liniile au dimensiuni reduse și flexibile, iar pentru a ocupa cât mai puțin spațiu, elevatorul a fost plasat deasupra buncărului de încărcare, iar mașinile dotate cu perii pentru a curăța impuritățile, precum și sitele tip rolă, au fost amplasate pe platforme.

Suprafața de sortare a mașinilor olandeze este echipată cu un transportor instalat în unghi de 90°, pentru a beneficia de o alegere adecvată. Role de mărimi diferite pot fi selectate de la centrala PLC echipată cu ecran tactil, ceea ce înseamnă flexibilitate maximă pentru operator. Linia de spălare constă într-o mașină de spălat cu tamburi și

o masina de polisat activă pentru a obține cel mai bun rezultat posibil de curățare a produsul final.

Linia de uscare este format din 3 masini de periaj cu transportoare tip “dute-vino” incluse. În acest fel perii pot trece înainte și înapoi, parțial sau total, prin alunecarea transportorului pe periile din interiorul aparatului. Această invenție face posibil ca utilizatorul final să modifice intensitatea periaj.

Echipamentul de cântărire format din 16 găleți combinate asigură o acuratețe maximă și cantitatea necesară pentru 2 masini automate de ambalare. Cartofii vor fi ambalați în pungi de 2,5 kg, precum și în saci de 20-25 kg. Sacii vor fi stivuiți automat și înfășurați pe un palet pentru a fi pregătiți pentru transport. Linia de sortare și ambalare a cartofilor procesează între 10-15 tone/oră, în funcție de tipul de sortare ales și calitatea produselor.



Figura 11. Sistem sortare cartofi

2.3.3 Sistem de sortare și împachetare a coletelor

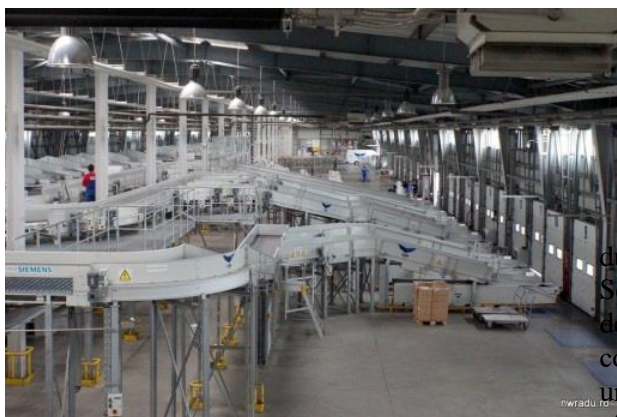


Figura 12. Sistem sortare și împachetare colete

Coletele ridicate din teren sunt încărcate în sistem prin partea dreaptă (figura 12). Acestea sunt cântărite automat și măsurate ca dimensiuni înainte de inducția pe banda principală de sortare. Dacă gabaritul este mult diferit de ce-a declarat clientul

(și ce-a plătit), primește automat o avertizare să fie mai atent.

Coletele ajung pe o bandă principală ce are aproape 400 de segmente. Fiecare segment are o bandă transportoare micută, ce poate repositiona transversal coletul, astfel încât cele cu greutate mai mare (măsurată la pasul anterior) sunt recentrate, că altfel inerția le duce prea spre margine și ar putea cădea de acolo.



Figura 13. Fluxul pentru procesul de sortare



Figura 14. Transportul coletului pentru sortare

Banda care avansează cu 2,3 metri/secundă duce coletele într-un scanner de AWB-uri. Scannerul poate citi AWB-ul din partea de sus sau de pe laterale, iar după scanare computerul care controlează totul are informațiile complete despre un colet: de la cine a venit, unde trebuie să ajungă, cât cântărește, pe ce segment al benzii se află. Acum mai trebuie doar dus la mașina ce pleacă spre aceeași destinație.

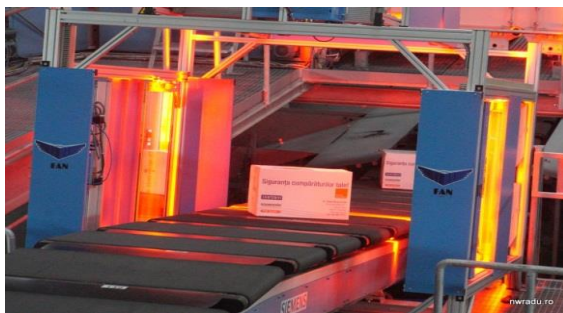


Figura 15. Procesul de sortare

2.3.3.1 Sortarea plicurilor

Plicurile de până în 35 cm sunt puse teanc la intrarea în mașinărie, de unde sunt preluate automat, unul câte unul, și puse pe o bandă transportoare. WB-ul lipit pe plicuri este scanat automat. Sistemul află astfel care este destinația plicului din fiecare segment al benzii transportoare. Sub bandă se află cutii de transport, câte una pentru fiecare punct de lucru FAN Courier din țară. Când plicul ajunge în dreptul cutiei corespunzătoare destinației sale, banda de transport se deschide acolo și plicul cade în cutia respectivă.



Figura 16. Sistem de sortare a plicurilor

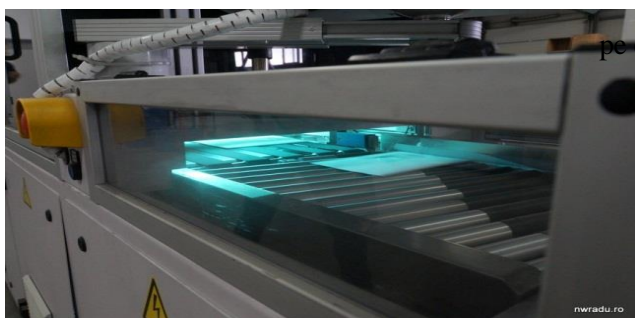


Figura 17. Transportarea plicurilor



Figura 18. Sortarea propriu-zisa

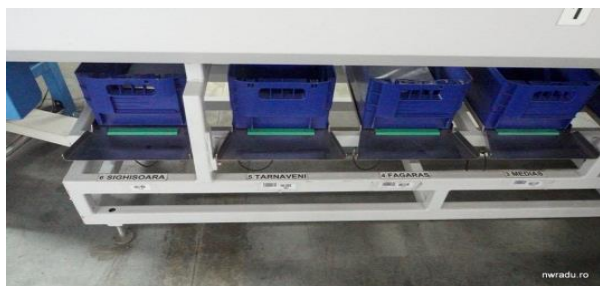


Figura 19. Depozitarea plicurilor dupa procesul de sortare

2.3.4 Sistem logistic de sortare

Sistemul logistic de sortare este format din 7 elemente componente: 1 – conveior cu role de acumulare, 2 – conveior cu role de acumulare, 3 – conveior cu banda de sortare, 4 – conveior cu role de iesire, 5 – conveior cu banda de iesire, 6 – conveior cu banda de iesire, 7 – conveior cu role de iesire.

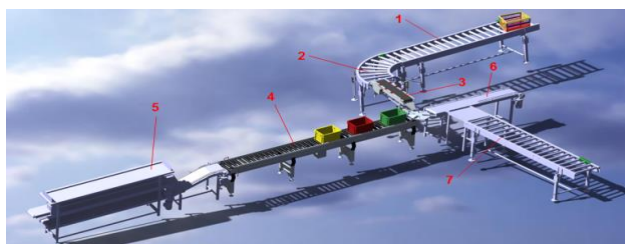


Figura 20. Sistem logistic de sortare si componentele acestuia

Etapele sistem logistic de sortare:

In etapa 1 se realizeaza încărcarea obiectului pe conveiorul de acumulare 1.

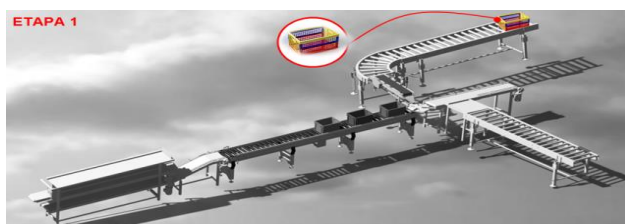


Figura 21. Etapa 1

In etapa a 2- a, dupa incarcarea obiectului pe conveiorul de acumulare, acesta este transportat cu ajutorul conveioarelor 2 si 3 in directia evidentiata.

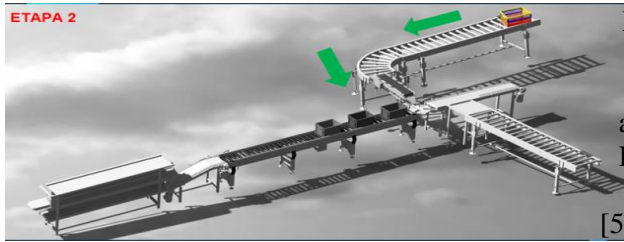


Figura 22. Etapa 2

In etapa 3, obiectul a ajuns pe conveiorul de sortare. Cu ajutorul senzorilor, obiectul este sortat in functie de diferite caracteristici ale acestuia si transportat in cele 4 directii, in functie de caracteristicile sale.

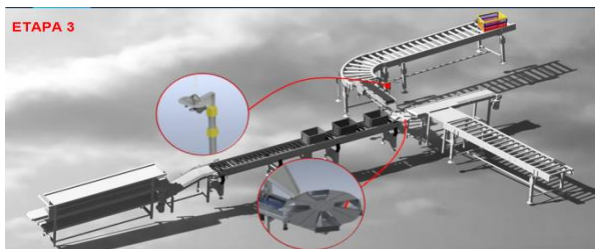


Figura 23. Etapa 3

In etapa 4 si etapa 5 obiectul este transportat in directia corespunzatoare caracteristicilor acestuia.

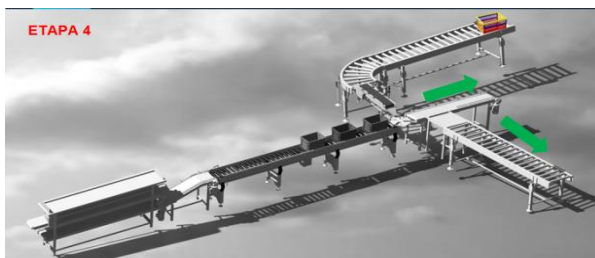


Figura 24. Etapa 4

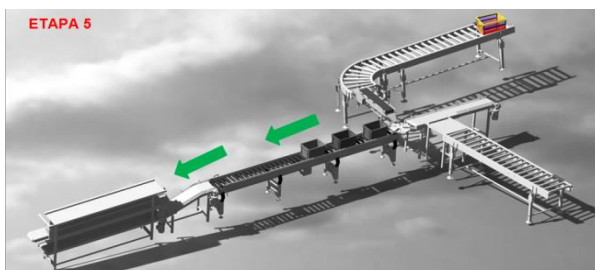


Figura 25. Etapa 5

Förpackningslogistik, 2nd edn. PACKFORSK, Kista, Sweden.

[4]. Dowlatsahi, S. (1999). A modelling approach to logistics in concurrent engineering, *European Journal of Operational Research* 115, 59-76.

[5]. DULOG, Development and Logistics group of the Wholesale and Retail Trade in Sweden., 1997.

[6]. Ebeling C.W. (1990) *Integrated Packaging Systems for Transportation and Distribution*. Marcel Dekker, New York.

[7]. Hellström, D. and Saghir, M., *Framework of Packaging Logistics Activities - In Retail SupplyChains*, In proceedings of IPSERA 2003 Conference, 12-16 April 2003, Budapest.

[8]. Henriksson L. *Packaging requirements in the Swedish retail trade*. 1998. Lund University, Sweden, Department of Engineering Logistics. 1998.

[9]. Johnsson M. *Packaging Logistics -a value added approach*. 1998. Sweden, Lund University.

[10]. Jönson, G., 2000. *Packaging Technology for the Logistician*, 2nd Ed., Lund University.

[11]. Lambert D.M., Stock J.R., & Ellram L.M. (1998) *Fundamentals of Logistics Management*. McGraw-Hill, Singapore.

[12]. Lockamy, A., 1995 *A Conceptual Framework For Assessing Strategic Packaging Decisions*, *The International Journal of Logistics Management*, Vol.6, Issue 1, pp 51-60.

[13]. Merriam, S., B., 1988. *Fallstudien som Forskningsmetod*. Studentlitteratur, Sweden.

Öjmertz B. *Materials Handling from a Value-adding Perspective*. 1998. Sweden, Department of Transportation and Logistics, Chalmers University of Technology.

[14]. Toneli, disponibil la:

<http://www.toneli.ro/packing>. Accesat la data: 07.05.2016

[15]. GrabCAD, disponibil la:

<https://grabcad.com/>. Accesat la data: 06.05.2017

[15]. FanCourier, disponibil la:

<https://www.fancourier.ro>. Accesat la data: 03.05.2017

3 BIBLIOGRAFIE

[1]. Arbnor I. & Bjerke B. (1997) *Methodology for Creating Business Knowledge*, 2nd edn. Sage Publications Inc., USA.

[2]. Ballou R.H. (1998) *Business Logistics Management: planning, organizing, and controlling the supply chain*, 4th edn.

[3]. Dominic C., Johansson K., Lorentzon A., Olsmats C., Tiliander L., & Weström P. (2000)

PROIECTAREA INTERFEȚEI SCADA PENTRU COMANDA ȘI CONTROLUL PLĂTFORMEI PNEUMATICE

GRIGORE Razvan

Conducător științific: Conf. Dr. Ing. **George ENCIU**;
As.Dr.Ing. **Adrian POPESCU**

REZUMAT: Interfata SCADA pentru platforma electro-pneumatica a fost gandita ca o structura care sa permita controlul platformei pneumatice din cadrul laboratoarelor desfasurate ce au drept scop instruirea in domeniul controlului cu automatele programabile. Pentru realizarea interfetei au fost utilizate aplicatii software OMRON: CX-Supervisor si CX-Programmer.

In cadrul interfetei sunt monitorizate procesele de asamblare prin intermediul senzorilor montati in cadrul platformei.

CUVINTE CHEIE: comanda, control, supervizare, achizitie de date.

1 INTRODUCERE

In cadrul lucrarii prezentate sunt exemplificate cateva dintre aspectele luate in considerare in vederea proiectarii unei interfete de tip SCADA pentru platforma electro-pneumatica. Sunt prezentate optiunile si modul in care acestea au putut fi implementate in cadrul interfetei.

2 STADIUL ACTUAL

Un sistem similar utilizat in vederea instruirii utilizatorilor cu privire la automatizarile industriale si modul in care sistemul electro-mecanic si pneumatice pot fi utilizate in scenarii reale este sistemul conceput de intreprinderea "Cristianii". Acest sistem este denumit "mMs" si este un sistem automatizat industrial modular ce are in componenta sa mai multe subsisteme similare celor prezente pe "Platforma Pneumatica.

Printre aceste subsisteme se numara:

- Sistem de transport de tip conveior cu banda;
- Sistem de sortare pneumatic;
- Sisteme de depozitare verticala pentru componente;
- Sisteme senzoristice pentru diferentierea componentelor prezente pe flux;
- Sisteme de depozitare pentru repere;

Sistemul mecatronic prezentat in continuare este un sistem ce simuleaza un proces industrial automatizat. In cadrul procesului automatizat de fabricatie un reper este introdus pe flux pas cu pas pentru un reper de tip cub. Reperul este introdus pe flux, este verificat, este transportat si manipulat, dupa care acesta trece printr-o statie de presare si este depozitat in sistemul de depozitare final.

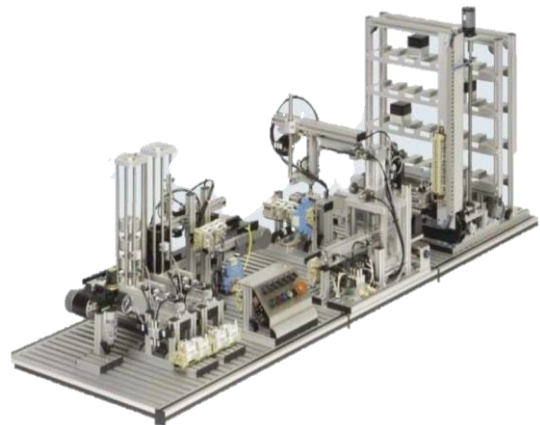


Fig. 2.1 Platforma de asamblare electro-pneumatica realizata de firma Cristianii

Obiectivele sistemului mMS se pot regasi in continuare:

- Planificarea activitatilor si comunicarea;
- Verificarea functionalitatii si mentenanta;
- Prelucarea manuala dar si prin intermediul unor sisteme de prelucrare;
- Modalitati de asamblare si interconectarea subsistemelor de asamblare;
- Programare in limbaj ladder;
- Automatizarea spatiului de lucru.

Sistemul prezentat mai sus este compus din 3 subsisteme interconectabile fiecare utilizat pentru realizarea unui task specific intr-o modalitate complet automatizata.

- Subsistem de transport automatizat de tip conveior;
- Subsistem de asamblare pneumatic;
- Subsistem de depozitare;

¹ Specializarea Logistica Industrială, Facultatea IMST;

E-mail: Grigore.Razvan@outlook.com;

3 INTERFATA SCADA PENTRU PP

3.1 Generalitati

Interfata Scada pentru platforma pneumatica (fig. 3.1) a fost conceputa pentru a putea realiza o legatura dintre componentele industriale ale platformei, automatele programabile si studenti, asadar permitand o mai buna intelegere a conceptelor de programare de tip ladder in domeniul logisticii industriale si a domeniilor conexe.

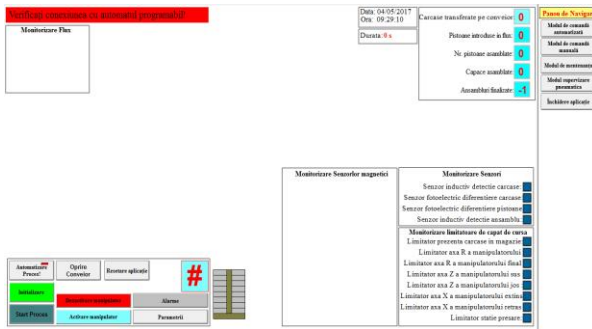


Fig. 3.1 Pagina de control automatizat pentru Platforma Pneumatica

In figura Fig 3.1 este prezentat modul de comanda automatizata. Acest modul este utilizat pentru comanda automata a platformei electro-pneumatice dar totodata pentru monitorizarea parametrilor de flux legati de productivitatea sistemului.

1. Monitorizarea statului conexiunii intre interfata SCADA si automatele programabile;
2. Monitorizarea tipului de reper ce se afla in flux;
3. Panoul de comanda;
4. Modul de monitorizare grafica a capacelor prezente in postul de depozitare de capace;
5. Modul de monitorizare a statusului de activare a limitatoarelor de capat de cursa;
6. Modul de monitorizare a statusului de activare a senzorilor;
7. Meniu de navigare in cadrul interfetei SCADA;
8. Modul de monitorizare a reperelor din cadrul fluxului de asamblare;
9. Modul de monitorizare a datei, orei si a duratei procesului de asamblare;

3.2 Sistemul de comanda

In cadrul sistemului de comanda utilizat in cadrul Platformei Electro-Pneumatice sunt utilizate doua automate programabile marca OMRON.

- CP1E-N40, un automat programabil ce dispune de 24 de porturi de intrare, 16 porturi de iesire iar dintre acestea 2 sunt de

iesire rapida pentru controlul motoarelor pas cu pas.

- CP1E-N20, un automat programabil de dispune de 12 porturi de intrare, 8 porturi de iesire iar dintre acestea 2 porturi de iesire rapida pentru controlul motarelor pas cu pas.

Fata de echipamentele senzorstice deja existente in componenta Platformei Pneumatice au fost adaugati doua senzori magnetici la baza manipulatorului electric pentru a putea realiza o pozitionare mai exacta in timpul executarii programului de functionare.

4 REALIZAREA INTERFETEI SCADA

4.1 Generalitati

Pentru a putea fi realizata o interfata scada a fost realizat un program de comanda utilizand software-ul proprietar OMRON, CX-Programmer. Acest program poate fi utilizat pentru functionarea in mod ciclic a platformei electro-pneumatice.

Pentru realizarea interfetei SCADA, a fost utilizat un software proprietar OMRON, ce face parte din suita CX-One. Acest software se numeste CX-Supervisor.

CX-Supervisor este un software dedicat proiectarii si operarii sistemelor software de interfatare pentru controlul echipamentelor.

4.2 Utilizarea interfetei SCADA pentru diferentierea dintre reperatele prezente in fluxul de asamblare

Reperatele ce urmeaza a fi asamblate si sunt prezente in flux pot varia atat ca forma dar si din punct de vedere al culorii. Arhitectura platformei utilizeaza echipamente senzorstice pentru diferentierea reperelor prezente pe flux.

Pentru interfata SCADA sunt utilizate elemente vizuale pentru a putea observa cu exactitate tipul reperului prezent pe flux in cadrul procesului de asamblare.



Fig. 4.2.1 Elemente grafice utilizate pentru diferentierea reperelor de pe flux.

In figura 4.2.1 sunt prezentate elementele grafice utilizate in cadrul interfetei SCADA pentru comanda si controlul platformei Electro-pneumatice.

Modul de functionare pentru afisarea acestor reperate este dupa cum urmeaza: Carcasele sunt diferentiate pe flux prin intermediul a doi senzori.

Punctul întreg `diferentiere_carcase` ia valoarea 1 sau 2 în funcție de ce tip este detectat în fluxul de asamblare.

Fiecare reper grafic prezentat mai sus are un punct boolean atribuit iar în fiecare checkpoint este verificat care reper este prezent în flux și este activat următorul ce trebuie afișat.

```

if diferentiere_carcase=0 then
    carcasa22=false
    carcasa25=false
end if

if diferentiere_carcase=2 then
    carcasa22=true
    carcasa25=false
end if

if diferentiere_carcase=1 then
    carcasa22=false
    carcasa25=true
end if

if diferentiere_c_plc=1 then
    diferentiere_carcase=1

```

Fig. 4.2.2 Exemplu de script utilizat pentru afișarea reperelor grafice.

4.3 Monitorizarea statusului conexiunii dintre interfața SCADA și automatele programabile din componenta platformei.

Pentru realizarea acestui modul se vor utiliza două elemente. Un element grafic care își va schimba culoarea în funcție de statusul conexiunii. (Fig. 4.3.1)



Fig. 4.3.1 Element grafic utilizat pentru indicarea statusului conexiunii.

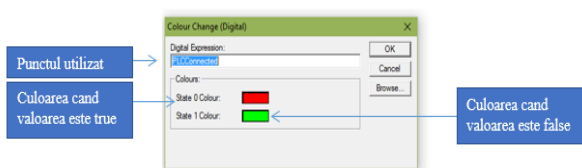


Fig. 4.3.2 Punctul din cadrul interfeței SCADA atribuit elementului grafic

Cel de-al doilea element este un element de tip text. Acesta își va schimba mesajul în funcție de starea conexiunii. Dacă conexiunea este realizată mesajul afișat în chenarul verde va fi „Platforma online”, dacă conexiunea nu este realizată sau există o problemă mesajul afișat pe chenarul roșu va fi : „Verificați conexiunea cu automatul programabil”. (Fig 4.3.3)

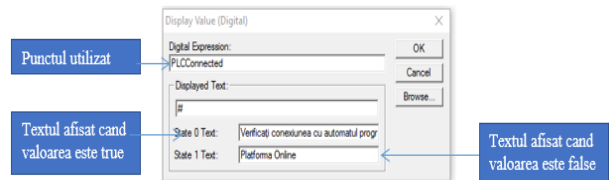


Fig. 4.3.3 Punctul din cadrul interfeței SCADA atribuit elementului grafic

Pentru verificarea și realizarea elementului de monitorizare a statusului conexiunii sunt utilizate două tipuri de tip boolean. Unul dintre puncte este utilizat pentru memorarea statusului automatului programabil iar ce-al de-al doilea este utilizat pentru a controla animația elementului grafic din interfața SCADA.

4.4 Panoul de comandă

Panoul de comandă a fost poziționat în partea stângă inferioară a interfeței de comandă pentru a fi mai ușor accesibil și pentru a avea posibilitatea de vizualizare a butoanelor.

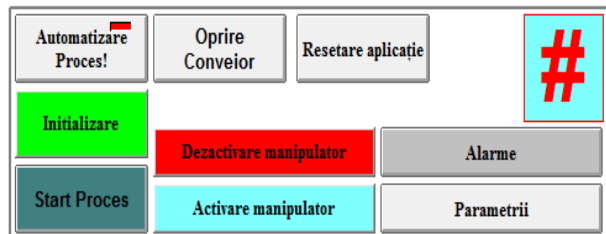


Fig. 4.4.1 Panoul de comandă

În cadrul panoului de comandă se regăsesc următoarele comenzi (Fig. 4.4.1):

- Automatizarea procesului;
- Initializare;
- Start proces;
- Oprire conveior;
- Resetare aplicație;
- Dezactivare manipulator;
- Activare manipulator;
- Alarme;

4.5 Butonul de resetare a aplicatiei

Butonul de resetare a aplicatiei este utilizat pentru resetarea valorilor prezentate in campurile de monitorizare. Acest buton este conceput pentru aducerea la valoarea 0 a punctelor ce definesc campurile de monitorizare. Dupa ce aplicatia este resetata o fereasta este afisata pe instiintand operatorul ca operatiunea a fost completata. (Fig. 4.5.1)

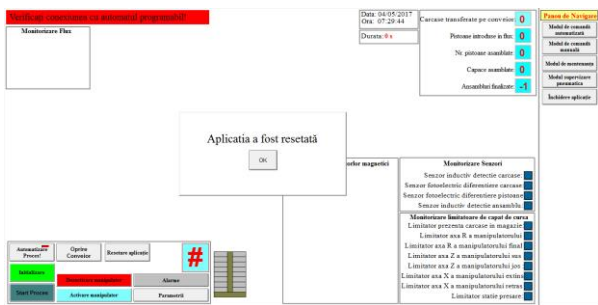


Fig. 4.5.1 Resetarea aplicatiei

4.6 Monitorizarea grafica a capacelor prezente in postul de depozitare

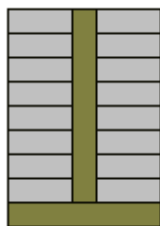


Fig. 4.6.1 Elemente grafice utilizate la monitorizarea capacelor prezente in postul de depozitare

In acest post sunt prezente 8 elemente grafice de tip dreptunghi, fiecare reprezentand un capac. Numarul acestora este decrementat in functie de numarul de capace utilizate pentru procesele de asamblare. (figura 4.6.1)

Pentru a putea realiza aceasta concordanta intre informatiile prezente in interfata si cele prezente in flux nu se poate utiliza un senzor, asadar inainte de pornirea fluxului de asamblare este setat un numar de 8 capace. Acest numar este stocat in memoria automatului programabil. In momentul in care ansamblul trece de zona de presare se considera ca un capac a fost preluat din zona de depozitare. Asadar in acest moment este realizata decrementarea. Prima decrementare este realizata in interiorul programului din memoria automatului, iar dupa ce aceasta decrementare este realizata ce-a de a doua are loc in cadrul scriptului din interfata SCADA.

4.7 Securizarea interfetei SCADA

In momentul actionarii butonului de acces la interfata, daca utilizatorul nu este logat in sistem o fereasta de atentionare va fi afisata iar mesajul „Nu sunteti autorizati pentru utilizarea platformei” este scris in aceasta fereasta. In figura... este prezenta fereasta de eroare.

Dupa apasarea butonului de „Ok” un mesaj sonor va atentiona utilizatorul in vederea urmatoarelor pas pe care acesta va trebui sa-l execute.

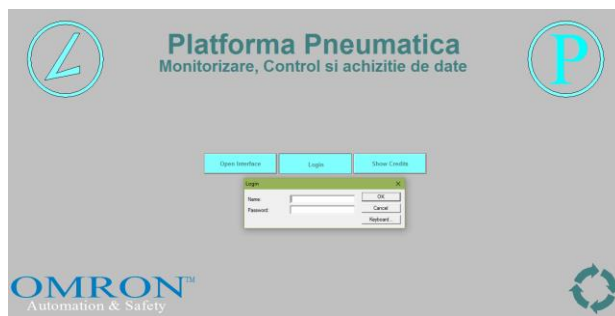


Fig. 4.6.1 Interfata de autentificare

Dupa interactionarea cu butonul de „Login” o fereasta va fi afisata incadrul ferestrei unde utilizatorul va fi indrumat sa completeze informatiile pentru conectarea cu interfata SCADA.

Campurile ce urmeaza a fi completate sunt „User” si „Password”. Fiecare „user” are un anumit nivel de acces si pot executa doar anumite operatii, unele fiind restrictionate in functie de nivelul de acces.

5 CONCLUZII

Sistemele SCADA sunt cruciale pentru organizatiile industriale deoarece ele sunt utilizate pentru a mentine eficienta, proceseaza informatiile pentru decizii inteligente si comunica problemele sistemelor pentru a mitiga timpii morti.

Software-ul SCADA proceseaza, distribuie si afiseaza informatia ajutand operatorii si alti angajati sa analizeze informatiile pentru a face decizii importante.

Asadar in scop didactic o interfata SCADA este cruciala pentru intelegerea modului de programare industrial dar si pentru a putea simplifica procesele ce au loc in cadrul unor fluxuri complexe.

6 BIBLIOGRAFIE

[1].Christianii, <http://www.cstt.in/index.php>
Accesat la data de: 3.02.2017
[2].Omron, industrial.omron.us, Accesat la data de 15.04.2017

STAND AUTOMATIZAT PENTRU SORTARE

PARASCHIV Eliza

Conducători științifici: Conf.dr.ing. **George ENCIU**, As.dr.ing. **Adrian POPESCU**

REZUMAT: Sistemele de sortare sunt necesare în foarte multe industrii, cum ar fi cea prelucătoare pentru a se asigura că procesul de fabricație este mai eficient. Toate procesele de sortare, deși diferite, în general constau în a privi obiectele distribuite pe un conveior mobil, localizând orice parte unică, recunoscând caracteristicile relevante care îl fac acceptabil sau nu, putându-l separa de piesele din categoria lui. Sistemele de sortare automatizate sunt similare sistemelor de sortare manuală, diferența dintre cele două este faptul că sistemul de sortare automatizat este mult mai rapid și eficient.

CUVINTE CHEIE: sortare, stand experimental, automatizare, dimensiuni.

1 INTRODUCERE

Sortarea este procesul de aranjare a elementelor în mod sistematic, și are două sensuri comune, dar distincte:

-ordonare: aranjarea elementelor dintr-o secvență ordonată de mai multe criterii;

-categorisire: gruparea elementelor cu proprietăți similare;

Sortarea asigură fiabilitatea și reducerea costurilor, reduce consumul de resurse, timpul consumat, și totodată complexitatea sistemului.

2 STUDIUL DIFERITELOR SISTEME DE SORTARE

Datorită progresului tehnologic se pot elimina materiile prime/produsele nedorite, într-un mod extrem de simplu și eficient folosind mașini pentru sortare, ce adoptă diferite metode așa cum va fi prezentat în subcapitolele următoare.

¹ Specializarea Logistică Industrială, Facultatea IMST;

E-mail: elizastefania.logistica@yahoo.com;

2.1. Mașină automatizată pentru sortare care folosește senzorul de proximitate

Mașina pentru sortare automată este capabilă să încorporeze flexibilitatea și să separe categorii de obiecte metalice feroase, și în același timp să le transporte pe un conveior mobil către un post de stocare așa cum este definit prin intermediul automatului programabil și al senzorului de proximitate pentru detectarea unei game variate de obiecte. Rezultatul obținut arată că plasticul, lemnul și oțelul au fost sortate în poziția corectă într-un timp de 9.903s, 14.072s și respectiv 18.648s. Modelul prezentat în această lucrare are la bază tehnici de sortare automată. Imaginile obiectelor (plastic, lemn și

oțel) au fost capturate prin intermediul unui senzor de proximitate, iar transportul de la un punct la altul s-a realizat cu un conveior. Este important să se cunoască faptul că sistemul de transport de tip conveior poate fi automat prin dinamica motoarelor de rulare, permițând obiectelor să se deplaseze până în poziția de detecție și utilizând semnalul senzorului să se prelucreze informația procesată de către PLC.

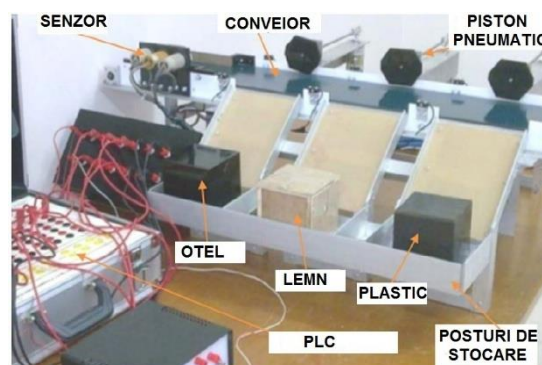


Fig.1. Rezultatul sortării automate

2.2. Mașină automatizată de sortare după culoare care utilizează senzorul TCS230 și microcontroller PIC

Sistemul propus este proiectat pentru sortarea automată a produselor de culoare roșie, verde sau neagră. O cameră situată deasupra vizualizează elementele ortografic. Este descris sistemul integrat pentru detectarea defectelor de culoare și clasificarea acestora.

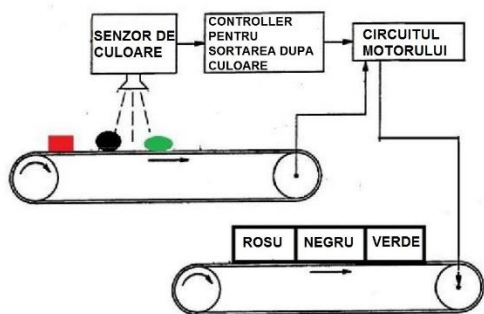


Fig.2. Diagrama bloc

Prototipul este format din două motoare de CC cu două conveioare, un microcontroller PIC și un circuit de detectare al culorii folosind TCS230. Întârzierea valorii temporizatoarelor este ajustată prin reprogramarea microcontrollerului.

2.3. Dezvoltarea unui sistem de sortare al lămâilor după culoarea și dimensiunile acestora

Sistemul este format din două camere CCD, două carduri de captură, un sistem de iluminare adecvat, un calculator și alte componente mecanice necesare părții mecanice. Algoritmul extrage inițial fructele din fundal. Lămâile sunt situate inițial în fața camerelor și sunt calibrate. Apoi informațiile cu privire la valorile culorilor HSI și volumele estimate de fructe sunt extrase într-o bază de date. Prin compararea informațiilor din timpul sortării cu informațiile disponibile în baza de date, este determinată nota finală a fructelor care se încadrează în respectiva gamă. Acest algoritm poate fi ușor de adaptat pentru clasificarea și/sau inspecția altor produse.

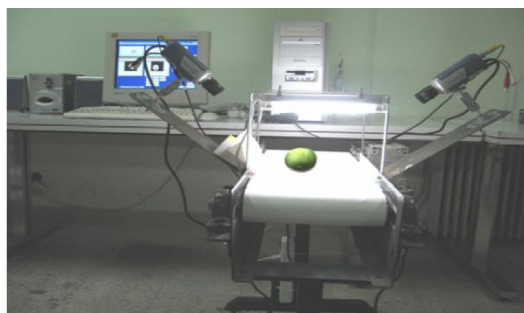


Fig.3. Dezvoltarea sistemului bazat pe camera Vision

Pentru sortarea lămâilor a fost dezvoltat un sistem bazat pe camera Vision. Camerele sunt montate la aproximativ 25cm deasupra curelei conveiorului și alimentate de către o sursă de 24V. Pentru a asigura o iluminare uniformă, patru tuburi fluorescente au fost amplasate deasupra.

3 STADIUL ACTUAL AL LUCRĂRII

Pentru antrenarea celor două curele sincrone pe care sunt poziționate și direcționate către postul de

stocare piesele, am folosit un motor electric trifazat asincron și un reductor, care distribuie momentul motor la punțile motoare, oferind posibilitatea de a-l modifica, așa cum este prezentat în Fig.4.

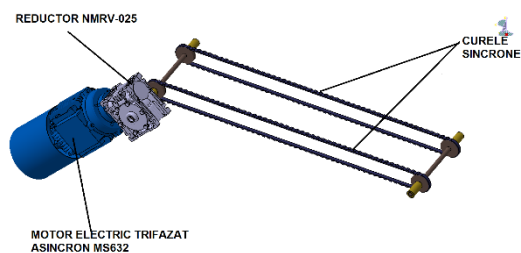


Fig.4. Acționarea electrică

Acționarea pneumatică exemplificată în Fig.5. este realizată în mod independent prin intermediul senzorilor electromagnetici care acționează tija pistoanelor pentru efectuarea transferului pieselor pe posturile de stocare.

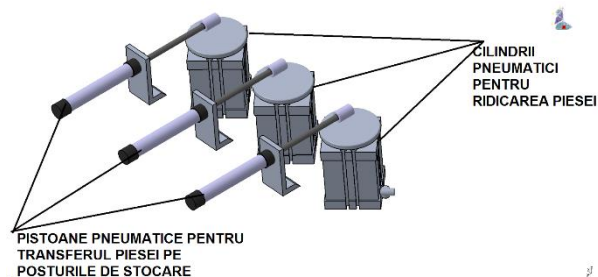


Fig.5. Acționarea pneumatică

Posturile de stocare sunt prevăzute cu role cilindrice care ajută cutia să alunece către margine, prezența acestora fiind detectată de către un senzor inductiv care transmite semnal automatului pentru ca acesta să comande retragerea pistoanelor, semnalând faptul ca operația s-a încheiat, și un nou produs poate fi introdus pentru a fi sortat.

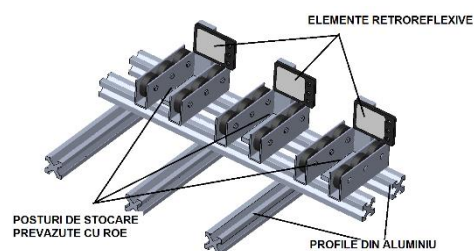


Fig.6. Posturi de stocare

În etapa următoare a realizării standului, am sesizat faptul că reperele sunt dispuse să se îndrepte neordonat de-a lungul căilor de rulare și implicit a celor de stocare, drept urmare am ajuns la concluzia că sunt necesare elementele de ghidare mecanică, prezentate în Fig.7. Aceste elemente au rolul de a asigura deplasarea sistemelor mobile ale aparatelor, după o anumită direcție definită de calea de ghidare, sub acțiunea forțelor care acționează și preiau

încărcătura. După natura mișcării pe care o asigură, elementele pentru ghidarea mișcării pot fi de rotație și de translație.

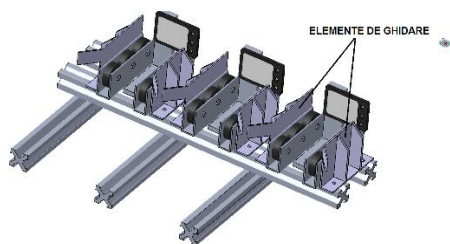


Fig.7.Elemente de ghidare

4 PREZENTAREA PĂRȚII ELECTRONICE A STANDULUI PENTRU SORTARE

4.1. Automatul programabil

Programarea standului s-a realizat cu ajutorul automatului programabil "Zelio SR3B261BD" ce folosește limbajul Ladder, fiind ales pentru a simplifica tot cablajul electric.

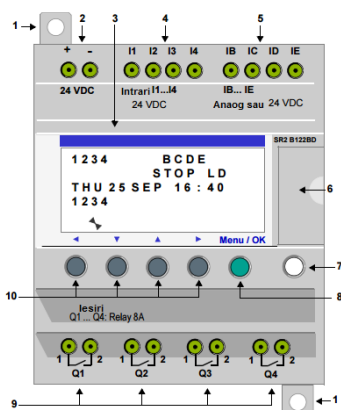


Fig.8.Automatul programabil

Tabelul 1.Componente automat

1.	Picioare retractabile
2.	Bloc terminal cu șurub pentru alimentarea cu energie electrică
3.	Ecran LCD, 4 linii, 18 caractere
4.	Bloc terminal cu șurub pentru intrări discrete
5.	Intrări analogice 0-10 volți, utilizabile în modul de intrare discret în funcție de model
6.	Slot pentru memorie de rezervă sau pentru cablul de conectare la PC
7.	Tasta Shift
8.	Meniu / OK (verde) pentru selectare și confirmare
9.	Iesiri
10.	Taste de navigare

Acest model de automat programabil este extrem de ușor de implementat și de utilizat. Programarea actuală a fost realizată manual.

4.2. Invertorul ATV12H075M2

Invertorul este un echipament electronic ce comandă și controlează viteza de rotație a unui motor de curent alternativ prin reglarea frecvenței și mărimii tensiunii de alimentare a motorului.

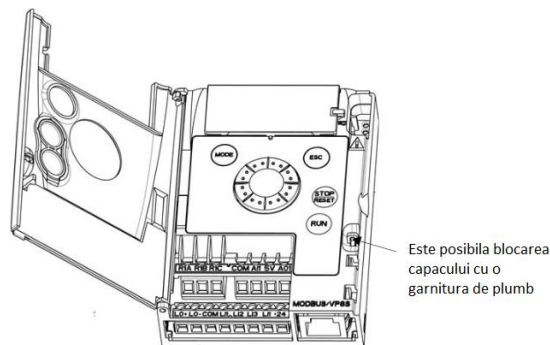


Fig.9.Invertor

Setările din fabrică ATV12 permit operarea unității cu majoritatea aplicațiilor. Se poate utiliza software-ul SoMove pentru a personaliza meniurile "Meniu", prin selectarea meniurilor și a parametrilor care vor fi ascunși sau accesibili pentru utilizator. Odată ce configurația a fost ajustată, aceasta poate fi descărcată în ATV12 prin conectarea unității la computer sau prin descărcarea configurației prin intermediul multi-încărcătorului sau a încărcătorului simplu. SoMove poate fi utilizat pentru a opera unitatea de testare și punerea în funcțiune.

Funcționarea la distanță și programarea prin intermediul HMI sunt posibile utilizând piesa VW3A1006HMI la distanță. Dimensiunile sunt de 70 mm (2.76 in) x 50 mm (2.76 in), după cum se poate observa în Fig.10.

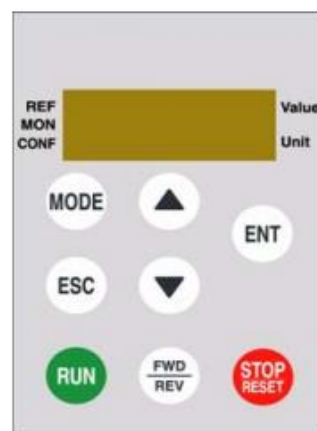


Fig.10.Telecomanda invertorului

5 CONCLUZII

Doresc să aprofundez studiul referitor la utilizarea completă a inverterului, precum și programarea acestuia. În ceea ce privește automatul programabil, următorul pas este acela de a realiza programul în softul aferent, și anume „Zelio Soft”, după care să îl transfer în automat, deoarece programarea actuală a fost realizată manual. Urmează să realizez testări ale funcționalității platformei în vederea remedierii eventualelor probleme ce pot apărea pe parcurs.

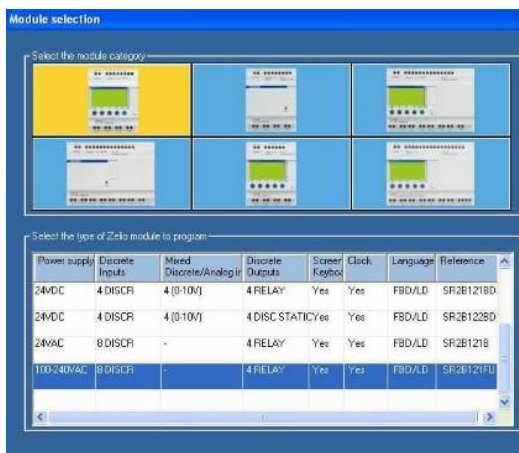


Fig.11. Interfața softului pentru programarea automatului

6 MULȚUMIRI

Doresc să le mulțumesc domnilor profesori G. ENCIU și A. POPESCU pentru sprijinul acordat pe tot parcursul proiectării și realizării fizice a standului.

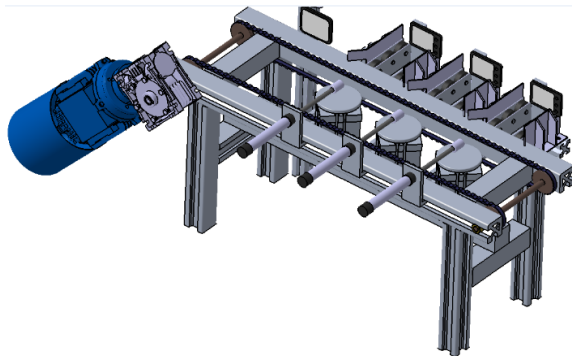


Fig.11. Vedere de ansamblu a standului pentru sortare

7 BIBLIOGRAFIE

- [1]. <https://en.wikipedia.org/wiki/Sorting>
- [2]. <http://www.nwradu.ro/2014/10/in-vizita-la-fan-courier-functionarea-instalatiei-moderne-de-sortare-a-coletelor-si-pregatirile-pentru-black-friday/>
- [3]. <http://www.slideshare.net/mobiletouch/awb-package-scanner-app-functional-design-document>
- [4]. <http://www.newark.com/schneider-electric-telemecanique/xub5bpanm12/photoelectric-sensor-0-6m-pnp/dp/89H6899>
- [5]. <http://uk.rs-online.com/web/p/logic-modules/4684242/>
- [6]. <http://www.ijfeat.org/papers/ME010.pdf>
- [7]. https://ro.wikipedia.org/wiki/Convertizor_de_frecven%C8%9B%C4%83
- [8]. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215098616302105>
- [9]. https://www.researchgate.net/publication/294878316_Automatic_Color_Sorting_Machine_Using_TCS230_Color_Sensor_And_PIC_Microcontroller
- [10]. http://www.academicjournals.org/article/article1380110185_Khojastehnazhand%20et%20al.pdf
- [11]. http://download.schneiderelectric.com/files?p_enDocType=User+guide&p_File_Id=755965466&p_File_Name=ATV12_user_manual_EN_BBV28581_03.pdf&p_Reference=BBV28581

PROIECTAREA INTERFEȚEI SOFTWARE PENTRU COMANDA ȘI CONTROLUL PLATFORMEI CU HMI ȘI INVERTOR

STANCIU Gabriela

Conducători științifici: Conf.dr.ing. **George ENCIU**, As.dr.ing. **Adrian POPESCU**

REZUMAT: Industria de HMI a apărut din nevoia unui terminal prietenos pentru utilizator într-un sistem alocat cu unități PLC. HMI-ul include un program de desenare pe care operatorul sau personalul de întreținere îl folosește pentru a schimba modul în care punctele sunt reprezentate în interfața utilizator.

CUVINTE CHEIE: HMI, interfață, PLC, operator .^[1]

1 INTRODUCERE

HMI-ul este o aplicație software care prezintă informații către un operator/utilizator despre starea unui proces, acceptând și implementând instrucțiunile operatorilor.^[1]

HMI-ul are rolul de a aduna, combina și structura informațiile din PLC pentru o formă mai ușoară de comunicare, de asemenea poate fi conectat la o bază de date pentru realizarea de grafice în timp real, analiza datelor, proceduri de întreținere planificate, scheme detaliate pentru un anumit senzor sau utilaj, precum și metode de deplasare a sistemului.^[1]

Lucrarea de față prezintă pe scurt modul de realizare a programelor pentru interfețele HMI, cu scopul de automatizare utilizate pe platforma didactică din laborator.

Această lucrare va argumenta utilitatea creării, modelării interfețelor HMI cu ajutorul soft-ului NQ-Designer, conexiunea acestuia cu PLC-ul (Cx-Programmer) și legatura dintre acestea cu platforma propriu-zisă.

2 STADIUL ACTUAL

Lucrare practică de realizare a programelor pentru interfețele HMI cu ajutorul soft-ului NQ-Designer și Cx-Programmer pentru comanda și controlul platformei.^[5]

⁵ Specializarea Logistică Industrială, Facultatea IMST;

E-mail: stanciugabriela190@yahoo.com;

Se va evidenția cum a fost creată zona de comandă și control, adică interfața HMI; cum au fost create programele, atât cele cu comandă manuală cât și cele cu comandă automată; ce îmbunătățiri au fost aduse platformei pentru o mai bună funcționare, problemele apărute și rezolvarea acestora.

2.1 Stadiu de început

Platforma didactică de transmisie a mișcării șurub conducător – piuliță cu bile este formată din următoarele componente^[3]:

- Motor : AS. Mot. 3-ATE 63-2

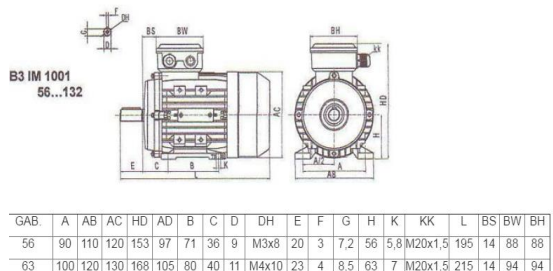


Figura 1. Motor

- Convertizor: MX2-AB004-E (Omron)

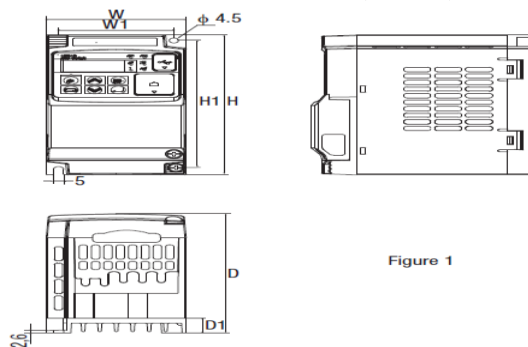


Figura 2. Convertizor

- HMI : NQ3-TQ000-B (Omron)

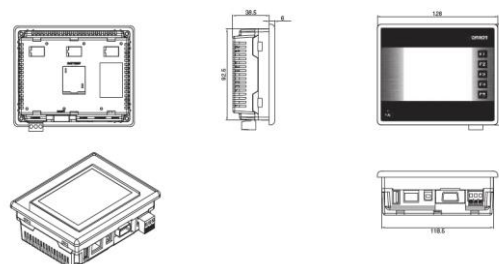


Figura 3. HMI

- Senzor SMART : ZX1-LD300A81

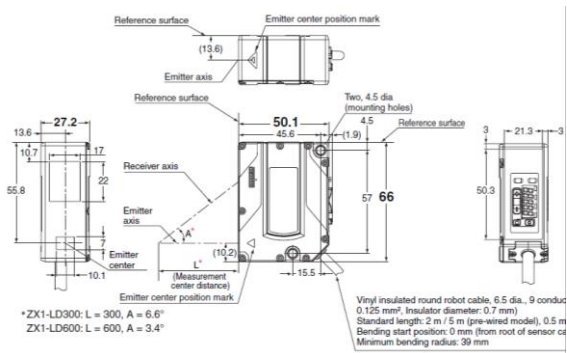


Figura 4. Senzor SMART

- Platforma propriu-zisă pe care s-a lucrat

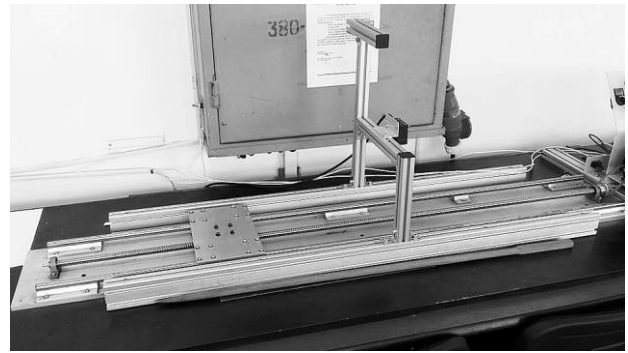


Figura 8. Platforma

- Automat programabil-PLC: CP1L-L14DT1-D

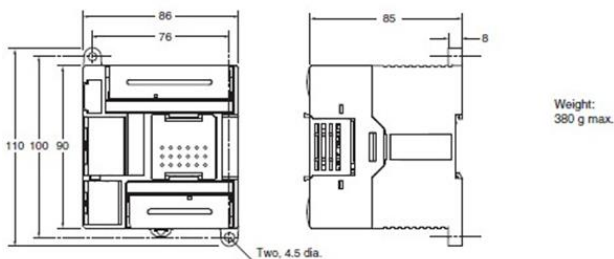


Figura 5. PLC

- Sursă de alimentare 50W : S8JX-G05024CD

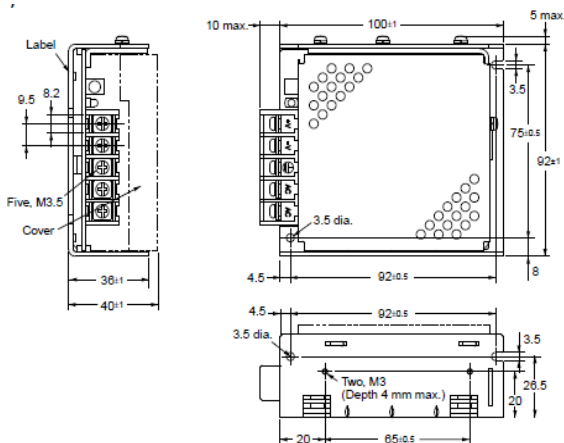


Figura 6. Sursa de alimentare

- Limitatoare de capăt de cursă

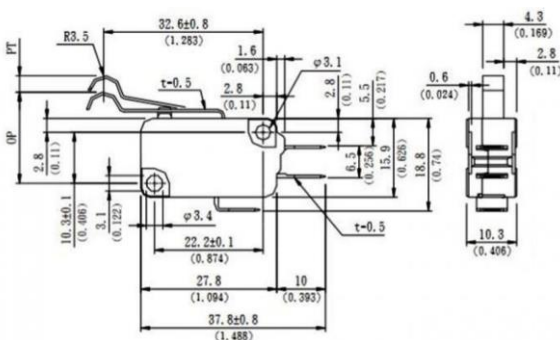


Figura 7

În stadiul de început platforma avea un program dat de la producător pentru un singur sens de mișcare, dacă se dorea ca platoul platformei să se deplaseze în partea opusă, se comutau anumite fire în bornele convertizorului iar interfața HMI era standard doar pentru programul producătorului, studentul putea să acționeze standul doar manual, folosind butoanele de pe convertizor.

2.2 Pași de conectare


HMI-PC : HMI-ul se conectează la PC cu ajutorul unui cablu USB de tip slave.

PLC-PC : PLC-ul se conectează la PC cu ajutorul unui cablu ethernet.

PLC-HMI: conexiunea dintre cele două se face cu ajutorul unui cablu de tip port serial.

2.3. Transferul programelor

Transferul programului din PC în PLC se face conform următorilor pași:

Work Online  → Yes → Transfer to PLC (se bifează cele 5 căsuțe) → OK → YES → YES. Se așteaptă ca programul să se transfere pe PLC → OK → YES.

Transferul programului din PC în HMI se face conform următorilor pași:

Project → Transfer → Download → Se bifează: Application, Font și Firmware și se apasă „Download”

2.4. Exemple de programe și explicațiile aferente pentru fiecare

În continuare pentru a evidenția setările făcute în Cx-Programmer^[2] și NQ-Designer^[2] se vor lua ca exemple un program cu acționare manuală și unul cu acționare automată (din cele 5 care pot rula în acest moment pe platformă) .

Primul exemplu – deplasarea în partea stângă și în partea dreaptă cu oprire în limitatoare.

Pe ecranul HMI-ului va fi afișată imaginea din figura 9, se apasă pe butonul “Intră”.

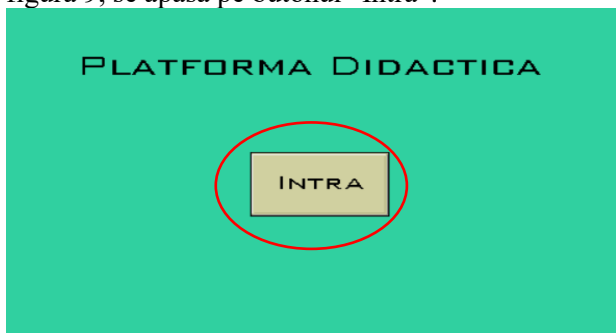


Figura 9. Prima pagină

Va fi afișată următoarea pagină, că în figura 10, unde există un buton “Comandă manuală”, care duce către o pagină cu programe cu control manual; un buton “Comandă automată” care duce către o pagină cu programe cu control automat; și un buton “Înapoi”, care duce înapoi către prima pagină.

Se dorește să se acționeze platforma manual, deci se apasă pe butonul “Comandă manuală”.

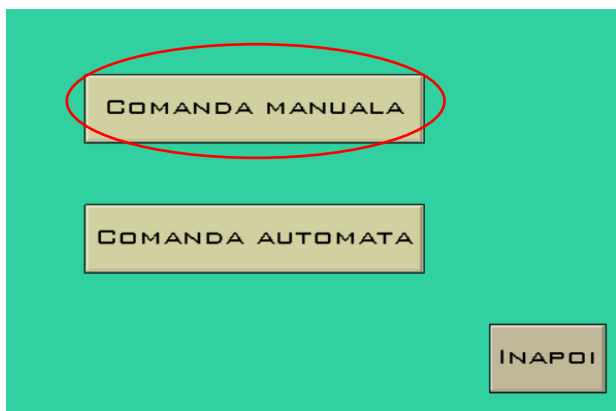


Figura 10. A doua pagină

După ce se da click pe acel buton, o nouă pagină apare, că în figura 11, unde există un buton “Deplasare ST-DR”, care duce către o pagină cu un program care deplasează platoul platformei de la dreapta la stânga și invers; un buton “Deplasare oprire lim” care duce către o pagină cu un program care deplasează platoul platformei dreapta-stânga cu oprire în limitatoare; un buton “Înapoi”, care duce înapoi către pagina a doua.

Se dorește să se acționeze platforma conform cu al doilea program și se apasă pe butonul “Deplasare oprire limitatoare” – figura 11.

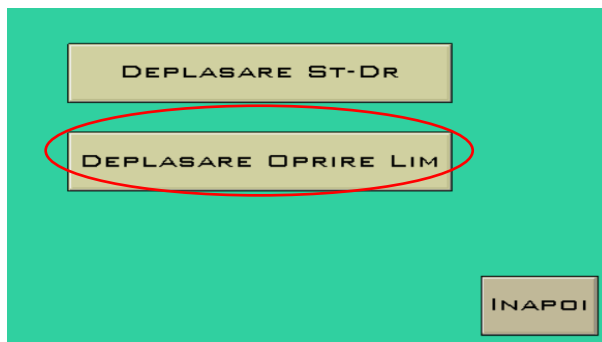


Figura 11. Pagina de acces pentru primul program

După ce se dă click pe acel buton, o nouă pagină apare, că în figura 12. Aici există butoanele aferente pentru acționarea platformei conform celui de al doilea program (acționarea platoului stânga-dreapta cu oprire în limitatoare).

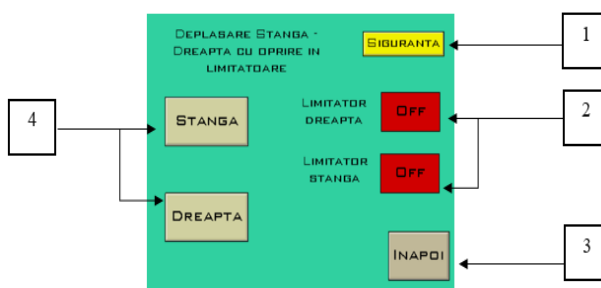


Figura 12. Butoane pentru primul program

- 1- Buton siguranță
- 2- Butoane leduri pentru activitatea limitatoarelor
- 3- Buton de întoarcere la pagina anterioară
- 4- Butoane de acționare în funcție de direcția dorită

Pentru acest program există următorul tabel cu Intrări și Ieșiri – Tabel 1:

DENUMIRE SEMNAL	Adresă APELARE	TIP SEMNAL
Bit aferent pornire dreapta	10.06	IN
Bit aferent pornire stânga	10.08	IN
Bit	10.09	IN
Limitator stanga	0.07	IN
Limitator dreapta	0.05	IN
Frecvența	100.03	OUT
Ieșire pornire stanga	100.04	OUT
Ieșire pornire dreapta	100.05	OUT

Tabel 1. Tabel cu intrări și ieșiri

Pentru ca programul să funcționeze trebuie urmați următorii pași:

a. Pentru început, ca programul să poată funcționa trebuie apăsat pe butonul “Siguranță”- figura 13.

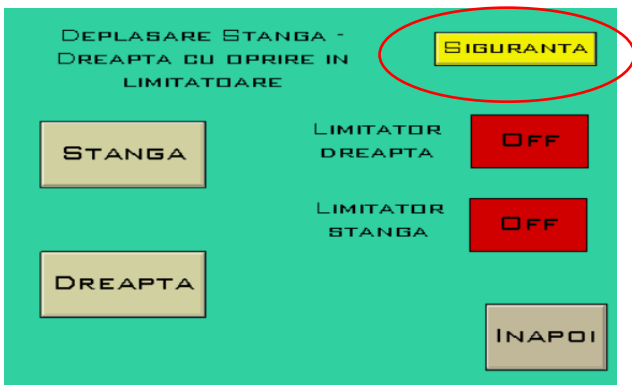


Figura 13. Prezentare buton de siguranță

În următoarea linie de program, există un bit intern de siguranță (cu adresa 12.04 – figura 14), care ajută atunci când un program rulează, celelalte să rămână neaccesibile.



Figura 14. Bit aferent asociat butonului de siguranță

b. Dacă se dorește ca platoul să se deplaseze către partea dreaptă se va apăsa butonul “Dreapta”- care are ca adresă bit-ul intern 10.06 - figura 15.

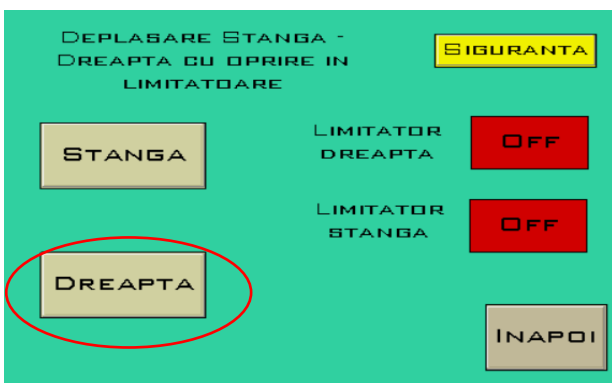


Figura 15. Buton cu acțiune în partea dreaptă

În prima linie de program, atunci când butonul ”Dreapta” – figura 16, este apăsat, bit-ul 10.06 este acționat, astfel în a doua linie de program, aceasta setând:

- Ieșirea 100.05 (aferentă pornirii spre dreapta), (1)
- Bit-ul 10.09, care la randul lui setează ieșirea 100.03 (aferentă pentru frecvență). (2)



Figura 16. Linie de program accesată în CX

c. Dacă se dorește oprirea platoului din deplasarea spre dreapta se așteaptă până când platoul trece peste limitatorul din partea dreapta, cu adresa 0.05, iar pe interfața HMI-ului, se va activa butonul “Limitator dreapta” – figura 17.

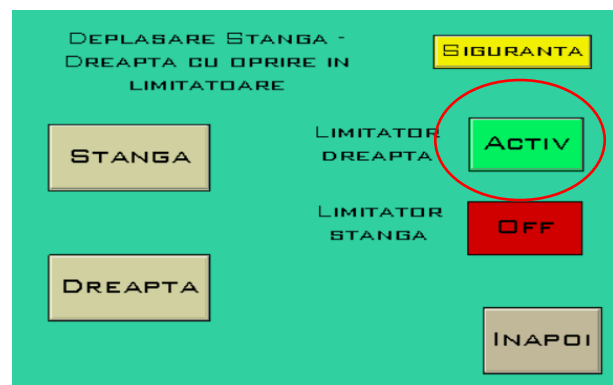


Figura 17. Buton de tip led pentru limitatorul din partea dreaptă

În următoarea linie de program, când limitatorul dreapta este setat, bit-ul 0.05 este activat – figura 18, acesta resetând:

- Bit-ul 10.06, aferent pornirii către dreapta, (1)
- Bit-ul 10.09, aferent pentru frecvență, (2)
- Bit-ul 0.05, aferent limitatorului din dreapta, (3)
- Ieșirea 100.05, aferentă pornirii spre dreapta, (4)
- Ieșirea 100.03, aferentă pentru frecvență. (5)

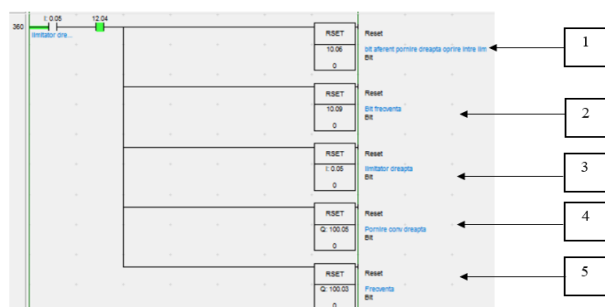


Figura 18. Linie de program accesată în CX

d. Dacă se dorește ca platoul să se deplaseze către partea stângă se va apăsa butonul “Stânga”- care are ca adresa bit-ul intern 10.08 - figura 19.

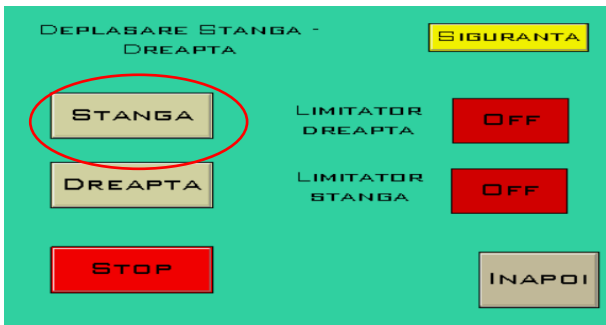


Figura 19. Buton cu acțiune în partea stângă

În următoarea linie de program, atunci când butonul "Stânga" – figura 20, este apăsat, bit-ul 10.08 este acționat, aceasta setând :

- Ieșirea 100.04 (afereantă pornirii spre stânga), (1)
- Bit-ul 10.09, care la rândul lui setează ieșirea 100.03 (afereantă pentru frecvență). (2)

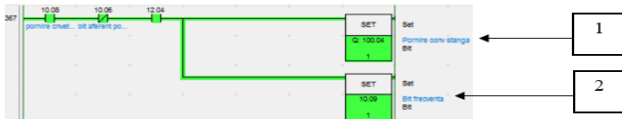


Figura 20. Linie de program accesată în CX

e. Dacă se dorește oprirea platoului din deplasarea spre stânga se așteaptă până când platoul trece peste limitatorul din partea stângă, cu adresa 0.07, iar pe interfața HMI-ului, se va activa butonul "Limitator stânga" – figura 21.

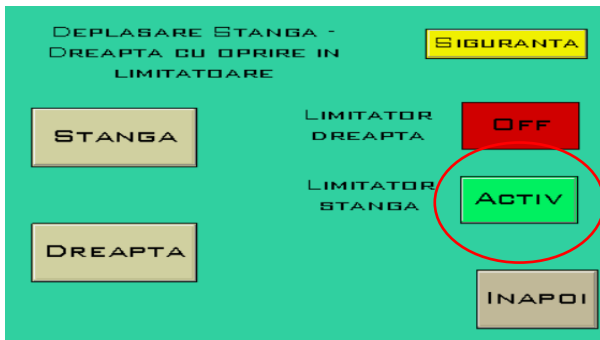


Figura 21. Buton de tip led pentru limitatorul din partea dreaptă

În următoarea linie de program, când limitatorul stânga este setat, bit-ul 0.07 este activat – figura 22, acesta resetând:

- Bit-ul 10.08, afereantă pornirii către stânga, (1)
- Bit-ul 10.09, afereantă pentru frecvență , (2)
- Bit-ul 0.07, afereantă limitatorului din stânga, (3)
- Ieșirea 100.04, afereantă pornirii spre stânga (4)
- Ieșirea 100.03, afereantă pentru frecvență. (5)

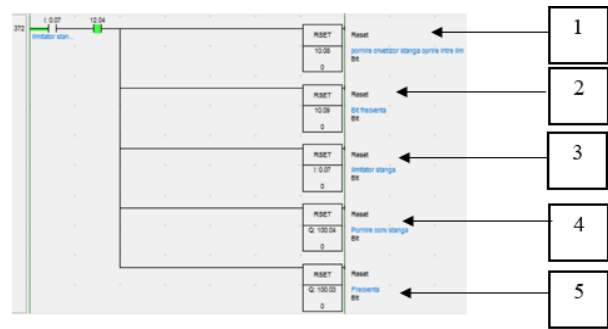


Figura 22. Linie de program accesată în CX

Al doilea exemplu – deplasarea ciclică între limitatoare.

Acum se dorește să se acționeze platforma automat și se apasă pe butonul "Comandă automată".

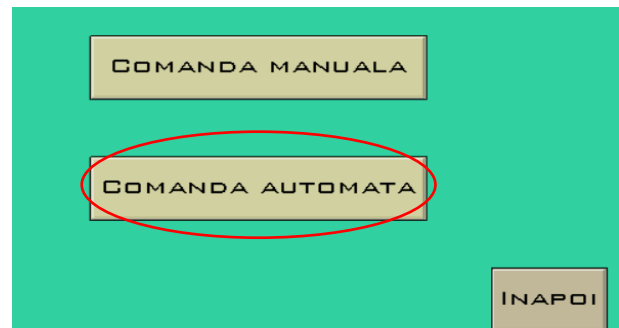


Figura 23. Accesare pagină cu alte programe

După ce se dă click pe acel buton, o nouă pagină apare, că în figura 24, unde există un buton "Deplasare ST-DR ciclic", care duce către o pagină cu un program care deplasează platoul platformei dreapta-stânga ciclic; un buton "Deplasare ST-DR 5 cicluri" care duce către o pagină cu un program care deplasează platoul platformei dreapta-stânga, 5 cicluri; un buton "Deplas. ciclică între limit." care duce către o pagină cu un program ce deplasaseaza platoul între limitatoare, în mod ciclic; și un buton "Înapoi", care duce înapoi către pagina a doua.

Se dorește să se acționeze platforma conform cu al treilea program și se apasă pe butonul "Deplasare ciclică limit".

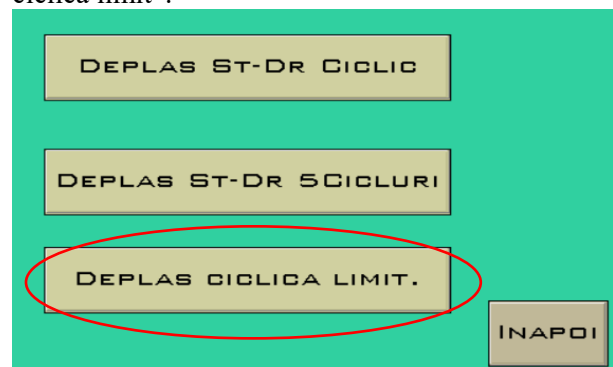


Figura 24. Pagina de acces pentru al doilea program

După ce se dă click pe acel buton, o nouă pagină apare, că în figura 25.

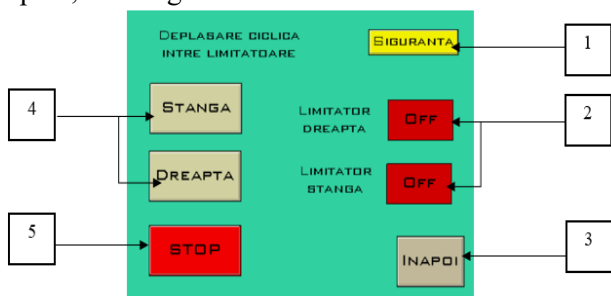


Figura 25. Butoane pentru al doilea program

- 1- Buton siguranță
- 2- Butoane leduri pentru activitatea limitatoarelor
- 3- Buton de întoarcere la pagina anterioară
- 4- Butoane de acționare în funcție de direcția dorită
- 5- Buton de oprire

Pentru acest program există următorul tabel cu Intrări și Ieșiri – Tabel 2:

DENUMIRE SEMNAL	Adresă APELARE	TIP SEMNAL
Bit aferent pornire dreapta	10.12	IN
Bit aferent pornire stânga	10.11	IN
Bit	10.09	IN
Limitator stânga	0.07	IN
Limitator dreapta	0.05	IN
Bit	30.00	IN
Bit	30.01	IN
Frecvență	100.03	OUT
Ieșire pornire stânga	100.04	OUT
Ieșire pornire dreapta	100.05	OUT
Bit SIGURANȚĂ	12.03	IN
Bit oprire	50.00	IN

Tabel 2. Tabel cu intrări și ieșiri

Pentru ca programul să funcționeze trebuie urmați următorii pași:

a. Pentru început, ca programul să poată funcționa trebuie apăsat pe butonul “Siguranță”- figura 26



Figura 26. Prezentare buton de siguranță

În linia de program ce urmează, există un bit intern de siguranță (adresa 12.03 – figura 27), care ajută atunci când un program rulează, celelalte să rămână neaccesibile.



Figura 27. Linie de program accesată în CX

b. Dacă se dorește ca platoul să înceapă deplasarea ciclică spre partea dreapta se va apăsa butonul “Dreapta” - care are ca adresă bit-ul intern 10.12 - figura 28.

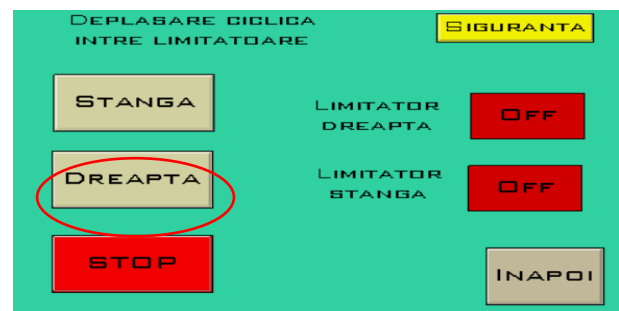


Figura 28. Buton cu acțiune în partea dreaptă

În următoarea linie de program, atunci când butonul „Dreapta” – figura 29, este apăsat, bit-ul 10.12 este acționat, aceasta setând:

- Ieșirea 100.05, aferentă pornirii spre dreapta,
- Bit-ul 10.09, care la rândul lui setează ieșirea 100.03 (aferentă pentru frecvență).



Figura 29. Linie de program accesată în CX

c. Atunci când platoul trece peste limitatorul din partea dreaptă, cu adresa 0.05, acesta decelerează urmând să se oprească, iar pe interfața HMI-ului, se va activa butonul “Limitator dreapta” – figura 30.



Figura 30. Limitatorul din partea dreaptă acționat

În prima linie de program, când limitatorul dreapta este setat, bit-ul 0.05 este activat – figura 31, acesta:

- Setează bit-ul intern 30.01. (1)
- Resetează bit-ul intern 30.00, (2)
- Resetează bit-ul 10.12, aferent pornirii către dreapta, (3)
- Resetează ieșirea 100.05, aferentă pornirii spre dreapta, (4)

În a doua linie de program, odată activat bit-ul intern 30.01(1), aceasta pornește un timer T0011 de 5s (5), timp în care platoul decelerează și se oprește.

În a treia linie de program, după ce acest timer se scurge, acesta setează bit-ul 10.11 (6) aferent pentru acționarea platoului către partea stângă.

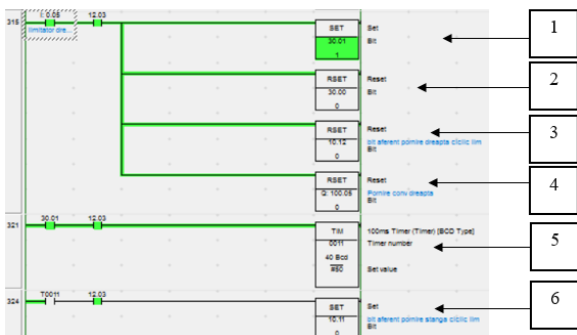


Figura 31. Linie de program accesată în CX

d. Dacă se dorește ca platoul să înceapă deplasarea ciclică din partea stângă se va apăsa butonul “Stânga”- care are ca adresa bit-ul intern 10.12 - figura 32.



Figura 32. Buton cu acțiune în partea stângă

În linia de program ce urmează, atunci când butonul ”Stânga” – figura 33, este apăsat, bit-ul 10.11 este acționat, aceasta setând:

- ieșirea 100.04, aferentă pornirii spre stânga, (1)
- bit-ul 10.09, care la rândul lui setează ieșirea 100.03 (aferentă pentru frecvență). (2)



Figura 33. Linie de program accesată în CX

e. Atunci când platoul trece peste limitatorul din partea stângă, cu adresa 0.07, acesta decelerează urmând să se oprească, iar pe interfața HMI-ului, se va activa butonul “Limitator stânga” . – figura 34

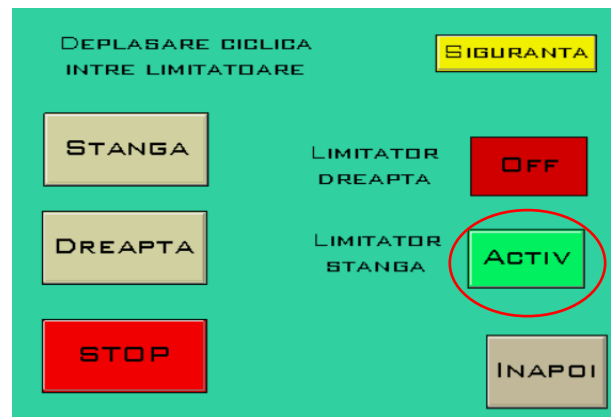


Figura 34. Limitatorul din partea stângă acționat

În prima linie de program, când limitatorul stânga este setat, bit-ul 0.07 este activat – figura 35, acesta:

- Resetează ieșirea 100.04, aferentă pornirii spre stânga, (4)
- Resetează bit-ul 10.11, aferent pornirii către stânga, (3)
- Resetează bit-ul intern 30.01, (2)
- Setează bit-ul intern 30.00. (1)

În a doua linie de program, odată activat bit-ul intern 30.00 (1) aceasta pornește un timer T0010, de 5s (5), timp în care platoul decelerează și se oprește. În a treia linie de program, după ce acest timer se scurge, acesta setează bit-ul 10.12 (6) aferent pentru acționarea platoului către partea dreaptă.

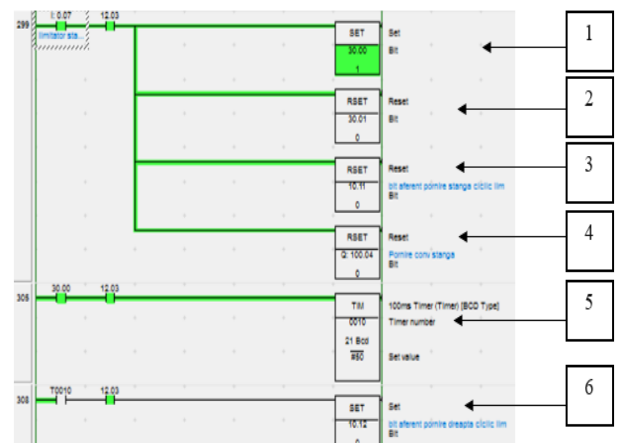


Figura 35. Linie de program accesată în CX

f. Dacă se dorește oprirea platoului din deplasarea ciclică se apasă pe butonul “STOP” de pe interfața HMI-ului – figura 36.



Figura 36. Acționare buton de oprire

În linia de program de mai jos, când bit-ul 50.00 aferent pentru oprire este activat, acesta resetează – figura 37:

- Bit intern 10.12, aferent pentru pornire dreapta, (1)
- Bit intern 10.11, aferent pentru pornire stânga, (2)
- Bit intern 10.09, aferent pentru frecvența, (3)
- Bit intern 50.00, aferent pentru oprire, (4)
- Bit intern 30.00, (5)
- Bit intern 30.01, (6)
- Ieșirea 100.03, aferentă frecvenței, (7)
- Ieșirea 100.04, aferentă pornirii spre stânga, (8)
- Ieșirea 100.05, aferentă pornirii spre dreapta. (9)

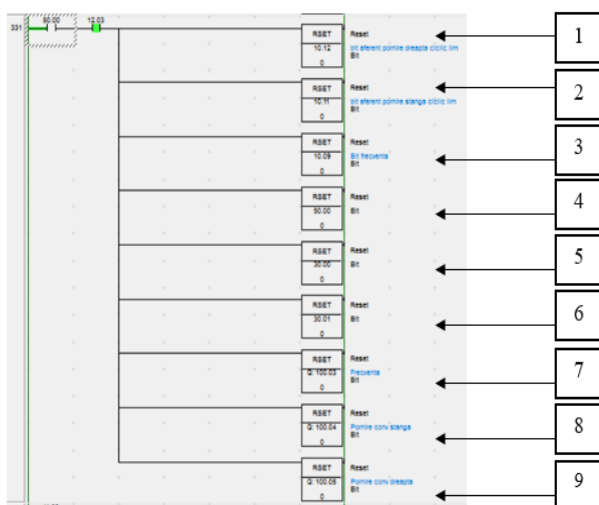


Figura 37. Linie de program accesată în CX

Dacă se dorește să se iasă din pagina acestui program, se apasă pe butonul “Înapoi”.

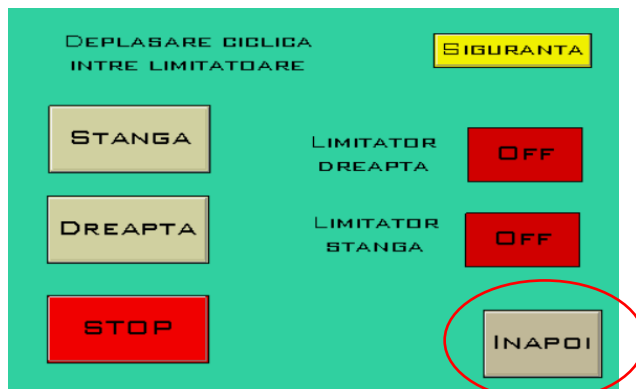


Figura 38. Buton de revenire la pagina anterioară

2.5. Probleme apărute și rezolvări:

- programul inițial de pe interfața HMI a fost șters (ulterior a fost rescris și modificat)
- probleme apărute între PLC și Convertizor, ulterior s-a modificat programul pentru ca platforma să fie funcțională
 - nu existau elemente de siguranță, astfel s-au montat două limitatoare de capăt de cursă pe platformă.
 - schema electrică inițială a fost modificată în așa fel încât să se poată acționa platforma conform cerințelor programelor.

3. OBIECTIVE DE ÎNDEPLINIT PE VIITOR

Se lucrează pentru montarea unui senzor SMART pe platformă astfel încât să se poată efectua teste și programe cu acesta.

4. CONCLUZII

În concluzie interfața om-mașină sau HMI reprezintă aparatul necesar venind în ajutorul utilizatorului, având un terminal prietenos într-un sistem alocat cu unități PLC, prezentând informații despre procese și oferind operatorului posibilitatea de a controla aceste procese. [1]

5. MULȚUMIRI

Mulțumiri Conf.dr.ing. George Enciu și asist. univ. dr. ing. Adrian Popescu pentru tot sprijinul acordat, pentru înțelegere și sfaturi.

6. BIBLIOGRAFIE

- [1]. Conf. dr. ing. George ENCIU. Bazele sistemelor automatizate în logistică, suport curs (2017)
- [2]. <https://industrial.omron.ro/ro/products> Accesat: 20 aprilie 2017
- [3]. www.megatech.ro Accesat: 20 aprilie 2017

SIMULAREA ȘI PROGRAMARE OFFLINE PENTRU O CELULĂ FLEXIBILĂ DE PROCESARE PANOURI LCD ÎN CAMERE ALBE

Alexandru BĂCANU

Conducător științific: Florin Adrian NICOLESCU

REZUMAT: În această lucrare s-a realizat simularea și programarea offline a unei celule flexibile de procesare panouri LCD. Celula de proiectat este o celulă de procesare a panourilor LCD în camere albe folosind un robot de tip braț articulat Kawasaki RS030N echipat cu un efector vacuumatic și un manipulator în 5 axe comandate numeric pentru preluarea sticlei.

Programul software folosit pentru simulare este Tecnomatix Process Simulate 13.1.1 iar modelele 3D au fost realizate în NX 11.

CUVINTE CHEIE: Process Simulate, PLC, senzori, camere albe, programare offline.

1 INTRODUCERE

Robotul industrial Kawasaki RS030N este integrat într-o celulă flexibilă de procesare a panourilor LCD în camere albe. Robotul alimentează sistemul de procesare cu panouri de sticlă preluate de un manipulator dintr-un stocator vertical.

Celula este concepută în așa fel încât să aibă o amprentă cât mai redusă, de asemenea poate fi extinsă și cuplată cu o altă celulă de alimentare a stocatoarelor cu panouri de sticlă de către niște AGV-uri.

2 STADIUL ACTUAL

Liniile de producție pentru panouri TFT-LCD de diferite dimensiuni sunt curent realizate de firme precum: AUO, Grenzbach, Samsung.

Ecranele color cu rezoluție ridicată, ca monitoarele LCD moderne destinate computerului sau televiziunii folosesc o structură cu matrice activă. O matrice de tranzistoare fabricate dintr-o peliculă transparentă subțire, numite TFT (thin-film transistor) este adăugată filtrelor de polarizare și culoare.

Fiecare pixel beneficiază de propriul tranzistor, astfel fiecare pixel putând fi adresat de către un rând. Când o linie este activată pe un rând, toate coloanele sunt conectate la rândul de pixeli activați, iar fiecare coloană primește voltajul necesar. Astfel este activat rândul și se trece la activarea rândului următor. Toate rândurile sunt activate secvențial în urma unei operații de împăspătare.

¹ Specializarea Robotică, Facultatea IMST;

E-mail: alex.bacanu@live.com;

3 DESCRIEREA APLICAȚIEI

În cadrul acestui capitol este prezentată celula de procesare panouri LCD în camere albe. Celula a fost realizată prin modelare 3D cu ajutorul programului NX 11 și simularea funcțională a celulei s-a realizat cu ajutorul programului Process Simulate 13.1.1

În figura 1 este prezentată întreaga celulă robotizată

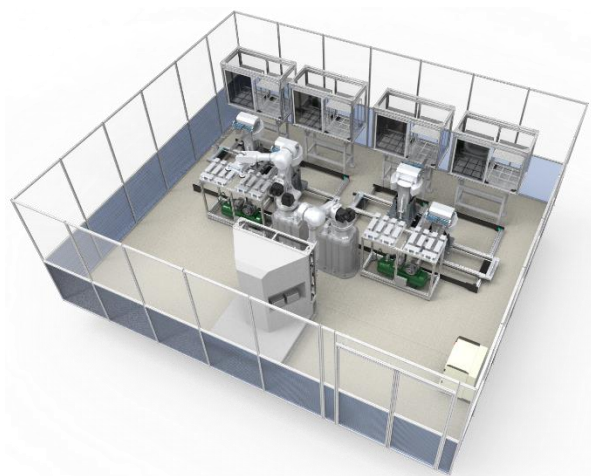


Fig. 1 Vedere izometrică a celulei de procesare panouri LCD

Manipulatorul în 5 axe comandate numeric prezentat în figura 2 (3 axe de translație și 2 de axe rotație) este proiectat pe baza cerințelor celulei de procesare al panourilor de sticlă. Acest manipulator trebuie să preia panourile de sticlă de pe un stocator vertical și să le depună pe o masă suport pentru a fi preluate mai departe de către robot. Sticla este fixată în timpul manipulării cu ajutorul unor elemente vacuumatice.

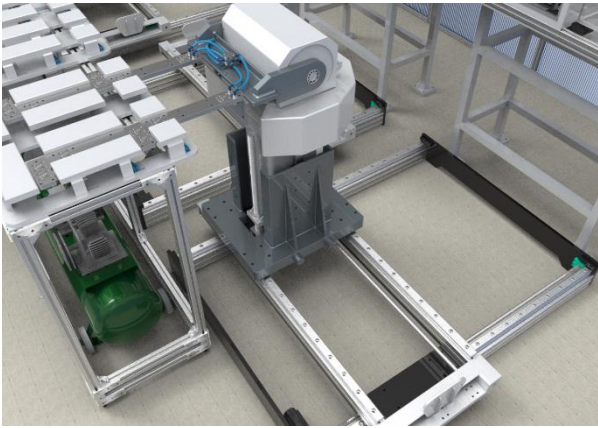


Fig. 2 Modelul 3D al manipulatorului în 5 axe comandate numeric

Masa suport (fig. 3) este conectată la un sistem pneumatic pentru. Aceasta susține panourile de sticlă atât pentru preluarea de către robot cât și pentru preluarea de către manipulator.

Sistemul conține și senzori de prezență pentru detecția panourilor de sticlă pentru ca robotul să știe când să înceapă programul.

Are rolul și de centrare și poziționare, ea fiind înclinată cu 3 grade în 2 direcții.

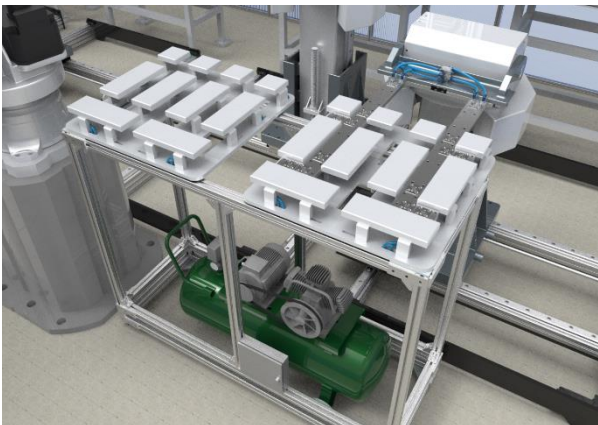


Fig. 3 Modelul 3D al mesei suport pentru panourile de sticlă

Acest sistem pentru stocare sticlă (fig. 4) poate suporta până la 15 panouri de sticlă de dimensiunea 600mm x 600mm. Este un dispozitiv de depozitare intermediară a foilor de sticlă în camere albe.

Foile de sticlă sunt stocate vertical apoi transportate mai departe către un sistem de arhivare sau depozitare intermediară pentru tăiere sau reprocesare.

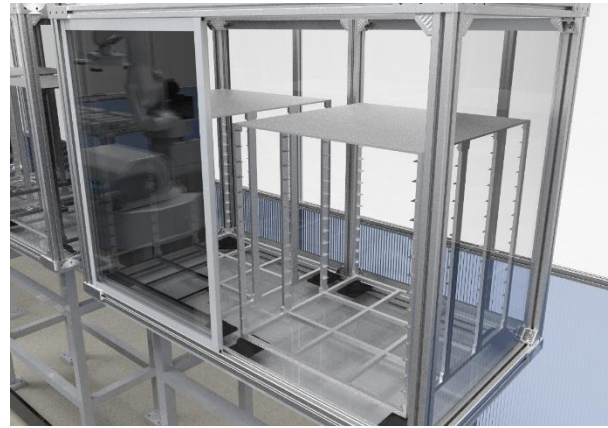


Fig. 4 Modelul 3D al sistemului de stocare al panourilor de sticlă

Robotul industrial de tip braț articulat are echipat un efector de tip gripper cu ventuze. Elementele de sucțiune provin de la compania Piab. Gripperul de tip vacuum are 4 ventuze pentru manipularea panourilor de sticlă.

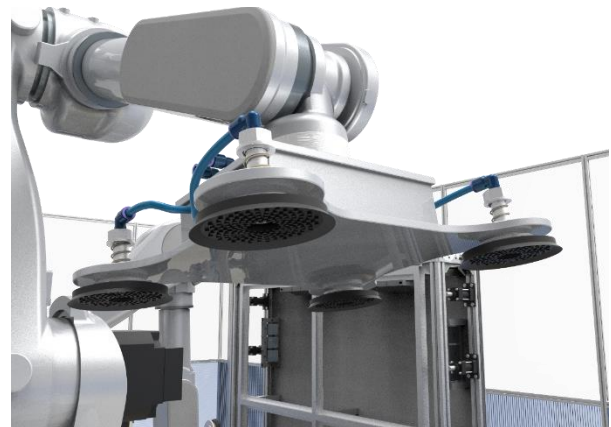


Fig. 5 Modelul 3D al efectorului pneumatic atașat robotului Kawasaki RS030N

4 SPECIFICUL SIMULĂRII

Componentele modelate au fost asamblate în Siemens NX 10 folosind constrângeri. Simularea funcționării celulei a fost realizată în Tecnomatix Process Simulate 10. În imaginea de mai jos se prezintă structura cinematică a robotului și a manipulatorului în 5 axe comandate numeric.

Realizarea cinematicii în Process Simulate a unui obiect s-a făcut în Kinematics Editor.

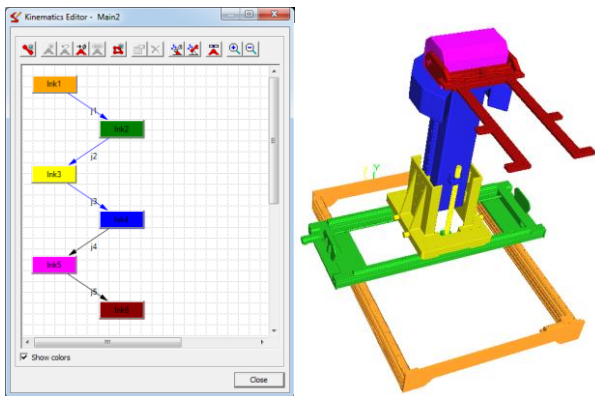


Fig. 6 Schema cinematică a manipulatorului

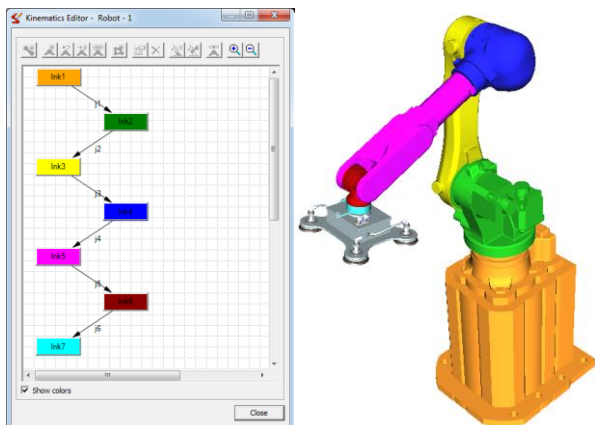


Fig. 7 Schema cinematică a robotului Kawasaki

Pentru definirea cuplelor de translație, se face o legătură între cuplele respective (1-2,2-3,3-4) și se deschide fereastra Joint Properties. În această fereastră putem defini numele cuplei ($j1, j2, j3$), axa de translație (Axis-From/To), tipul cuplei (Prismatic), limitele cuplelor (măsurată în mm) și viteza/acelerația maximă a cuplelor (măsurată în mm/s)

Pentru definirea cuplelor de rotație, se face o legătură între cuplele respective (4-5,5-6) și se deschide fereastra Joint Properties. În această fereastră putem defini numele cuplei ($j4, j5$), axa de rotație (Axis-From/To), tipul cuplei (Revolute), limitele cuplelor (măsurată în grade) și viteza/acelerația maximă a cuplelor (măsurată în grade/s)

Definire efector pentru robot se realizează selectând modelul 3D al gripperului, se setează punctele Tool Center Point și Base Frame, entitățile ce realizează prehensiunea și se apasă OK

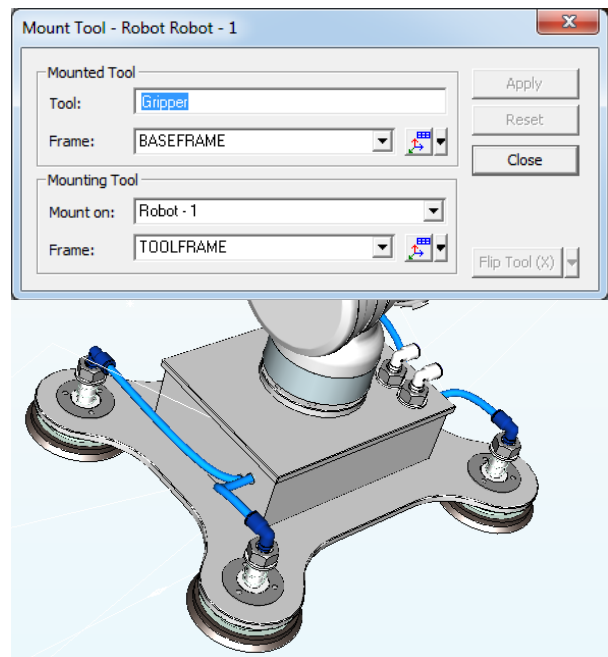


Fig. 8 Atașarea gripperului la robot

După definirea grafului cinematic al robotului și al manipulatorului, s-au creat operațiile de pick and place, detaliate în imaginile de jos.

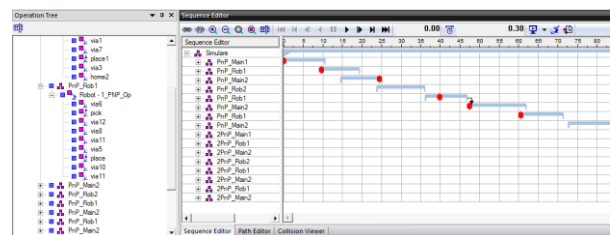


Fig. 9 Lista de operații a simulării

Fiecare operație are definit un robot, iar robotul are comenzi instruite pentru operații de manipulare

5 SPECIFICUL PROGRAMĂRII

În acest capitol s-a prezentat realizarea programării offline a celulei.

În următoarea figură este prezentat blocul logic al celulei, cel care conectează semnalele de la senzori cu semnalele de la roboți și de la manipuloarele în 5 axe CN.

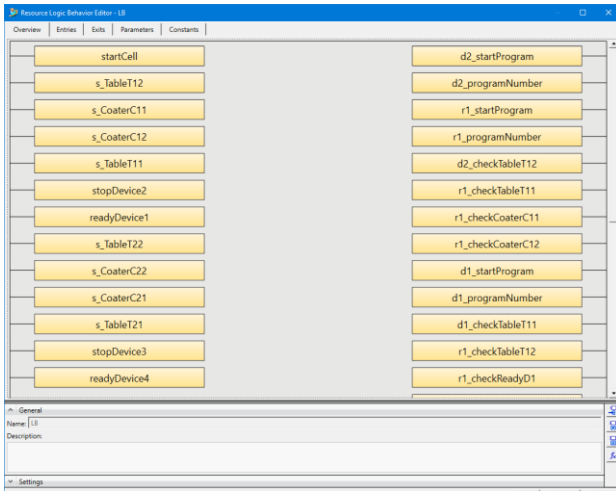


Fig. 10 Blocul logic al întregii celule

Pentru o funcționare corectă a celulei s-au realizat încă două blocuri logice, pentru sincronizarea între robot și manipulator pentru a nu se produce o coliziune în spațiul de lucru comun (figura 12) al celor două dispozitive.

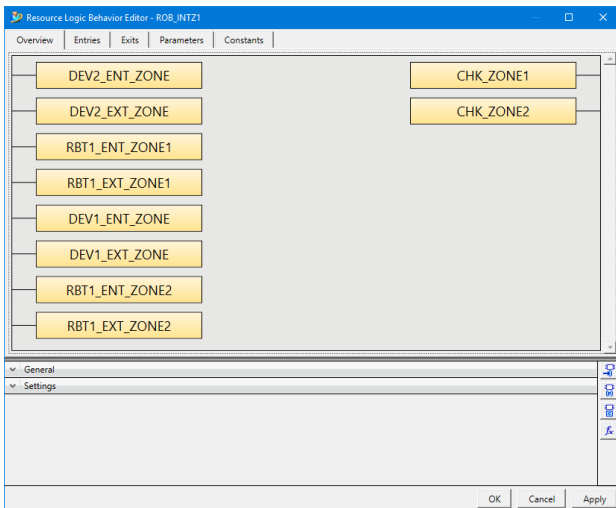


Fig. 11 Blocul logic pentru interferență robot-manipulator

Pentru evitarea coliziunii s-au pus comenzi OLP pe operațiile dinaintea zone de interferență (comandă de așteptare semnal checkZone) și în același punct s-au pus și două comenzi de setare semnal și anume setare enterZone pe valoarea 1 și exitZone pe valoarea 0, iar robotul când a ieșit din zona de interferență, enterZone va fi setat pe 0 iar exitZone va fi setat pe 1, iar semnalul checkZone va fi setat pe 0 din legăturile realizate prin logic bloc, o legătură de tip SetReset între semnalele de intrare și ieșire robot sau manipulator.

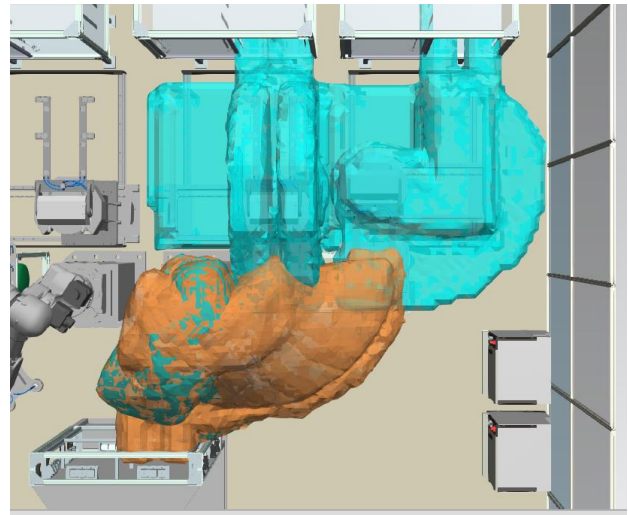


Fig. 12 Volumul de lucru pentru robot (portocaliu) și manipulator (albastru)

Fiecare operație are definit un robot, iar robotul are comenzi instruite pentru operații de manipulare

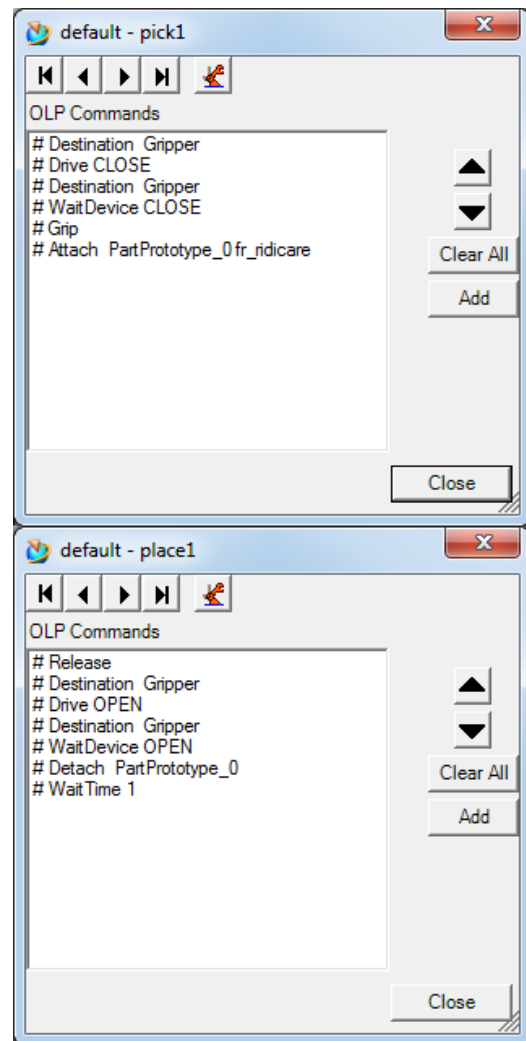


Fig. 13 Panoul TeachPendant pentru operațiile robotului de pick and place

În următoarea imagine este prezentat panoul de simulare pentru celulă, având un singur semnal de tip Key, cel de pornire celulă (și implicit roboții și manipuloarele din logic bloc), senzori fizici aflați în celulă (de prezență piesă masă suport și prezență piesă dispozitiv procesare) și semnalele pentru funcționare a roboților și manipuloarelor precum de startProgram, programNumber, checkZone, checkTable, checkCoater, enterZone și exitZone.

Simulation	Inp...	Outp...	LB
Master_PnP			
Start	Green		
Sensors			
S_Coater_C11	Green		
S_Coater_C12	Red		
S_Coater_C21	Green		
S_Coater_C22	Red		
S_Table_T11	Red		
S_Table_T12	Green		
S_Table_T21	Green		
S_Table_T22	Red		
Device1			
Device_1_checkTableT11		Red	
Device_1_checkZone		Red	
Device_1_enterZone	Red		
Device_1_exitZone	Red		
Device_1_programNumber		1	
Device_1_robotReady	Red		
Device_1_startProgram		Red	
Device2			
Device_2_checkTableT12		Green	
Device_2_checkZone		Green	
Device_2_enterZone	Red		
Device_2_exitZone	Green		
Device_2_programNumber		1	
Device_2_robotReady	Red		
Device_2_startProgram		Red	
Device3			
Device4			
Robot1			
Kawasaki_R1_checkCoaterC11		Green	
Kawasaki_R1_checkCoaterC12		Red	
Kawasaki_R1_checkReadyD1		Red	
Kawasaki_R1_checkTableT11		Red	
Kawasaki_R1_checkTableT12		Green	
Kawasaki_R1_checkZone1		Green	
Kawasaki_R1_checkZone2		Red	
Kawasaki_R1_enterZone1	Red		
Kawasaki_R1_enterZone2	Red		
Kawasaki_R1_exitZone1	Green		
Kawasaki_R1_exitZone2	Red		
Kawasaki_R1_programNumber		1	
Kawasaki_R1_robotReady	Red		
Kawasaki_R1_startProgram		Green	
Robot2			
Kawasaki_R2_checkCoaterC21		Green	
Kawasaki_R2_checkCoaterC22		Red	
Kawasaki_R2_checkReadyD4		Red	
Kawasaki_R2_checkTableT21		Green	
Kawasaki_R2_checkTableT22		Green	
Kawasaki_R2_checkZone1		Green	
Kawasaki_R2_checkZone2		Red	
Kawasaki_R2_enterZone1	Red		
Kawasaki_R2_enterZone2	Red		
Kawasaki_R2_exitZone1	Green		

Fig. 14 Panoul de simulare pentru celulă

În imaginea următoare se poate vedea funcționarea întregii celule în mediul de lucru Process Simulate 13.1.1

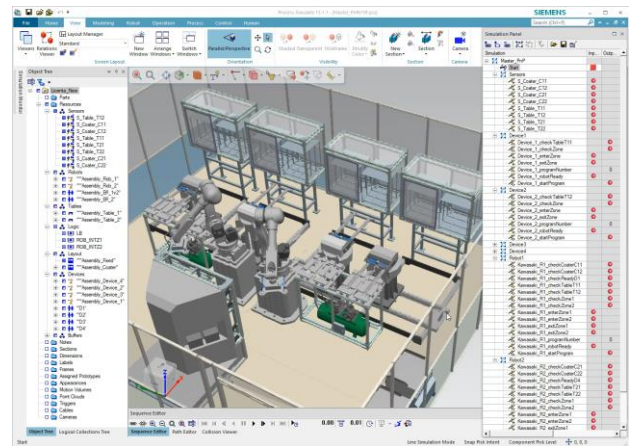


Fig. 15 Simularea celulei folosind Process Simulate

6 CONCLUZII

Process Simulate este un instrument foarte util pentru programarea și simularea offline a unui proces industrial folosind o gamă foarte largă de roboți și dispozitive mecatronice

Virtual Comissioning este posibil folosind PS

În viitor: Conectare celulă la PLC Siemens (convertire semnale bloc logic => PLC) și Interfațare HMI (status celulă, status semnale)

7 BIBLIOGRAFIE

- [1] Articol despre celula robotizată - http://www.vdma.org/en_GB/article/-/articleview/3963094
- [2] Patent Grenzebach - <https://google.com/patents/DE102008045369B4?cl=en>
- [3] Patent Grenzebach - <https://www.google.com/patents/US20110020097>
- [4] Robot braț articulat KUKA KR30 – 3 CR - http://www.kuka-robotics.com/en/products/industrial_robots/special/lean_room_robots/kr30_3_cr/
- [5] Robot braț articulat ABB IRB 2400 - <http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-2400>
- [6] Robot braț articulat Kawasaki RS030N - <https://robotics.kawasaki.com/en1/products/robots/small-medium-payloads/RS030N/index.html>
- [7] Nicolescu, A. – Implementarea Robotilor Industriali in Sistemele de Productie, note de curs si metodologii de proiectare, UPB, 2015
- [8] Dobrescu T., Pascu N. – Roboti industriali Incercare si receptie, Editura Bren, ISBN-973-648-115-8, București, 2003

SIMULAREA ȘI PROGRAMAREA OFFLINE A UNEI LINII DE REPARARE PALEȚI DIN LEMN UTILIZÂND PROCESS SIMULATE

Eugen Mihai ZOSIM

Conducător științific: Prof. dr. ing. Florin Adrian NICOLESCU

REZUMAT: În această lucrare am realizat simularea și programarea unei linii de reparare a paleților din lemn, care integrează în componența ei patru celule și patru roboți industriali de tip braț articulată. În primul rând am să prezint celulele care fac parte din componența acestei linii, după care o să prezint simularea și programarea offline a aplicației.

Prototipul virtual al acestei aplicații a fost realizat în programul Siemens NX 10, iar simularea și programarea offline au fost realizate în programul Tecnomatix Process Simulate.

CUVINTE CHEIE: NX10, Process Simulate, reparare paleți, simularea, programare offline.

1 INTRODUCERE

Linia realizată face parte dintr-o aplicație de reparare a paleților din lemn, scopul ei fiind tăierea elementelor deteriorate din componenta unui palet de lemn și repararea acestora.

Deoarece paleții de lemn sunt ușor de deteriorat s-a decis, din motive economice și ecologice, ca cea mai viabilă soluție este repararea acestora sau dezmembrarea și re folosirea elementelor paletului în fabricarea altor paleți.

2 STADIUL ACTUAL

Repararea se realizează preponderentă doar manual, fiind utilizate unelte speciale și operatori umani.

Recent firme precum CHEP, Motoman, Jointec, PRS, Ekatech au început să dezvolte celule automatizate pentru repararea paletelor, iar tot aceste firme au implementat soluții robotizate. Avantajul acestor soluții este productivitatea sporită, dar a condus și la un mediu de lucru mai sigur pentru operatorii umani.

Robotii folosiți în acest tip de aplicații au doar rol de manipulare al paletului, toată operația de dezmembrare realizându-se folosind mașini speciale.

În majoritatea cazurilor pentru a realiza o celulă/linie nu se realizează o programare offline a acesteia, ci doar o simulare ciclică (time based).

3 DESCRIEREA APLICATIEI

În cadrul acestui capitol este prezentată linia de reparare a paleților, realizată într-un mediu de proiectare 3D, programul folosit fiind Siemens NX 10.

Această aplicație se deosebește de celelalte prin gradul ridicat de automatizare. Principalul avantaj al acestei aplicații este productivitatea ridicată: 1000 de paleți reparați în 8 ore de lucru cu un singur operator uman. În comparație o aplicație clasică care folosește operatori umani pentru a repara paleții are o productivitate de 25 de paleți pe ora, pe operator uman.

Linia de fabricație flexibilă dedicată operațiilor de reparare a paleților de lemn de tip EUR1 este prezentată în figura 3.1.1. Această soluție folosește 2 roboți industriali Motoman ES165D-100 echipați cu efectori dedicați manipulării paleților în vederea operației de dezmembrare, 2 roboți industriali Motoman ES165D-100 echipați cu efectori dedicați operației de reparare și un robot Motoman echipat cu efector dedicat operațiilor de așchiere.

Pentru transportul paleților se folosesc conveioare cu role și conveioare cu lanț.

Pentru vizualizarea amplasării elementelor componente din cadrul liniei, dar și pentru înțelegerea modului de lucru, în figura 1 este prezentată linia.

¹ Specializarea Robotica, Facultatea IMST;

E-mail: zosim.mihai857@gmail.com;

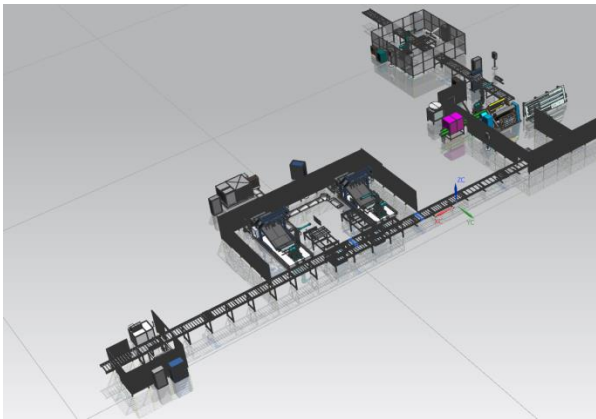


Fig.1. Vederea izometrică a liniei

3.1 Celula de inspecție a paletilor

Celula are rolul de a inspecta paletul în vederea reparării acestuia. Acest lucru se realizează cu ajutorul unui operator uman, care identifică elementele deteriorate ale paletului și le selectează folosind un soft dedicat. După ce este inspectat, paletul este depus pe conveior și transportat la celula de dezmembrare.

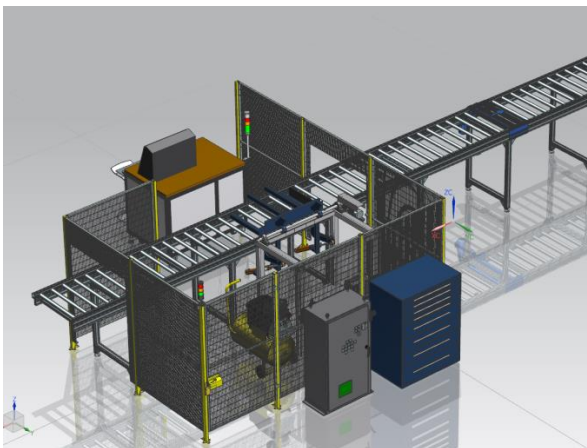


Fig.2. Vederea izometrică a celulei de inspecție

3.2 Celula de dezmembrare a paletilor

Rolul acestei celule este de a tăia elementele deteriorate ale unui palet EUR1. Robotul preia de pe conveior paletul, cu un efector dedicat acestui tip de operații, după care paletul este introdus într-o mașină de tăiat palet. După ce a fost tăiat paletul este depus pe un alt conveior și transportat la celula de reparat.

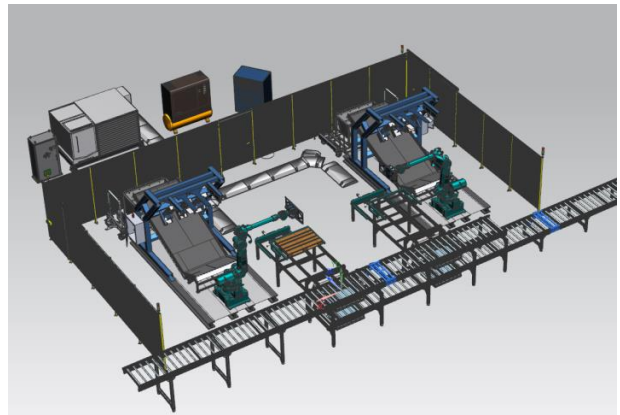


Fig.3. Vederea izometrică a celulei de dezmembrare

3.3 Celulă de reparare paletii

Această celulă are rolul de a repara paletii dezmembrați în operația anterioară. Pentru a realiza această operație este nevoie de un robot echipat cu un efector dedicat operațiilor de reparare, dar și de un sistem perirobotic special pentru paletii.

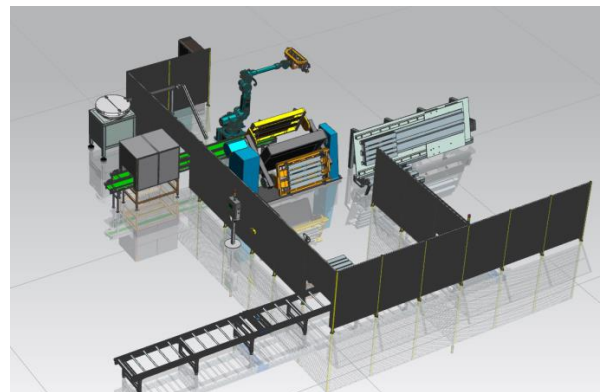


Fig. 4. Vederea izometrică a celulei de reparare

3.4 Stația de presare cuie

Această stație are rolul de a presa cuiele care nu au intrat total în palet. După ce au fost reparați paletii sunt depuși pe un conveior special, după care ei ajung în dreptul preseii hidraulice, care efectuează operația de presare. La sfârșitul operației, paletul ajunge în celula de așchiere.

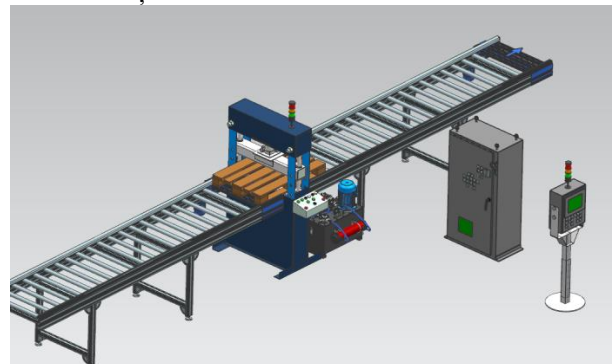


Fig. 5. Vederea izometrică a stației

3.5 Celulă de aşchiere

Celula de aşchiere are rolul de a prelucra elementele reparate ale paletului. Astfel după ce este reparat, paletul ajunge în celula de aşchiere, unde este acesta este prelucrat cu ajutorul unui robot echipat cu un efector de aşchiere. Pentru a fi prelucrate toate elementele paletului, în celulă am introdus și un sistem perirobotic.

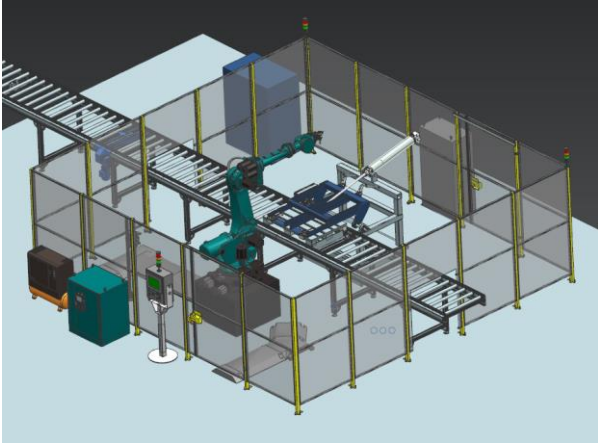


Fig. 6. Vederea izometrică a celulei de aşchiere

4 SPECIFICUL SIMULĂRII

Proiectarea subsistemelor componente ale celulei s-a realizat în programul de modelare NX 10, acestea fiind salvate în format special (.jt) pentru a fi importate într-un soft specializat pentru simularea și programarea offline a celulelor robotizate, și anume Process Simulate.

Process Simulate este un soft folosit pentru design-ul și simularea celulelor robotizate. În Process Simulate, simularea procesului se realizează cronologic sau pe baza de semnale digitale. Process Simulate este un design workcell și instrument de simulare care permite dezvoltarea, simularea, optimizarea, validarea și programarea offline a multiplelor dispozitive de robotică și procesele automate de fabricație. Acesta este un design workcell și instrument de simulare care permite dezvoltarea, simularea, optimizarea, validarea și programarea offline a multiplelor dispozitive de robotică și procesele automate de fabricație. Acesta este un design workcell și instrument de simulare care permite dezvoltarea, simularea, optimizarea, validarea și programarea offline a multiplelor dispozitive de robotică și procesele automate de fabricație.

4.1 Segmentarea ansamblului:

Robotul Motoman ES165D-100 este introdus în baza de date a programului, fiind împărțit pe segmente pentru a facilita definirea cuplelor de rotație, după cum se poate observa în figura 7.

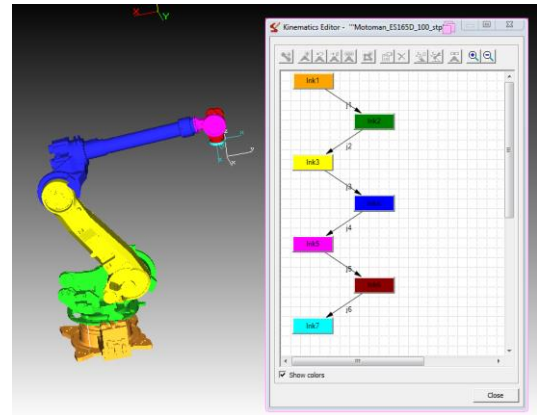


Fig. 7. Schema cinematică a robotului

4.2 Definirea cuplelor robotului:

Pentru posibilitatea de mișcare între segmente este necesar să se definească cuplele (Joint). Robotul Motoman ES165D-100 are în componență doar cuple de rotație, în figura 9 este prezentată o singură cuplă, pentru exemplificare. În aceeași figura se pot observa coordonatele axei în jurul căreia cupla subordonată pivotează. Pentru a respecta limitele reale de mișcare ale robotului, este necesar ca acestea să fie introduse și în program, tot aici fiind definite și valorile pentru: cursă, viteză și accelerație.

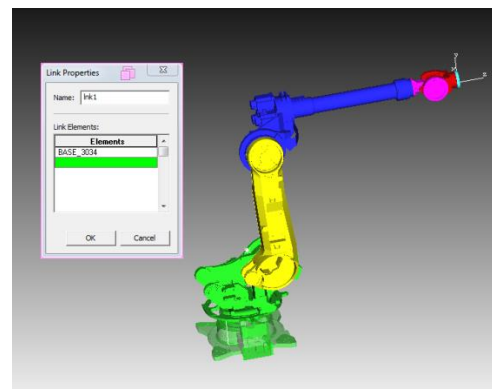


Fig. 8. Definirea cuplelor

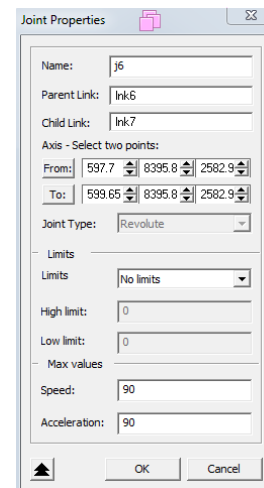


Fig. 9. Proprietățile cuplei

4.3 Definirea pozițiilor majore ale robotului:

Deoarece robotul introdus de mine în cadrul celei, nu este folosit în poziția de referință dată de producător, a fost necesară definirea unor poziții de lucru. Poziția de lucru nu coincide cu poziția de referință (HOME), ea fiind înregistrată în program sub numele de Pounce (Fig. 10). Aceste poziții vor apărea în simularea realizată, fiind posibilă interschimbarea, cu ajutorul semnalelor transmise.

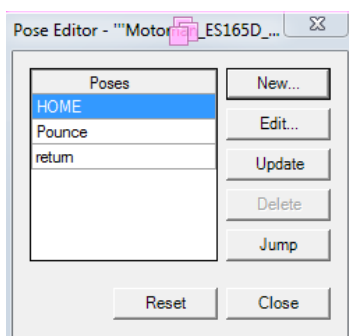


Fig. 10. Definirea pozițiilor

4.4 Definirea sistemelor de coordonate:

Pasul final îl reprezintă definirea sistemului de coordonate al bazei (BASE FRAME) și punctului caracteristic (TOOL CENTER POINT FRAME). După definirea tuturor parametrilor menționați anterior, programul interpolează mișcările fiecărei cuple pentru a fi posibilă atingerea locației dorite prin simpla manipulare a punctului caracteristic (Fig. 11).

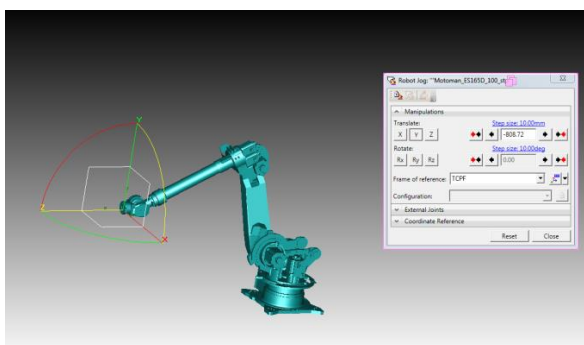


Fig. 11. Interpolarea mișcării

5 SPECIFICUL PROGRAMĂRII

Pentru programarea robotului sunt necesare următoarele etape:

5.1 Montarea efectorului pe robot:

Robotul este echipat cu un efector dedicat de manipulare paleți din lemn. La definirea acestuia am stabilit punctul caracteristic între bacurile de prindere. Tot pentru efector am stabilit și pozițiile de închis și deschis pentru preluarea paletului.

5.2 Definirea traiectoriei:

Definirea traiectoriilor prin care robotul urmează să treacă cu punctul caracteristic de pe efector, este cea mai importantă etapă. Pentru a prelua paletul, robotul trebuie să coboare, apoi să manipuleze paletul până la mașina de dezmembrat. După efectuarea tuturor operațiilor de către mașina de dezmembrat, robotul depune paletul pe un conveier, după care se întoarce pentru a prelua următorul palet de pe conveier.

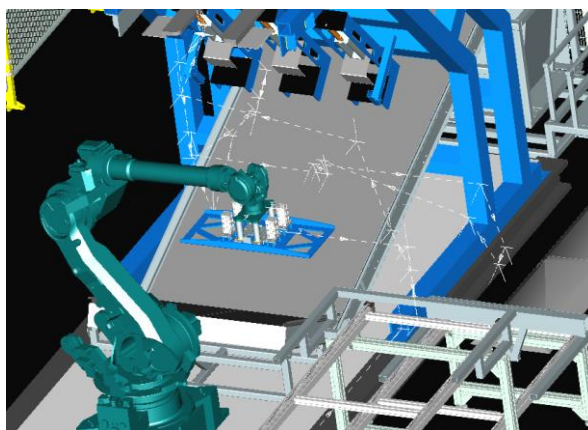


Fig. 12. Definirea traiectoriilor

5.3 Definirea proprietăților punctelor de pe traiectorie:

După finalizarea traiectoriei, verificarea coliziunilor și realizarea zonei de interferență, am stabilit tipul mișcărilor și viteza pentru fiecare, prin intermediul teach pendantului.

Pentru a reduce timpul de execuție a programului, am definit atribute de tip: zona și viteza de acționare și tipul de mișcare executat.

Paths & Locations	Path #	Attachment	Motion Type	Process Type
home			PTP	
via2			PTP	
pick			PTP	
via			PTP	
via1			PTP	
via4			PTP	
via5			PTP	
center up			PTP	
left up			PTP	
right up			PTP	
via6			LIN	
via7			LIN	

Fig. 13. Tabel de atribute

Câmpul “Motion Type” indică tipul de mișcare executat de robot pentru a ajunge în locația dată. Mișcarea de tip “PTP” este o mișcare de tip point-to-point, adică punct la punct, robotul urmând o traiectorie directă de la un punct la altul, iar mișcarea de tip “Linear” constrânge robotul să urmeze o traiectorie liniară, fiind folosită doar atunci când este necesară atingerea locației cu precizie.

5.4 Programarea celulei:

Ultima etapă este programarea offline a întregii celule, mai precis interacțiunea dintre robot și celelalte elemente componente ale celulei. În figura 14 este prezentată comanda către efector, pentru închiderea sistemului de prindere, în vederea efectuării operației de tip place. Robotul este obligat să nu plece de pe punct până când efectorul ajunge în poziția de CLOSED de către comanda WAIT DEVICE CLOSED.

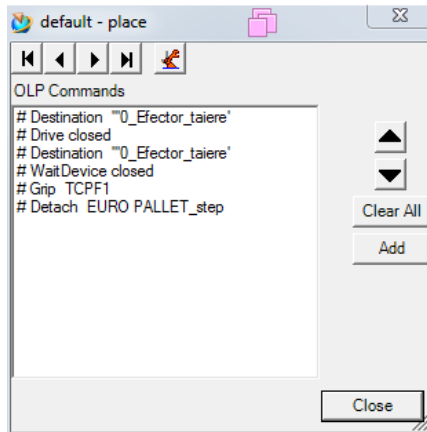


Fig. 14. Comanda de tip place a efectorului

Programul Process Simulate este capabil să realizeze și o simulare a modului în care un controller programabil logic controlează întreaga operație din cadrul unei celule realizate, în cazul de față toate componentele celulei prezentate sunt controlate prin intermediul semnalelor. În figura 15 se poate observa schema logică a unui gard de siguranță.

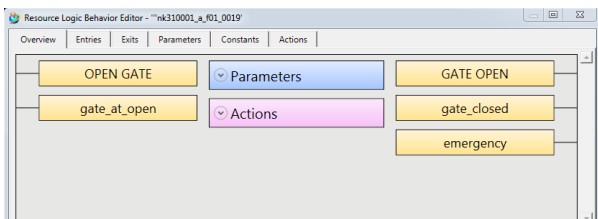


Fig. 15. Schemă logică gard de protecție

Acest gard are rolul de a opri toată operația realizată de robot, atunci când poarta de acces în celulă este deschisă. Pentru a realiza acest lucru am definit un semnal activat manual (OPEN_GATE) prin care pot controla deschiderea și închiderea porții. Semnalele de ieșire (GATE_OPEN și EMERGENCY) sunt semnale care sunt trimise către robot, atunci când blocul logic detectează deschiderea porții.

Name	Type	Connected Signals	Description
OPEN_GATE	Bool	open_gate	
gate_at_open	Bool	gate_open	

Fig. 16. Semnale de intrare

Name	Type	Connected Signals	Description
GATE_OPEN	Bool	gate_open	
gate_closed	Bool	gate_closed	
emergency	Bool	motoman_sus_emergency	

Fig. 17. Semnale de ieșire

Pentru a detecta dacă poarta este deschisă, în blocul logic am definit doi parametri (GATE_NOT_CLOSED și GATE_CLOSED2) care detectează atunci când poarta iese din câmpul de măsurare definit (-0.02 la 0.02).

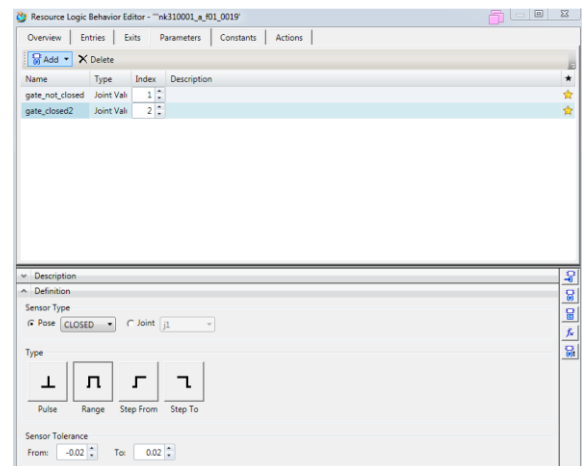


Fig. 18. Parametri

Pentru a deschide și închide poarta, am definit două poziții (OPEN_GATE și CLOSE_GATE) care sunt acționate atunci când semnalul OPEN_GATE este activat.

După ce am definit toate semnalele gardului, am trecut la semnalele robotului. În figura 20 se pot observa toate semnalele definite pentru robot, în special semnalul emergencyStop, care este legat la gard.

Name	Type	Apply To	Description
open_gate	Move To	OPEN	
close_gate	Move To	CLOSED	

Fig. 19. Deschiderea și închiderea porții

PLC Signal Name	Robot Signal Name	I/O	Signal Function	HW T...	Address
"Motoman_ES165D_100_stp_startPro...	startProgram	Q	Starting Program	BOOL	No Address
"Motoman_ES165D_100_stp_progra...	programNumber	Q	Program Number	BYTE	No Address
"Motoman_ES165D_100_stp_emerge...	emergencyStop	Q	Program Emergency Stop	BOOL	No Address
"Motoman_ES165D_100_stp_progra...	programPause	Q	Program Pause	BOOL	No Address
"Motoman_ES165D_100_stp_progra...	programEnded	I	Ending Program	BOOL	No Address
"Motoman_ES165D_100_stp_mirrorPr...	mirrorProgramNumber	I	Mirror Program Number	BYTE	No Address
"Motoman_ES165D_100_stp_errorPro...	errorProgramNumber	I	Error Program Number	BOOL	No Address
"Motoman_ES165D_100_stp_robotR...	robotReady	I	Robot Ready	BOOL	No Address
"Motoman_ES165D_100_stp_at_HO...	HOME	I	Pose Signal	BOOL	No Address
"Motoman_ES165D_100_stp_at_Pou...	Pounce	I	Pose Signal	BOOL	No Address
"Motoman_ES165D_100_stp_at_return	return	I	Pose Signal	BOOL	No Address

Fig. 20. Semnalele robotului

Am definit și un bloc logic pentru un semafor industrial, care comută între modurile RUN, READY și FAULT atunci când operația este în curs sau când apare o eroare. Acest semafor a fost legat la robot și la gardul de protecție.

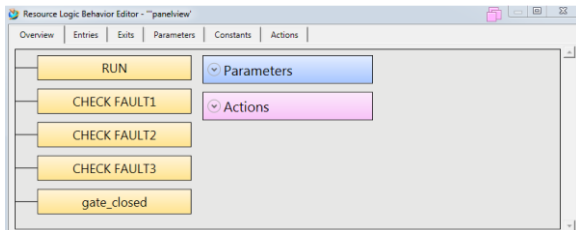


Fig. 21. Schemă logică pentru semafor

Din teach pendant am stabilit semnalele de așteptare pentru a opri robotul în punctul de intrare în zona de interferență, în felul acesta doar un singur robot se poate afla în această zonă.

Din teach pendant am stabilit semnalele de așteptare pentru a opri robotul în punctul de intrare în zona de interferență, în felul acesta doar un singur robot se poate afla în această zonă.

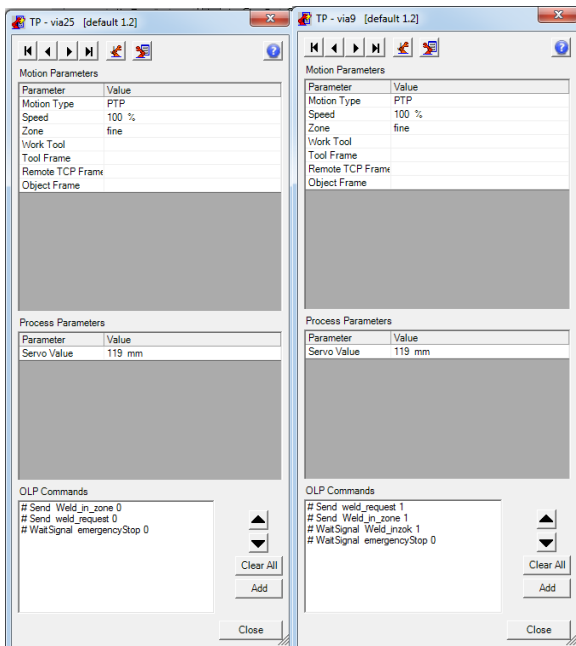


Fig. 22. Teach pendant

Controlul în celula studiată se realizează prin detecția paletului. Dacă acesta nu este detectat de senzori, atunci procesul robotizat este oprit.

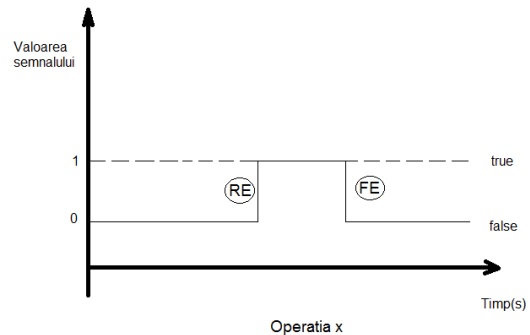


Fig. 23. Semnal

Rising edge (RE) – semnalul se activează atunci când se trece de la valoarea 0 la 1 și se ignoră trecerea de la 1 la 0.

Falling edge (FE) – semnalul se activează atunci când se trece de la valoarea 1 la 0 și se ignoră trecerea de la 0 la 1.

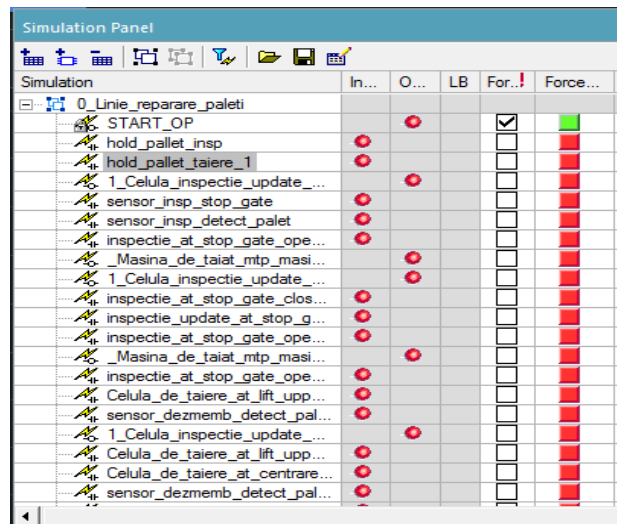


Fig. 24. Panoul de simulare

6 OPERAȚII EFECTUATE ÎN CELULA DE DEZMEMBRARE:

Prima operație efectuată este cea în care robotul preia, de pe un conveier cu lanț, paletul (Fig. 25) și îl manipulează până în partea superioară a mașinii de tăiat (Fig. 26).

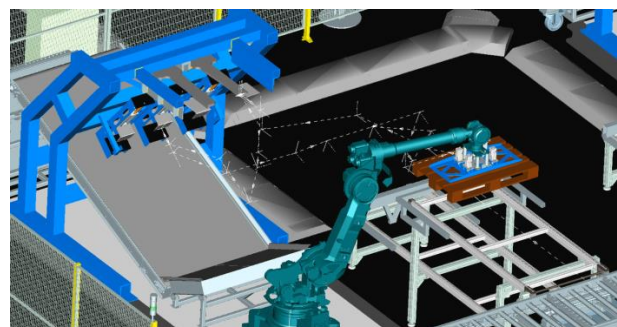


Fig. 25. Preluare palet

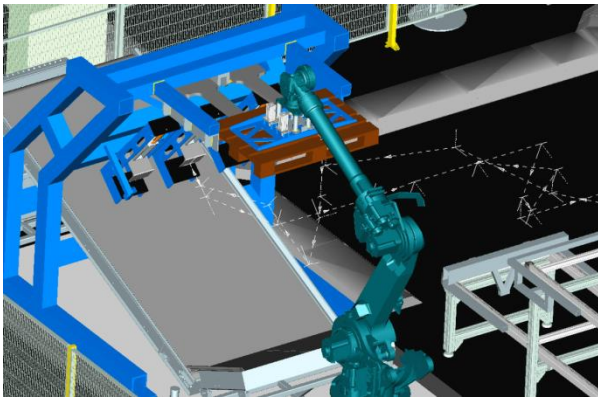


Fig. 26. Manipulare palet – tăiere superioară

După terminarea operației de tăiere (Fig. 27), paletul este manipulat de robot (Fig. 28) în vederea realizării tăierii pe partea inferioară a mașinii (Fig. 29).

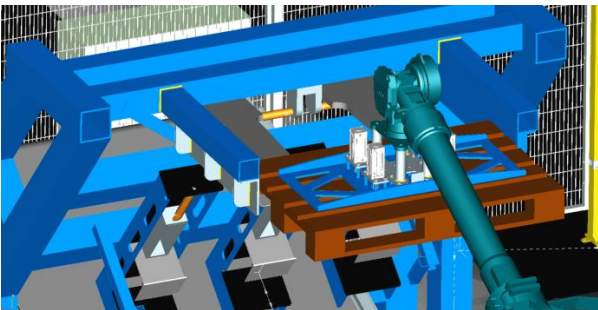


Fig. 27. Operația de tăiere

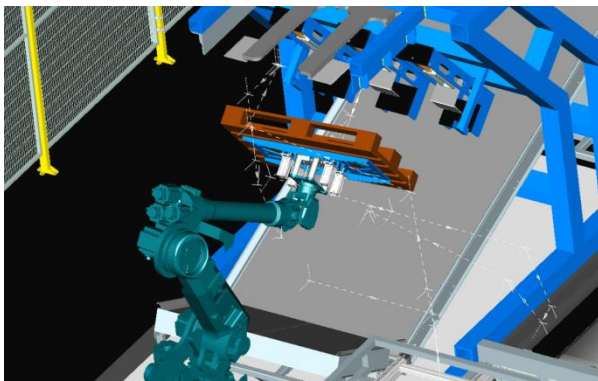


Fig. 28. Manipulare palet

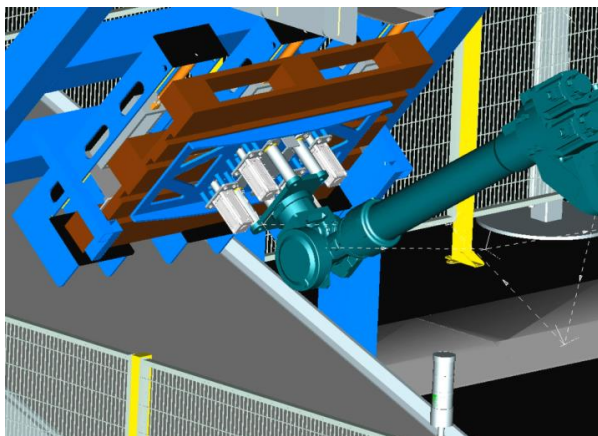


Fig. 29. Operația de tăiere

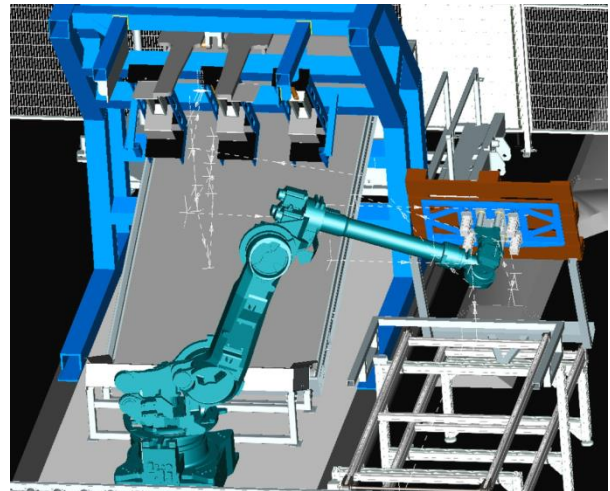


Fig. 30. Depunere pe conveior

7 CONCLUZII

Abilitățile programului Process Simulate permit un control avansat pentru tot procesul.

Instrumentele de identificare a problemelor facilitează programarea și reduce timpul de lucru.

Se pot folosi diferite metode de programare.

8 BIBLIOGRAFIE

- [1]. Nicolescu, A. – Implementarea Roboților Industriali in Sistemele de Producție, note de curs si metodologii de proiectare, UPB, 2016.
- [2]. Nicolescu, A. – “Concepția si Exploatarea Sistemelor de Producție Robotizate, note de curs si metodologii de proiectare”, UPB, 2013
- [3]. Nicolescu, A., Marinescu D., Ivan M., Avram C., – “Concepția si Exploatarea Sistemelor de Producție Robotizate”– Vol. I, Ed. Politehnica Press, 2011, ISBN 978 – 606 – 515 – 339 – 4, ISBN 978 – 606 – 515 – 340 – 0
- [4]. Patent Yaskawa US2013255077A1, 2013.
- [5]. Patent CHEP US20140131414, 2014.
- [6]. Patent CHEP US7765668, 2010.
- [7]. Patent Jointec EP2639008A1, 2013.
- [8]. Motoman – film de prezentare al aplicației: <https://www.youtube.com/watch?v=ap1hRdUFanE>
- [9]. Complete Pallet Repair Line - Adresa: <https://www.youtube.com/watch?v=vwTPzHJ6ugI>

UTILIZAREA INTERFEȚEI LEAP MOTION ÎN COMANDA ȘI CONTROLUL ROBOȚILOR EDUCAȚIONALI

HURBĂ Cosmin

Conducător științific: Prof. dr. ing. **Adrian NICOLESCU**

REZUMAT: Utilizarea interfețelor pentru recunoașterea gesturilor LEAP MOTION în comanda și controlul roboților educaționali. Utilizând limbajul de programare Java și Kit-ul de programare oferit pentru dispozitivul Leap Motion vom crea o realitate augmentată dintr-un spațiu de lucru virtual al mașinilor. Codul ajută la transformarea semnalului captat de camerele dispozitivului (un punct într-un spațiu 3d poate fi interpretat ca o matrice) în orice linie de cod care poate fi mai departe transformată într-o comandă a unui program.

CUVINTE CHEIE: Controlul Robotului cu mâna utilizatorului.

1 INTRODUCERE

Cercetări în controlul aplicațiilor mecanizate/robotizate prin sisteme de interacțiune cu omul au fost făcute de la începutul implementării sistemelor de calcul moderne.

La momentul actual datorită tehnologiilor mult mai complexe decât în trecut care permit în primul rând miniaturizarea senzorilor, camerelor, dispozitivelor de detecție a mișcării, a sunetului, a vibrațiilor, prezenței, șamd, interacțiunea se realizează aproape fără întârziere. Practic, un utilizator indiferent dacă cunoaște sau nu dispozitivele tehnologice din spatele unui sistem, îl poate utiliza pentru a mișca un robot, de exemplu, în timp real. Orice tehnician poate să mână un robot cu ajutorul unei mânuși sau a unui sistem wireless de detecție a mișcării. Dar secretul se află în spatele dispozitivelor, secretul se află în codul de bază cu ajutorul cărora sunt interpretate toate datele de intrare a senzorilor iar asta se realizează cu ajutorul codului scris în toate programele și sub-rutinele.

Mai departe voi detalia cum se poate controla un robot educațional cu ajutorul mâinii. Pentru asta am folosit un dispozitiv numit Leap Motion și robotul educațional. Aceste două părți hardware le-am „legat” prin intermediul portului USB cu ajutorul unui laptop. Inițial, pentru controlul robotului voi folosi interfața acestuia și controlerul Leap Motion și cu ajutorul programării voi face conexiunea între matricea 3d și robot.

2 STADIUL ACTUAL

În lucrare am urmărit să folosesc un dispozitiv de detecție a mișcărilor și gesturilor pentru a controla un robot de tip braț articulat. Conexiunea robotului la computer este realizată prin intermediul

unei plăci cu circuite integrate. Pentru comunicarea cu programul din Windows se folosește interfața USB. De asemenea, dispozitivul Leap Motion folosește, similar cu placa robotului, interfața USB pentru comunicarea cu calculatorul. Cel mai important aspect al acestei lucrări este programarea dispozitivului Leap Motion astfel încât fiecare mișcare și gest al mâinii să se traducă într-o mișcare a robotului.

Pentru scrierea codului am folosit librăriile Leap Motion. Acestea le-am importat în programul Eclipse pe care l-am folosit pentru scrierea codului și compilarea acestuia. Limbajul de programare folosit este Java. În subcapitole voi detalia toate procesele de conectare a dispozitivelor și un tutorial pentru începerea programării în scopul realizării programelor.

2.1 Prezentarea robotului educațional

Robotul vine în pachet dezamblat. Primul pas este asamblarea lui.

Asamblarea se face foarte ușor urmărind un ghid care este oferit odată cu robotul educațional. Este foarte interesant de observat sistemul de angrenare a mișcării: între motor și axa de rotație există patru roți dințate pentru creșterea cuplului.

Motoarele folosite la angrenarea robotului sunt de tipul Direct Current (DC). Alimentarea lor se face cu ajutorul a 4 baterii tip DR20 care oferă o tensiune de alimentare combinată de 6 Volti. Pentru acționarea motoarelor a fost folosit, în prima fază curentul dat de baterii.

¹ Specializarea Roboți Industriali, Facultatea IMST;

E-mail: cosmin.hurba@gmail.com;

Mai jos aveți o poză cu robotul complet asamblat și o detaliere a sistemului de angrenare cu roți dințate.



Fig. 1. Robotul asamblat

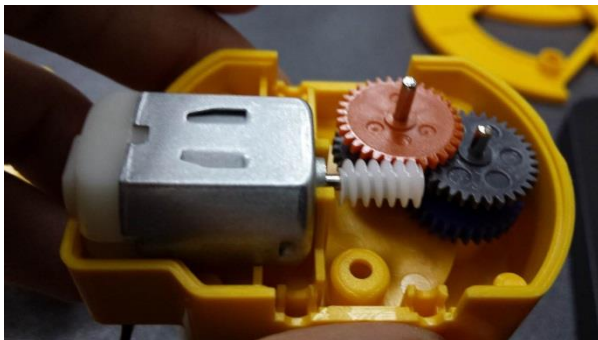


Fig. 2. Sistemul de angrenare

Pe placa se conectează motoarele robotului cu computerul regăsim driverul ST1152B pentru acționarea motoarelor. Acest driver oferă la o tensiune de 7 Volți - 1.5 Amperi maxim, suficient pentru greutatea robotului.

De asemenea microcontroler-ul folosit la interfațarea robotului cu computerul prin intermediul interfeței USB este EM78M612.

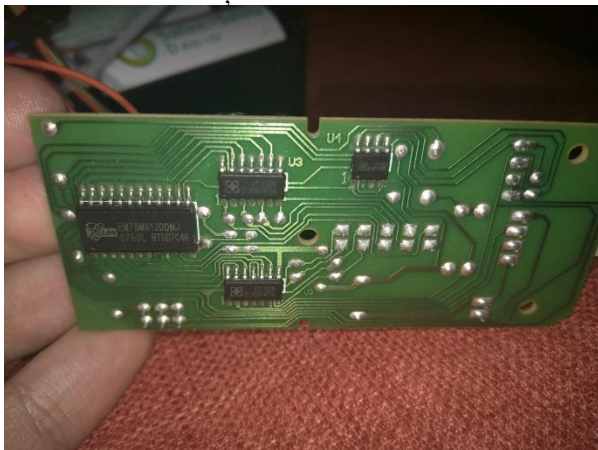


Fig. 3. Circuitele integrate de pe placa USB

2.2 Prezentarea dispozitivului LEAP Motion

Dispozitivul Leap are la bază două camere și trei LED-uri. Acestea urmăresc lumina din spectrul infraroșu, cu o lungime de undă de 850 nanometri, care se află în afara spectrului luminii

vizibile. Sensorii și camera sunt orientați în sus (atunci când dispozitivul se află în orientarea sa normală).

O caracteristică foarte interesantă pe care am observat-o în timp ce mă jucam cu dispozitivul este reglarea dinamică a puterii LED-urilor. Pe măsură ce mișcați mâna mai aproape de senzor, aparatul va estompa automat LED-urile pentru a preveni saturarea termoviziunii și pentru a păstra calitatea înaltă a datelor. LED-urile sunt ușor observabile cu ochiul liber ceea ce înseamnă că funcționează la o lungime de undă în infraroșu în apropierea sau sub 800 nm (exact cât ne este indicat din datele tehnice oferite de constructor).

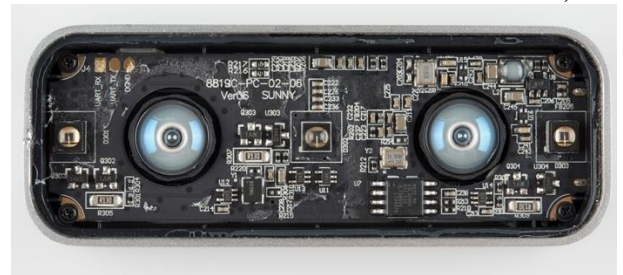


Fig.4 Vedere de sus fără sticla și protecția de cauciuc

Circuitul integrat aflat în dreapta jos, lângă cameră este o memorie flash NOR 32 Mbit într-un pachet de 8 pini SOIC. Memoria flash NOR este folosită mai frecvent în aplicații ca în acest caz în care nu sunt de așteptat foarte multe cicluri de ștergere de program; nivelul de scriere și implicit evitarea de bad-uri care însoțesc de obicei NAND flash-urile pur și simplu ar duce la creșterea costului de producție.

În colțul din stânga sus se pot observa trei puncte RX port-serial, TX și GND. Conectându-mă la ele am reușit să extrag doar un semnal de 3,3Volți. Nu am detectat nici un fel de date în primele secunde de la pornire așa că nu pot spune ce rată de transfer a datelor se folosește.

În colțul din dreapta sus, există un circuit de alimentare. Acest lucru mi-a sărit în ochi, deoarece inductorul din circuit este încastrat în epoxi, ceea ce sugerează că, la un moment dat în ciclul de dezvoltare, inginerii au descoperit că acesta tinde să se dezlipească și s-a luat un pas în plus pentru a remedia acest lucru. O atenție la detaliu care face diferența dintre un produs ieftin și unul de calitate.

2.3 Schema de ansamblu a sistemului

Astfel, sistemul constă din robotul educațional OWI 535, placa de comandă USB prin intermediul computerului și dispozitivul Leap Motion.

Programul realizat în Java traduce mișcarea mâinilor în semnale ce declanșează mișcarea motoarelor robotului.



Fig. 5 Sistemul funcționabil

Mai jos am realizat o schemă de conectare a dispozitivelor atât la nivel fizic cât și detalierea succintă a interconectării sistemelor software.

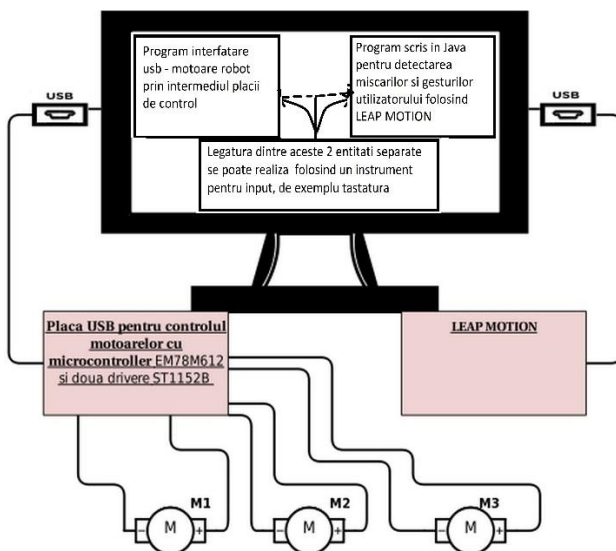


Fig. 6 Schema logica a sistemului

În schema M1, M2, M3 – reprezentarea motoarelor robotului folosite la acționarea gradelor de libertate specifice.

3 INSTALAREA, CONFIGURAREA ȘI PROGRAMAREA DISPOZITIVULUI LEAP MOTION

3.1 Softul Leap Motion

Dispozitivul Leap Motion vine la pachet cu o suită de aplicații gata realizate. Aceste aplicații pot fi downloadate odată ce driverul și softul inițial au fost instalate în sistem.

Dispozitivul este văzut de sistem ca un periferic și poate funcționa în background. Odată instalată, aplicația de detecție este permanent

deschisă și se găsește în toolbar-ul de jos de lângă ceas.

Aplicația care permite începerea interacțiunii dintre dispozitiv și sistem este prezentată sub formă de magazin virtual. În acest magazin se pot găsi programe gata scrise de dezvoltatorii sistemului Leap Motion cât și de utilizatori mai puțin experimentați.

Toate aplicațiile legate realizate pentru a fi folosite în modul „plug & play” pot fi rulate de orice utilizator. Modul în care acestea primesc date de la dispozitiv: aplicațiile celulează în „prim-plan” și sunt scrise cu codul specific dispozitivului primesc automat date de intrare de la serviciul Leap Motion care rulează în fundal în Windows. O aplicație compatibilă cu Leap se poate conecta la serviciul Leap Motion folosind biblioteca nativă Leap Motion.

Pentru a scrie aplicația în C++ sau Java se folosește o bibliotecă care trebuie accesată din una dintre librăriile limbajului disponibil. Aceste librării se găsesc pe site-ul producătorului. În capitolul următor voi detalia tot procesul de începere a programării cât și de scriere a unui program simplu care afișează pe ecran câte mâini au fost detectate, degete, gesturi, etc.

Aplicațiile pot rula fie în „prim-plan”, când este vorba de o aplicație care afișează mâna pe ecran sau îți permite să modifici diferite obiecte 3D cu ajutorul mâinii și a gesturilor, fie pot rula în fundal atunci când datele de intrare se folosesc la controlarea altor programe sau chiar a dispozitivelor de intrare, de exemplu mouse-ul sau tastatura.

În ambele cazuri serviciul Leap rulează în continuu în fundal și furnizează date în timp real indiferent de aplicațiile rulate.

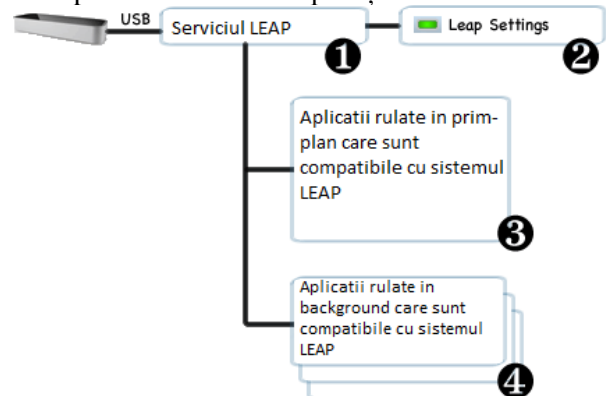


Fig. 7 Schema de funcționare a aplicațiilor native compatibile LEAP

Magazinul virtual oferă o soluție rapidă de a folosi dispozitivul fără a avea cunoștințe de programare, indiferent de aria de utilizare.

După un anumit timp de interacțiune continuă cu dispozitivul am observat că reprezentarea mâinii pe ecran a început să tremure și să se miște haotic. Pentru a rezolva această problemă cei ce au dezvoltat sistemul au implementat o opțiune de calibrare a dispozitivului.

Înainte de lansarea operațiunii de calibrare se poate verifica foarte ușor dacă legăturile dispozitivului cu calculatorul nu sunt optime. De asemenea orice urmă de zgârietură, amprente, ulei sau alte urme de pe sticla dispozitivului poate agrava detecția corectă a poziției mâinii, unghiului sau a degetelor.

Pentru asta, softul ne anunță în timp real prin notificări în windows dacă ceva este în neregulă, de exemplu dacă sticla este murdară – asta poate duce la detecții eronate. Despre starea conexiunii putem verifica și manual intrând în softul dispozitivului.

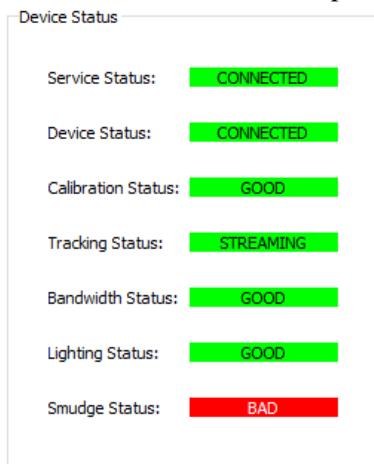


Fig. 8 Stare conexiunii dispozitivului

Am observat că totul funcționa la capacitate optimă și nu erau probleme cu conexiunea între sisteme, totuși, detecția era realizată cu erori. Mișcările nu erau detectate corect și mâna tremura pe ecran.

Procesul de calibrare este diferit de orice altul prin care am mai trecut de-a lungul experienței mele cu dispozitive utilizate la interacțiunea om-mășină.

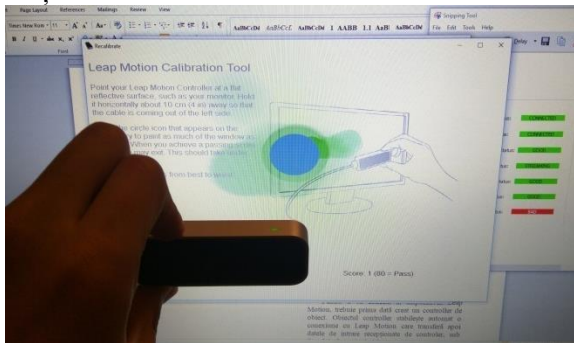


Fig. 9 Procesul de calibrare

Practic, acesta trebuie orientat spre o suprafață lucioasă și folosit ca o pensulă. Astfel, giroscopul și camerele care funcționează cu ajutorul luminii infraroșu sunt calibrate.

3.2 Pregătirea programului de scriere a codului în limbajul de programare JAVA pentru dispozitivul LEAP Motion

Înainte de a începe scrierea oricărui program vă voi trece prin fiecare etapă care, ulterior, cu ajutorul codului mi-a permis să controlez datele de intrare preluate de la dispozitivul Leap Motion.

Pentru scrierea codului cu ajutorul limbajului de programare JAVA am folosit programul Eclipse. Pentru ca acesta să recunoască datele de intrare a dispozitivului trebuie descărcate de pe site-ul producătorului LEAP Motion anumite librării specifice fiecărui limbaj de programare. În cazul de față, pentru JAVA am folosit librăria specifică acestui limbaj.

Librăriile folosite pentru controlul dispozitivului se găsesc pe pagina producătorului <https://developer.leapmotion.com/get-started>.

Este necesară verificarea versiunii Java instalate. Deocamdată dispozitivul funcționează doar cu versiunea java 1.7 sau 1.6. Pentru a verifica versiunea de Java instalată trebuie doar deschis un cmd și tastată comanda: „java – version”.

După instalarea programului Eclipse, pentru a folosi comenzile Leap am urmărit pașii:

- File - New - Java Project
- Înainte de a da next trebuie modificată opțiunea „Use an execution environment JRE” la versiunea JavaSE-1.7

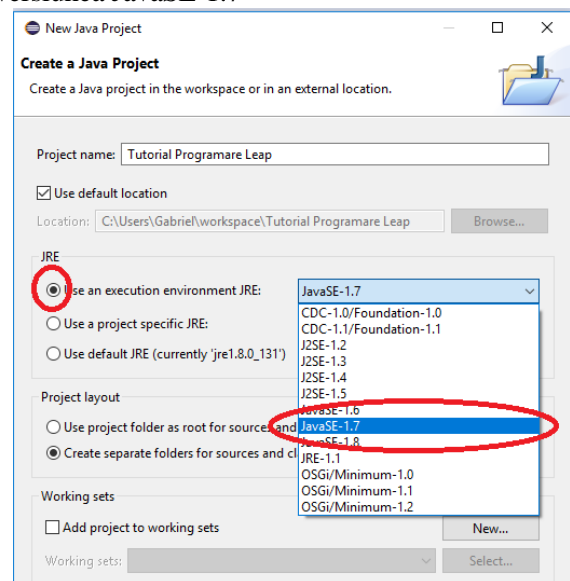


Fig. 10 Schimbarea Execution environment la JavaSE-1.7

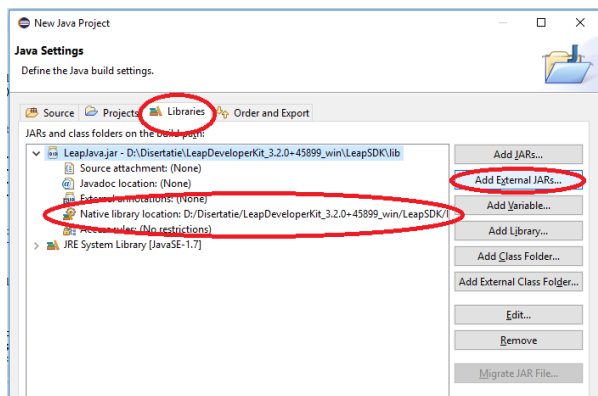


Fig. 11 Adăugarea librăriei externe Leap

- Adăugarea librăriei externe este un pas foarte important
- În tabul Libraries se apasă pe Add External JARs și se alege folderul unde a fost salvat fișierul downloadat de pe site-ul Leap
- Apoi se dă dublu click pe Native library location și se alege locația librăriei

Astea sunt implicațiile instalării programului în așa fel încât să poată detecta dispozitivul Leap și să se poată scrie cod care permite manipularea datelor de intrare.

Mai departe vă voi da un exemplu de cod scris care prelucrează datele de intrare a dispozitivului și realizează diferite acțiuni.

3.3 Detalierea liniilor de cod specifice fiecărei date de intrare de la dispozitivul Leap Motion

Pentru a vă conecta la dispozitivul Leap Motion, trebuie prima dată creat un controller de obiect. Obiectul *controller* stabilește automat o conexiune cu Leap Motion care transferă apoi datele de intrare recepționate de la dispozitiv, sub formă de frame (cadre) la cererea utilizatorului.

Linia de cod care realizează asta este:

```
Controller controller = new controller ();
```

Funcția *Controller* se utilizează pentru a obține informații despre starea conexiunii și hardware-ul conectat și pentru a seta opțiunile de conectare pentru aplicația proprie.

Următorul pas în programare este Obținerea de frame (cadre) de la dispozitiv.

Prin intermediul funcției *Controller.Frame()* programul primește obiecte de tip „Frame” care conțin date de intrare. Această funcție se poate apela de fiecare dată când aplicația este pregătită pentru a obține cele mai recent set de date generate de dispozitivul Leap Motion.

De asemenea, se poate implementa, un „Listener object” care definește o funcție de apel

invers, iar *controller* va invoca această funcție atunci când un nou cadru de date este gata.

Mai jos aveți un exemplu de program care detectează controllerul și afișează diferite informații:

- `import java.io.IOException;`
- `import com.leapmotion.leap.*;`
- `import com.leapmotion.leap.Gesture.State;`

Aceste linii sunt folosite pentru introducerea în program a librăriilor Leap Motion.

- `class LeapListener extends Listener`
- {

- `public void onInit(Controller controller) {`
- `System.out.println("Program Initializat");}`
- `public void onConnect(Controller controller) {`
- `System.out.println("Program conectat la Leap Motion");`

În aceasta serie de cod am inițializat programul care detectează dispozitivul atunci când acesta este conectat la computer.

- `controller.enableGesture(Gesture.Type.TYPE_SWIPE);`
- `controller.enableGesture(Gesture.Type.TYPE_CIRCLE);`
- `controller.enableGesture(Gesture.Type.TYPE_SCREEN_TAP);`
- `controller.enableGesture(Gesture.Type.TYPE_KEY_TAP);`
- }

- `public void onDisconnect(Controller controller) {`
- `System.out.println("LEAP Motion a fost deconectat");`
- }

- `public void onExit(Controller controller) {`
- `System.out.println("Exited");`
- }

- `public class LeapController {`
- `public static void main(String[] args) {`
- `//TODO Auto-generated method stub`

- `LeapListener listener = new LeapListener();`
- `Controller controller = new Controller();`

- `controller.addListener(listener);`
- `System.out.println("apasă Enter pentru a iesi");`

```

- try {
-     System.in.read();
-     } catch (IOException e) {
-         e.printStackTrace();
-     }
-     controller.removeListener(listener);
-     }
- }

```

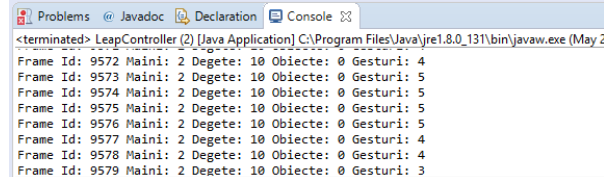
Un exemplu de program simplu care afișează pe ecran câte mâini sunt detectate, degete, obiecte și gesturi.

Mai departe acestea pot fi folosite ca date de intrare în programul ce controlează robotul.

```

29 public void onFrame(Controller controller) {
30     Frame frame = controller.frame();
31     System.out.println("Frame Id: " + frame.id()
32         /* "Time: " + frame.timestamp()
33         + " Maini: " + frame.hands().count()
34         + " Degete: " + frame.fingers().count()
35         + " Obiecte: " + frame.tools().count()
36         + " Gesturi: " + frame.gestures().count() );
37     }

```



```

<terminated> LeapController (2) [Java Application] C:\Program Files\Java\jre1.8.0_131\bin\javaw.exe (May 2
Frame Id: 9572 Maini: 2 Degete: 10 Obiecte: 0 Gesturi: 4
Frame Id: 9573 Maini: 2 Degete: 10 Obiecte: 0 Gesturi: 5
Frame Id: 9574 Maini: 2 Degete: 10 Obiecte: 0 Gesturi: 5
Frame Id: 9575 Maini: 2 Degete: 10 Obiecte: 0 Gesturi: 5
Frame Id: 9576 Maini: 2 Degete: 10 Obiecte: 0 Gesturi: 5
Frame Id: 9577 Maini: 2 Degete: 10 Obiecte: 0 Gesturi: 4
Frame Id: 9578 Maini: 2 Degete: 10 Obiecte: 0 Gesturi: 4
Frame Id: 9579 Maini: 2 Degete: 10 Obiecte: 0 Gesturi: 3

```

Fig. 12 Adăugarea bibliotecii externe Leap

Pentru programul de control al robotului, codul folosit a fost mai complex. Baza este ceea ce am scris mai sus. Important este să se ajunga într-un punct în care pot fi preluate datele de intrare de la dispozitiv. Apoi prelucrarea datelor pentru a le transforma în funcții ține de programarea de bază.

Aici am folosit un gest pentru mișcarea robotului pe axa Z

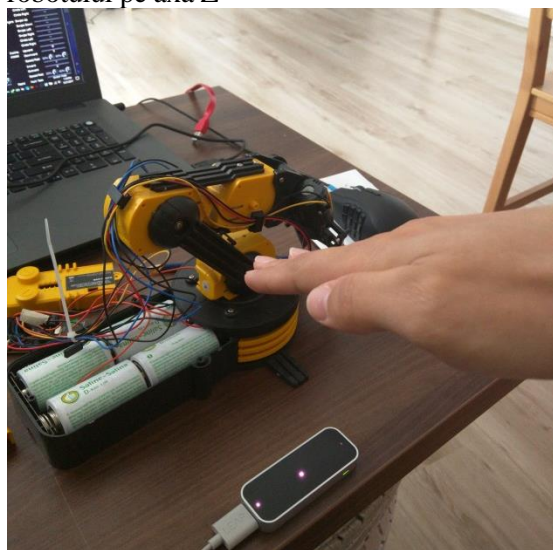


Fig. 13 Mișcarea pe axa Z

Un fragment de cod folosit la preluarea mișcării și trimiterea lor către motoare:

```

for (Hand hand : frame.hands()) {String handType
= hand.isLeft() ? "left hand" : "right hand"
System.out.println(handType + " " + " ", id: " +
hand.id()+ " ", Palm Position: " +
hand.palmPosition()) Vector normal =
hand.palmNormal();
Vector direction = hand.direction();
System.out.println("Pitch: " +
Math.toDegrees(direction.pitch())
+ "Roll: " +
Math.toDegrees(normal.roll())
+ "Yaw: " +
Math.toDegrees(direction.yaw()) );

```

Acesta preia datele legate de unghiul palmei.

În arduino, pentru traducerea datelor preluate din programul Leap am folosit `m1.attach(10);` - am atașat motorul 1 de mișcarea pe axa z (Yaw);

`if(readstring.length() >0) {`
`String Y=readstring.substring(0,readstring.indexOf`
`('Y'));` - pentru citirea poziției pe axa z (Yaw)
`char carrayY[Y.length() + 1];` - definește un nou string pentru data Y

`Y.toCharArray(carrayY,sizeof(carrayY));` - inițializează stringul Y
`int yv = atoi(carrayy);` - convertește din string în int pentru a putea fi scris către funcția motor
`m1.write(yv);` - scrie în funcția int pentru a-l mișca

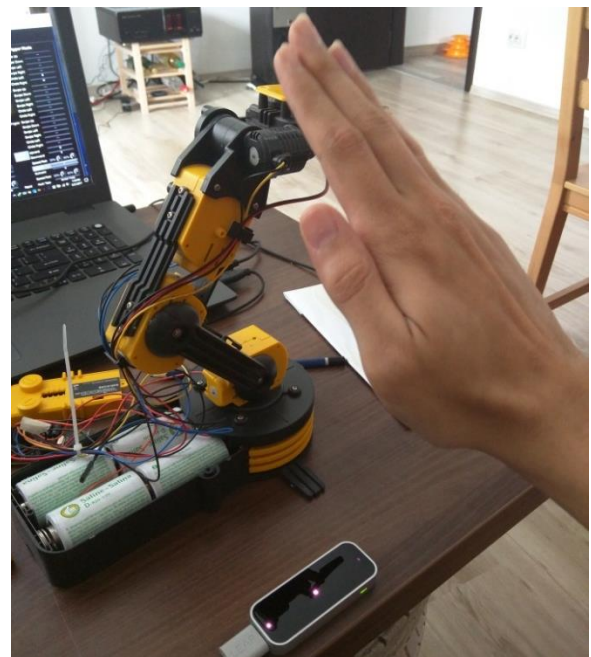


Fig. 13 Mișcarea în sus a robotului de-a lungul axei Z

4 CONCLUZII

Robotul educațional, așa cum vine el la pachet poate fi folosit foarte ușor prin interfața USB. Se poate folosi mouse-ul sau tastatura pentru mișcarea fiecărui motor. În schimb, dacă vrem să realizăm o formulă de control cu ajutorul unui alt dispozitiv implicațiile sunt mai complexe.

Aceste implicații vin sub forma codului care trebuie scris în diferite limbaje de programare. Pentru înțelegerea codului și modificarea lui este nevoie de multă practică (minim un an de scriere de cod).

Prin încercări și eșecuri am dus lucrarea într-un punct în care pot să spun că robotul este controlabil cu ajutorul device-ului Leap Motion. Dar dacă este să vorbim despre precizia mișcării sau calitatea la care aceasta se realizează, intrăm într-o arie a programării mult mai vastă și pentru asta este nevoie ca motoarele robotului să fie de tip stepper pentru a putea prelua în timp real și date despre poziția exactă a unghiului fiecărei axe a robotului.

5 MULȚUMIRI

Vreau să mulțumesc profesorului îndrumător Adrian NICOLESCU pentru suportul acordat în cadrul realizării fizice a lucrării. În același fel aș dori să mulțumesc doamnei Cezara AVRAM pentru disponibilitatea de care a dat dovadă, de fiecare dată când a fost nevoie.

6 BIBLIOGRAFIE

<https://developer.leapmotion.com/documentation/java/api/gen->

[java/classcom_1_1leapmotion_1_1leap_1_1_hand.html](https://developer.leapmotion.com/documentation/java/classcom_1_1leapmotion_1_1leap_1_1_hand.html) (data accesării 15.05.2017)

<https://infoacademy.net/>(data accesării 15.05.2017)

<https://developer.leapmotion.com/>(data accesării 15.05.2017)

<https://learn.sparkfun.com/tutorials/leap-motion-teardown>(data accesării 15.05.2017)

ANALIZĂ CU ELEMENT FINIT A SISTEMULUI AS/RS CU UNITATE DE ÎNCĂRCARE-DESCĂRCARE PENTRU PALETIZARE MIXTĂ

SIMION Ancuța

Conducător științific: Prof.dr.ing. Adrian Florin NICOLESCU

REZUMAT: Lucrarea prezentată în cadrul sesiunii științifice desfășurată constituie continuarea proiectului de diplomă în care au fost introduse noțiuni tehnice privind analiza cu element finit a depozitului automatizat de depozitare, fiind definite astfel: modurile proprii și inertanțe diverse în punctele de susținere ale depozitului.

CUVINTE CHEIE: analiză, AS/RS, moduri proprii, inertanțe diverse, robot.

1 INTRODUCERE

Lucrarea conține o sinteză a principalelor componente integrate în sistemul de stocare automată, urmărindu-se întregul proces de realizare a operației de paletizare mixtă. De asemenea, lucrarea conține și o reprezentare grafică, privind rezultatele obținute în urma analizei cu element finit. Ca obiective urmărite au fost: realizarea unei optimizări a depozitului de stocare automată, precum și scoaterea în evidență a avantajelor referitoare la utilizarea analizei cu element finit.

2 STADIUL ACTUAL

Optimizarea unui sistem constă în alegerea și aplicarea soluției celei mai optime, astfel încât rezultatele să fie cele dorite. Analiza cu element finit oferă posibilitatea de a optimiza într-un timp cât mai scurt, deoarece la momentul actual este cea mai utilizată metodă de simulare numerică implementată pe calculator în inginerie, având interfețe atractive și utile în prelucrarea datelor de intrare sau interpretarea rezultatelor.

Stadiul actual al lucrării constă în prezentarea unor rezultate, privind modurile proprii ale structurii ceea ce ne oferă o viziune clară a zonelor care nu prezintă o rigiditate crescută și care pot duce la degradarea acesteia. Pe de altă parte, lucrarea prezintă și optimizarea sistemului, prin lansarea unei iterații pentru îmbunătățirea inertanțelor și a modurilor proprii.

2.1 Prezentarea modelului de referință

Sistemul automatizat de depozitare conține o serie de componente realizate prin intermediul programului de modelare NX10. Pentru realizarea întregului sistem, s-a utilizat ca reper, modelul realizat de firma Bastian, conform patentului: US20110238207 prezentat în figura Fig.1:

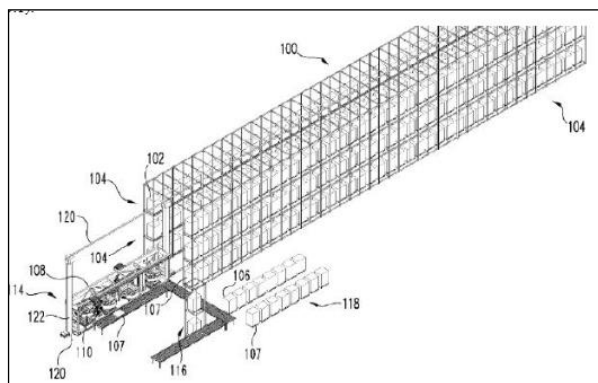


Fig. 1. Model de referință: US2011023827

Principalele avantaje ale integrării unui astfel de sistem de stocare și depozitare automată sunt: reducerea costurilor, obținerea paleților micști de diferite obiecte, precizie ridicată, timp scurt de realizare a operației.

2.2 Prezentarea modelului realizat

În modelul virtual au fost integrate o serie de componente automatizate pentru realizarea operației de paletizare mixtă. Printre acestea se enumeră: doi roboți de tip braț articulat, produși de firma ABB, echipați cu efectori vacuumatici; sistem de stocare automată a paleților, unitate de transfer de tip platformă, unități de transport - transfer de tip conveioare longitudinale și transversale cu lanț; sisteme de liftare; sistem de stocare și depozitare a paleților; sisteme de înfoliere a paleților micști;

¹ Specializarea Robotică, Facultatea IMST;

E-mail: simionancuta20@yahoo.com;

unități de încărcare - descărcare robotizate a depozitului. Acestea sunt prezentate în figura Fig.2:

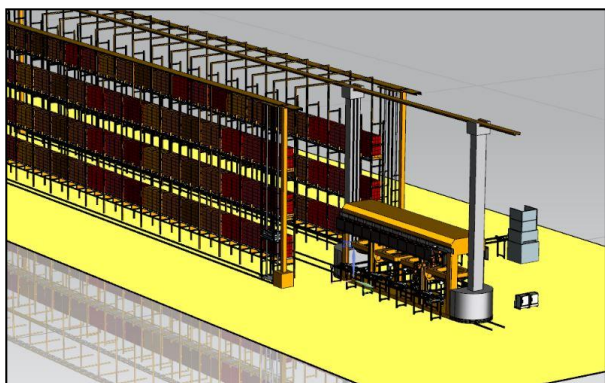


Fig. 2. Model virtual realizat în NX

Pentru realizarea operației de paletizare mixtă, sistemele de transport și transfer de tip conveioare cu lanț, longitudinale și transversale, preiau paleții distribuiți de sistemul automat de stocare a acestora pe care îi transferă prin intermediul sistemelor de liftare în cele patru locașuri integrate pe unitatea de transfer de tip platformă. În cele patru locașuri au fost integrate și patru unități circulare de înfoliere care realizează mișcarea pe verticală, precum și circulară în jurul axei Z în timpul înfolierii paleților. Pe platformă, au fost integrate două module de translație pentru roboții industriali, produse tot de firma ABB pentru obținerea celei de-a șaptea axă suplimentară de translație de la baza roboților, ceea ce oferă un spațiu de lucru extins. Platforma realizează concomitent mișcarea de translație atât pe verticală, cât și pe orizontală pentru extinderea spațiului de lucru a roboților, de-a lungul depozitului.

Cei doi roboți produși de firma ABB, model: IRB6620, au sarcina portantă de 150Kg fiecare și greutatea de 900Kg. Aceștia sunt echipați cu efectori de tip vacuumici, realizați din cadre produse de firma Schmalz. După obținerea celor patru paleți paletizați cu diferite obiecte de cei doi roboți, unitatea de transfer revine la poziția inițială, timp în care are loc realizarea înfolierii în mod automat. Paleții micști sunt evacuați prin intermediul altor conveioare cu lanț longitudinale, de unde sunt preluați pentru a fi transportați prin intermediul unui AGV. Cele două depozite de stocare sunt încărcate cu paleți, cu diferite obiecte, respectiv descărcate de paleți, prin intermediul a două unități de încărcare – descărcare robotizate.

Întregul sistem AS/RS a fost simulat prin intermediul programului de simulare și programare offline: Process Simulate și prezentat în cadrul proiectului de diplomă.

3 CALCUL ELEMENT FINIT

3.1 Prezentare generală

Pentru obținerea rezultatelor și realizarea calculului de analiză cu element finit, au fost urmați o serie de pași conform procedurii de calcul standard, fiind utilizate programele de pre-procesare: ANSA, de lansare calcul: Nastran și post-procesare: METAPOST și VISA. Rezultatele obținute au fost: moduri proprii și inertanțe diverse.

3.2 Moduri proprii

3.2.1 Pre-procesarea

Pre-procesarea constă în pregătirea modelului privind modelizarea conform procedurii. Astfel, au fost integrate toate componentele depozitului în programul de pre-procesare ANSA, unde au fost parcurse următoarele etape:

- obținerea suprafeței medii și realizarea unei discretizări fine pentru rezultate realiste;
- atribuirea de materiale, grosimi și alte proprietăți specifice;
- înlocuirea conexiunilor de tip constrângeri (ex: șuruburi) cu modelizări de tip: RBE2 / rigizi, SPC / încastrări, CONM2 / masa paletului și a obiectelor; BOLT / elemente de tip șurub.

Sistem de tip depozit de stocare automat astfel modelizat în ANSA se poate observa în figura Fig.3:

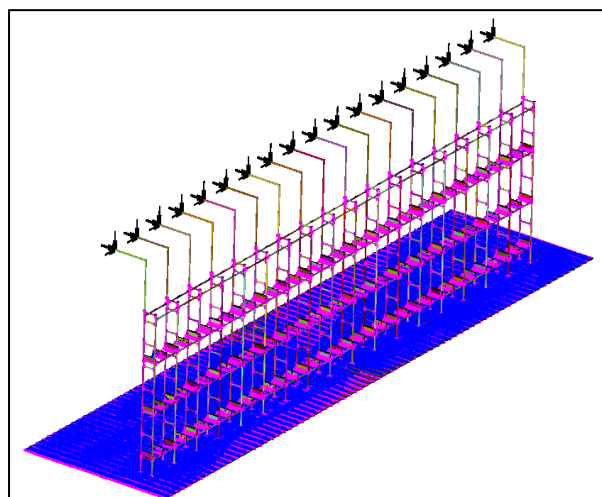


Fig. 3. Modelizare ANSA

3.1.2 Lansarea calculului

Următoarea etapă constă în lansarea calculului prin intermediul unui fișier de tip INPUT standard, dar care poate fi modificat în funcție de cerințe. Acesta conține o serie de coduri specifice solver-ului

1. Tipul soluției, timpul alocat, modificări de program și diagnosticarea sistemului

```

$-----$
$ NASTRAN T3SKEW*3
$ INCLUDE 'NAST_EXT:aml_assign'
$-----$
$ Executive Control Cards
$-----$
$ SOL 103
$ TIME 100000
$ DIAG 5
$-----$
$ CEND
$-----$
$ ECHO = SORT(PARAM,FREQ,TABDMPI)
$ TITLE = SOL111_PAR
$ SUBTITLE = NVH CAE
$-----$

```

→ pentru apelare AMLS – algoritim
→ solver SOL103
→ definire parametri și titlu

2. Declarare cerințe de output, selectează informații din zona Bulk Data cum ar fi: încercări, constrângeri, etc.

```

$-----$
$ Case Control Cards
$-----$
$ Modal Basis Extraction Call
$ METHOD(STRUCTURE) = 2
$ Boundary conditions Call
$ SPC = 1
$ Output Requests
$ DISP(PLOT) = ALL
$ ESE (PLOT) = ALL
$ Resvec definition
$ AUTOSPC(NOPRINT) = YES
$-----$

```

→ apelare SPC din model
→ rezultatele (deformații, deplasări, ...)

3. Definirea și detalierea modelului și a soluției

```

$-----$
$ Bulk Data Cards
$-----$
$ BEGIN BULK
$-----$
$ Include NASTRAN model file
$-----$
$ INCLUDE 'Assembly_ASRS_MPG.dat'
$-----$
$ Modal extraction & Excitation Frequency range
$-----$
$ Warning : frequency range only for AMLS
$ EIGRL 2 -5 40.
$-----$
$ Parameters
$-----$
$ PARAM POST -2
$ PARAM MAXRATIO1 00E+07
$ PARAM CROFIT 0
$ PARAM PROPST NO
$ PARAM AMLS YES
$ PARAM AUTOSPC YES
$ PARAM KSROT 0.0
$ PARAM SNORM 20
$ PARAM TINY 0.0
$ PARAM ODS YES
$ PARAM COUPHASS1
$-----$
$ ENDDATA
$-----$

```

→ conține toată informația necesară pentru descrierea modelului structural.
→ definirea geometriei
→ definirea plajei de frecvență
→ marchează finalul fișierului de input

nastran:

Modurile proprii indică zonele care prezintă valoarea rigiditate mică. Pentru subsisteme, caietul de sarcini pe care trebuie să-l respecte este de 32 Hz.

3.1.3 Post-procesarea

Pentru vizualizarea rezultatelor obținute după lansarea INPUT-ului, s-a utilizat programul de post-procesare: METAPOST. În urma lansării calculului, au fost obținute următoarele rezultate în figura Fig.4:

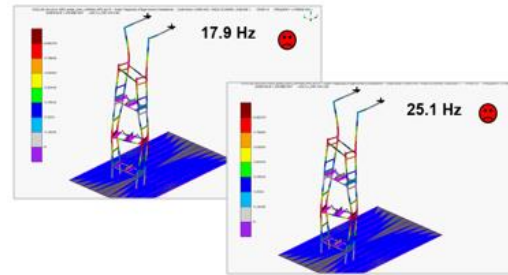


Fig. 4. Rezultate moduri proprii

În urma analizei rezultatelor, se poate observa că primele moduri proprii ale structurii sunt mai mici decât caietul de sarcini (32 Hz) stabilit. Astfel, pentru îmbunătățirea zonelor cu rigiditate mică, s-a stabilit un plan de acțiune prin care: a fost crescută grosimea elementelor susținere și a fost integrat un nou element de tip bară transversală. În urma acestei iterații, a fost relansat INPUT-ul specificat anterior, obținându-se următoarele rezultate prezentate în figura Fig.5:

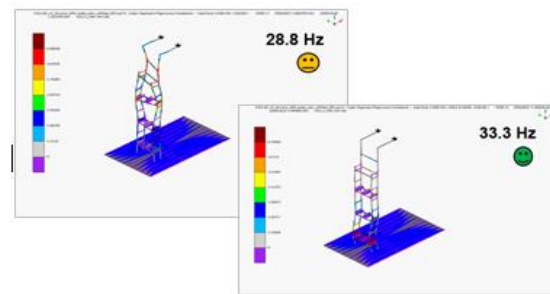


Fig.5. Rezultate moduri proprii pentru iterație

Se remarcă o creștere a valorilor modurilor proprii, apropiindu-se primul mod de caietul de sarcini – 32Hz. Modurile devin cât mai locale, ceea ce ne permite să lucrăm pe arii restrânse și să optimizăm zonele care prezintă rigiditate scăzută. Prin urmare, principalele modalități de optimizare ale unei structurii sunt: creșteri de grosimi, modificări de secțiuni, integrare de piese, adăugare nervuri sau ambutisări.

3.2 Inertanțe diverse

Curba de inertanțe este o curbă logaritmică în care se pot observa modurile structurii analizate, fiind o curbă în accelerație dependentă de frecvență. Pentru a înțelege mai bine conceptul de inertanță, se poate asocia cu transferul de vibrații. Transferul însă se face prin intermediul panourilor sau a diferitelor componente din cadrul structurii și care se calculează în puncte definite la o anumită distanță, în timp ce inertanțele sunt calculate în zona imediat apropiată de punctul în care se realizează calculul.

Pentru o exemplificare mai clară, se poate observa în figura Fig.6 diferențele dintre cele două concepte:

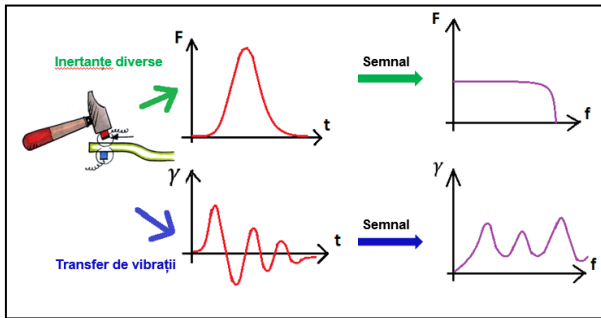


Fig. 6. Inertanțe – Transfer vibrații

3.2.1 Pre-procesarea

Pre-procesarea constă în pregătirea modelului care va fi utilizat pentru lansarea calculului. Modelul pentru inertanțe diverse a fost cel utilizat și pentru moduri proprii, cu definirea celor patru puncte în care s-a dorit realizarea calculului și, anume, în centrul stâlpilor de susținere a depozitului conform cu figura Fig.7:

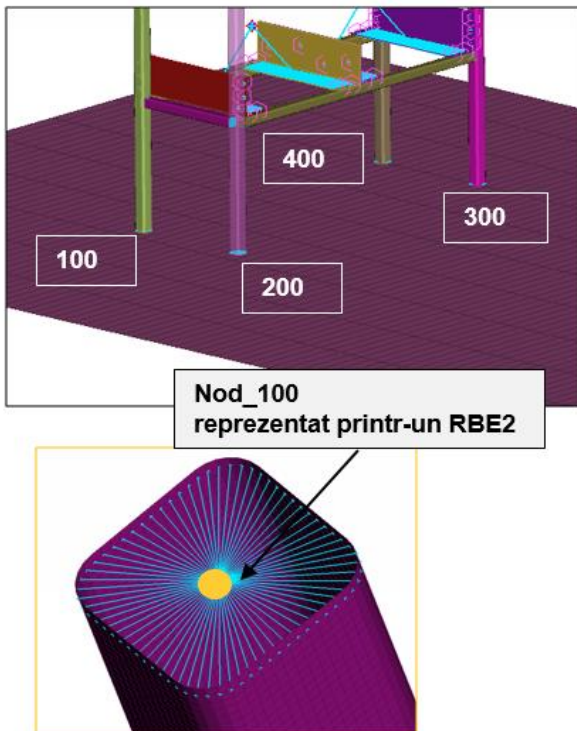


Fig. 7. Pregătirea modelului

3.2.2 Lansarea calculului

Ca și în cazul anterior, lansarea calculului se face printr-un fișier de tip INPUT standard, dar modificat în funcție de o serie de elemente: nodurile, plaja de frecvență în care se dorește a fi efectuat calculul, precum și definirea direcțiilor.

```

-----$
Case Control Cards
-----$
$
$ NODES SETS
$ Acceleration output (IPI)
SET 20 = 100,200,300,400
$ ELEMENTS SETS
$ SEALL=ALL
$ GLOBAL Loads, Boundary Conditions and Output Requests
$ Modal Basis Extraction Call
$ METHOD(STRUCTURE) = 2

```

definirea nodurilor IPI

```

-----$
$ Excitation: EXC_nod_cadrul
$ Point: 100 Dir: X
$
SUBCASE = 31
DLOAD = 31
LABEL = 'EXCITATION EXC_nod_cadrul (N: 100, D: X)'
$ Excitation: EXC_nod_cadrul
$ Point: 100 Dir: Y
SUBCASE = 32
DLOAD = 32
LABEL = 'EXCITATION EXC_nod_cadrul (N: 100, D: Y)'
$ Excitation: EXC_CH13
$ Point: 100 Dir: Z
SUBCASE = 33
DLOAD = 33
LABEL = 'EXCITATION EXC_nod_cadrul (N: 100, D: Z)'
-----$

```

definirea nodurilor IPI pentru fiecare direcție XYZ, pentru toate cele 4 noduri

```

-----$
Modal extraction & Excitation Frequency range
-----$
$ Warning : frequency range only for AMLS
$ Modal basis extraction = 1.5 * frequency range
EIGRL 2 -5. 375
$ Frequency range of interest
FREQ1 2 5. 1. 245
-----$

```

definirea plajei Hz în care se realizează calculul de IPI

Toate aceste date au fost introduse în fișierul prezentat mai jos:

3.2.3 Post-procesarea

Pentru vizualizarea rezultatelor obținute după lansarea INPUT-ului, s-a utilizat programul de post-procesare: VISA. În urma lansării calculului, au fost obținute o serie de fișiere, dintre care un fișier *inertante.pch.gz*, acesta fiind ulterior introdus din nou în VISA. După post-procesarea rezultatelor, s-a obținut un alt fișier de tip *inertante.dscr.mat* din care au rezultat curbele și, implicit, rezultatele numerice pentru fiecare punct în parte.

Rezultatele curbelor sunt definite ca iso-raideur și sunt introduse într-un tabel unde sunt comparate cu un caiet de sarcină, respectiv cu alte subsisteme sau structuri analizate în aceleași condiții. Caietele de sarcini sunt stabilite prin teste sau încercări și pot fi încărcate la rândul lor în VISA pentru a fi post-procesate și vizualizate împreună cu rezultatele structurii analizate.

Unul dintre graficele rezultate în urma post-procesării este prezentat în figura Fig.10, vizualizat în plaja de frecvență [50-200] Hz:

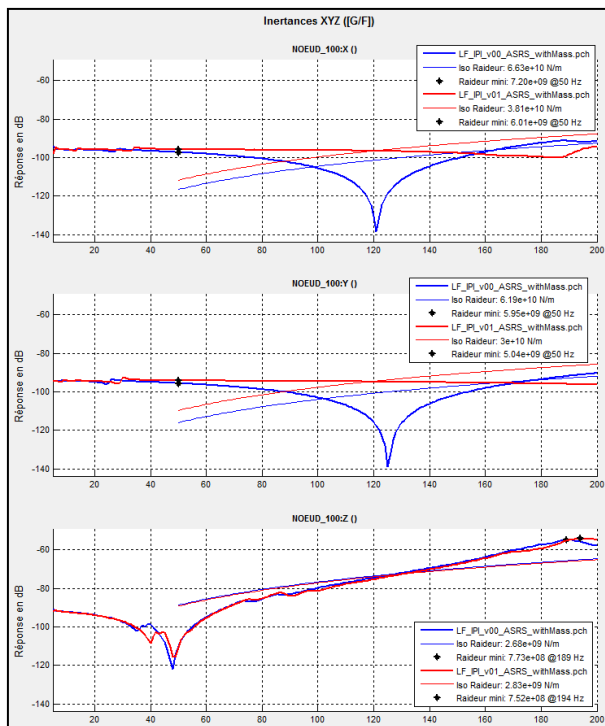


Fig. 10. Exemplu de grafic post-procesat în programul VISA

Curba de Iso-raideur [N/m] semnifică o dreaptă și reprezintă media dintre ariile suprafețelor de deasupra liniei, respectiv de sub linie. Toate valorile au fost trecute în tabelul Tab.1:

Tab.1 Rezultate VISA

Isoraideur 50-200 Hz	v00_AS/RS [N/m]	v01_AS/RS [N/m]	v00_AS/RS / v01_AS/RS [dB]
Nod_100 / Z	2.68	2.83	0.473
Nod_200 / Z	5.46	5.67	0.327
Nod_300 / Z	4.85	5.02	0.299
Nod_400 / Z	8.80	8.41	-0.393

Se poate remarca faptul că în urma calculului atât pentru modelul de referință al depozitului, cât și pentru iterația realizată, există o diferență de Iso-raideur, remarcându-se o ușoară îmbunătățire pe pentru primele trei noduri, iar pentru cel de-al patrulea, o degradare.

Pentru a ajunge la valori mai mari decât cele rezultate, se pot implementa o serie de modificări și se poate stabili un plan de acțiune.

4 CONCLUZII

Unul dintre obiectivele lucrării a fost stabilirea principalelor avantaje cu privire la utilizarea analizei cu element finit. Acestea sunt următoarele:

- costuri reduse, datorită soft-urilor, precum și eliminarea rebuturilor;
- scăderea timpului de analiză și sinteză a rezultatelor;
- posibilități de optimizare fără să implice alte costuri suplimentare;
- posibilitate de interschimbare a pieselor, respectându-se în același timp caietele de sarcină stabilite.
- posibilități de inovare a unor produse noi.

Cel de-al doilea obiectiv a fost modificarea și optimizarea unei structuri, precum și prezentarea noțiunilor teoretice: moduri proprii și inertanțe. Astfel, pornind de la formula:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m}} [Hz] \quad (1)$$

se pot realiza o serie de modificări ale structurii pentru a obține rezultate pozitive. Așadar, modificările pot fi: fie în zona rigidității prin adăugare de nervuri sau de ranforți, ambutisări, puncte de sudură / șuruburi, fie în zona masei prin modificări de material.

5 MULȚUMIRI

Această capitol se adresează celor care au contribuit la realizarea lucrării prin intermediul căruia doresc să le mulțumesc:

Dl. Prof.dr.ing. Adrian Florin NICOLESCU

D-na. Prof.dr.ing. Cristina PUPĂZĂ

6 BIBLIOGRAFIE

- [1]. Nicolescu, A. (2005), *Roboți industriali – Vol.1 Sub sisteme și ansambluri componente. Structura axelor comandate numeric ale RI*, Ed. Didactică și Pedagogică RA, București, 973-30-1244-0.
- [2]. Pupăză, C. și Parpală, R. (2011), *Modelare și analiză structurală cu ANSYS Workbench*, Ed. POLITEHNICA PRESS, București.
- [3]. Pupăză, C. (2013), *Modelare CAD - FEM*, Ed. POLITEHNICA PRESS, București.
- [4]. Nicolescu, A., Marinescu D., Ivan, M. și Avram C. (2011), *Concepția și exploatarea sistemelor de producție robotizate*, Ed. POLITEHNICA PRESS, București, 978-606-515-339-4.

PROGRAMAREA SI SIMULAREA OFF-LINE A UNEI CELULE ROBOTIZATE DE SUDARE CU ARC ELECTRIC REPERE DE DIMENSIUNI MEDII-MARI UTILIZAND PRODUSUL SOFTWARE PROCESS SIMULATE

Bogdan-Marian VERDETE

Conducător științific: Prof. dr. ing. NICOLESCU Florin-Adrian

În cadrul acestei lucrari se face o prezentare și o detaliere a pașilor care care trebuiesc făcuți pentru a programa și simula off-line în mediul de lucru Process- Simulate.S-a plecat de la un film si s-a încercat reproducerea lui .

1. ASPECTE GENERALE ALE APLICAȚIEI DE SUDARE CU ARC ELECTRIC

Sudarea este o metodă tehnologică de obținere a unei îmbinări nedemontabile dintre două corpuri solide, prin realizarea unor forțe de legătură între atomii marginali ai suprafețelor de îmbinat, la anumite temperaturi și presiuni. Sudarea poate fi aplicată astăzi unui număr foarte mare de materiale (oțeluri carbon și oțeluri aliate, metale și aliaje neferoase, mase plastice, sticlă, ceramice, material compozite etc). Sudarea electrică este unul din cele mai răspândite procese tehnologice de confecționare, recondiționare și reparație a construcțiilor metalice din domeniile industriale, de construcții și transport. Prima sudare cu arc electric s-a realizat în anul 1882 de către inventatorul N. Bernados în condiții de laborator.

Sudarea cu arc electric în mediu de gaz protector (GMAW) include două tipuri de procese tehnologice:

- sudare cu arc electric în mediu de gaz inert (MIG),
- sudare cu arc electric în mediu de gaz activ (MAG)

2. STADIUL ACTUAL

În ceea ce privește gradul de realizare a acestei aplicații, se poate spune că s-a ajuns la un 75% din ceea ce s-a propus să se realizeze, mai trebuind făcute o corelare de semnale și optimizare a aplicației.

E-mail: verdetebogdan@yahoo.com;

2 Specializarea Robotica Facultatea IMST;

3. PREZENTAREA APLICAȚIEI ROBOTIZATE

Aplicația robotizată pe care o vom detalia este o aplicație de sudare cu arc electric reper de dimensiuni medii-mari realizată de firma IGM. Este o celulă în care se sudează șasiuri de mașini grele cu 2 posturi de lucru, în care se pot identifica următoarele componente: Cei 2 roboți suspendați pe câte un sistem de extensie a spațiului de lucru, sisteme care sunt deplasabile la sol, se pot roti și pot face o translație pe verticală cu întreg robotul. Mai găsim 2 sisteme perirobotice care susțin șasiurile pe care se fac sudările, și o masă deplasabilă care are rolul de a furniza piese și de susținere a efectorilor de manipulare de diferite tipodimensiuni.

Elemente componente: (Fig 1)

1. Robot industrial
2. Efector
3. Sistem de extensie a spațiului de lucru
4. Modul de translație
5. Reperul (Șasiu)
6. Sistem perirobotic
7. Garduri
8. Podeaua
9. Butelie cu gaz de asistență
10. Sistemul de comandă
11. Sistem de avansare automată a electrozudului de tip sarmă calibrată
12. Sursa de tensiune
13. Masă deplasabilă

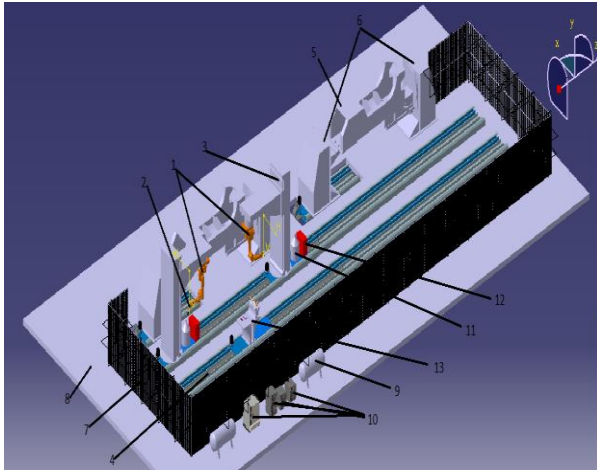


Fig. 1. Aplicația robotizată

Sistemul de extensie a spațiului de lucru . După cum îi spune și numele , are rolul de a extinde spațiul de lucru al robotului și de a-l ajuta pe acesta să sudeze repere pe șasiu în locuri mai greu accesibile sau în locuri unde spațiul de lucru al robotului nu permite. Este înzestrată cu 2 axe comandate numeric (o rotație la bază și o translație pe verticală). Aceasta se va transla în timpul miscării pe modulul de translație la sol, întrucât trebuie să opereze la 2 posturi de lucru.

Reperul. Reperul din celula pe care se face sudarea , este un șasiu de mașini folosit în industria de construcții civile. Se sudează diferite piese pe acesta, care au rol de susținere și de asamblare pe acestea a altor repere

Sistemul perirobotic . Are rolul de a susține șasiul pentru efectuarea operațiilor de sudare. Se folosesc în pereche , unul la un capăt care este fix, iar celălalt este fixat pe un modul de deplasare astfel încât să se poată transla și astfel să se poată suda diferite tipodimensiuni de șasiuri de mașini folosite în industria de construcții civile. Are posibilitatea de rotație a șasiului cu 360 de grade.

Masa. Este așezată pe un modul de translație astfel încât să se poată deplasa până în dreptul unde se lucrează. Pe ea sunt așezate pe de o parte repere care sunt preluate de către robotul responsabil pe lângă partea de sudare și cu partea de manipulare , cât și cu diferite tipodimensiuni de efectori de manipulare (gripper).

Elementele care compun aplicația sunt elemente atât descărcate în format neutru (STEP) de la diferiți producători cât și elemente modelate cu ajutorul diferitelor softuri de proiectare. S-a folosit pentru modelare CATIA V5R21, dar

datorită faptului că simularea s-a realizat într-un soft al celor de la SIEMENS , și anume Process Simulate, era necesar tot de un soft de la aceeași firmă pentru convertirea formatelor generate de CATIA în formate JT , și de aceea s-a apelat și la NX 10.0.

4. PROGRAMAREA SAU SIMULAREA ASISTATĂ A APLICAȚIEI

Pentru simularea off- line a aplicației , anterior trebuie făcute 3 mari etape, fiecare etapă la rândul ei având particularități specifice:

1. Cinematica elementelor componente
2. Programarea robotilor, definirea traiectoriilor
3. Definirea semnalelor

4.1 Cinematica elementelor componente

4.1.1 Cinematica robotului

Pentru cinematizarea robotului se parcurg următoarele etape:

- Împartirea pe segmente a ansamblului
- Definirea cuplelor de rotație sau translație a ansamblului
- Definirea pozițiilor cuplelor ansamblului
- Definirea sistemelor de coordonate

Împartirea pe segmente a ansamblului

După ce se introduce în baza de date SYSROOT, robotul este împărțit în segmente pentru definirea cuplelor de rotație sau translație.

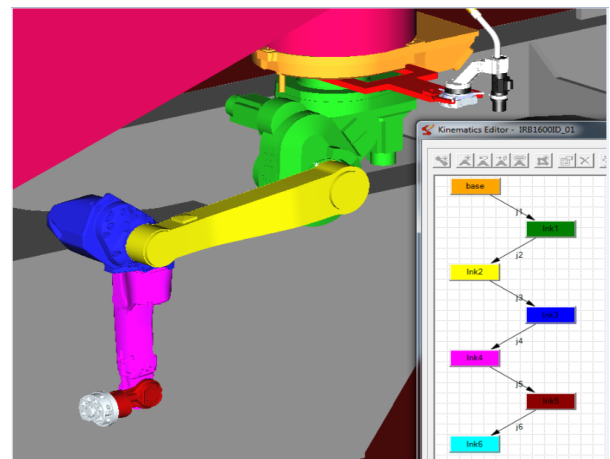


Fig. 2. Robotul

Definirea cuplelor de rotație sau translație a ansamblului

Pentru a face posibilă rotația segmentelor este necesară definirea cuplelor cinematice (joints). De asemenea, cuplele pot fi definite cu valorile oferite din fișele tehnice ale robotului în ce privește: cursa, viteza și accelerația.

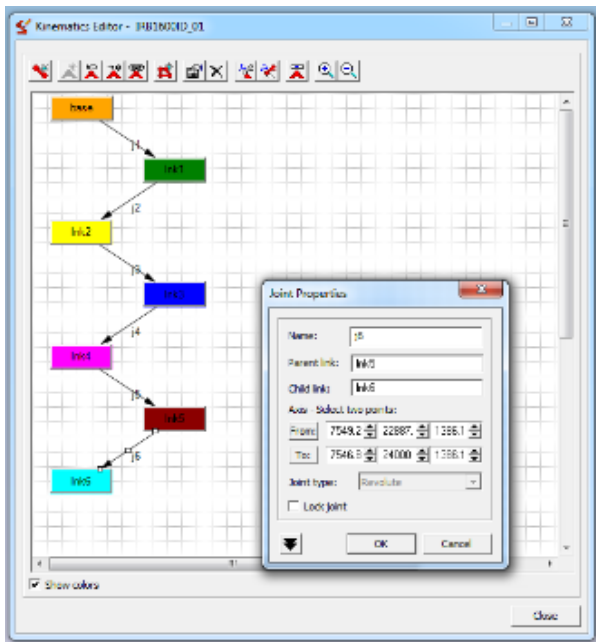


Fig. 2. Robotul

Definirea pozitiilor cuplelor ansamblului

Deoarece poziția de referință a unui robot industrial în cadrul unei aplicații robotizate, nu coincide cu poziția în care se livrează, se definește poziție de referință sau HOME.

Definirea sistemelor de coordonate

Ultimul pas pentru cinematica robotului în Process Simulate îl reprezintă definirea sistemului de coordonate propriu bazei (BASE FRAME) și sistemele de coordonate caracteristice gripperului respectiv torței de sudare (TOOL CENTER POINT FRAME sau TCPF).

Într-un mod similar, se realizează cinematicizarea și pentru masă (Fig. 3.), sistemul perirobotic (Fig. 4.), respectiv structura portantă (Fig. 5.), cu diferența că aici se aplică doar primele două etape și anume: împartirea pe segmente a ansamblului și definirea cuplelor de translație sau rotație ale ansamblului. Se mai poate face observația că fiecare segment al unui ansamblu are o anumită culoare. Aceste culori se găsesc și în Kinematics Editor, astfel ne putem ajuta de culori ca să știm între ce componente stabilim cuplele.

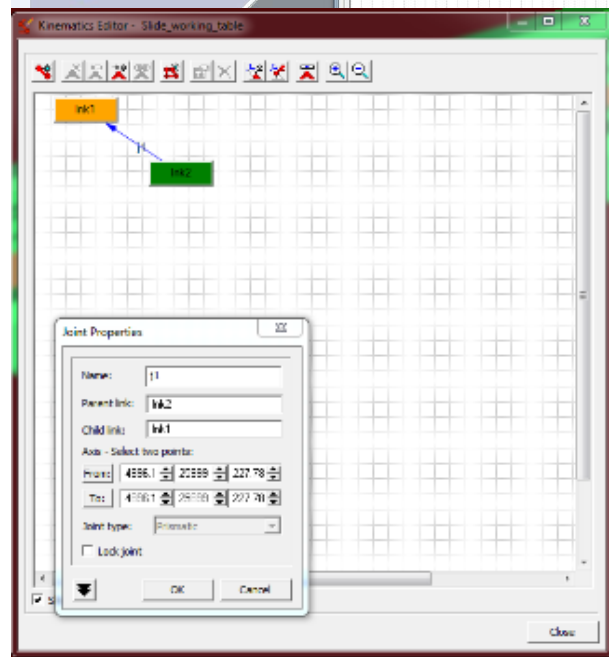
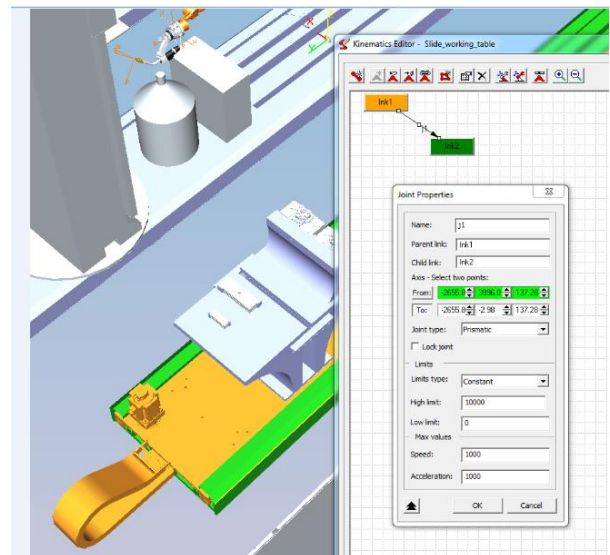
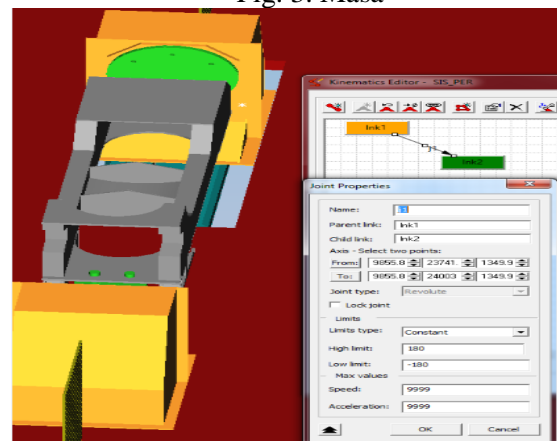


Fig. 3. Masa



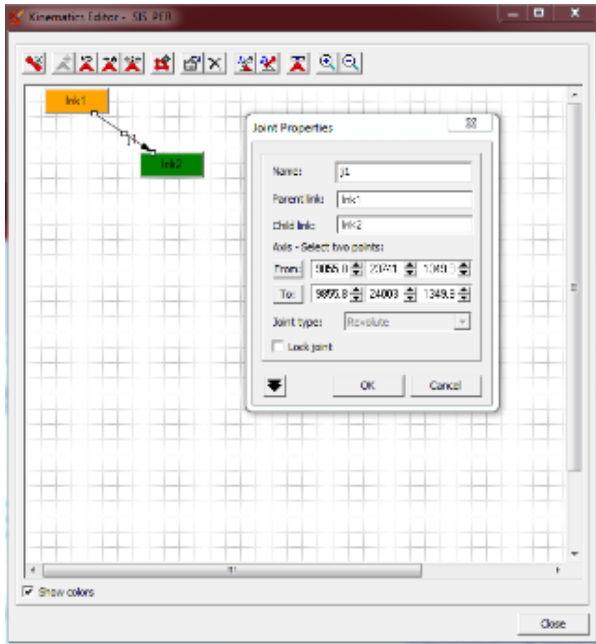


Fig. 4. Sistem perirobotic

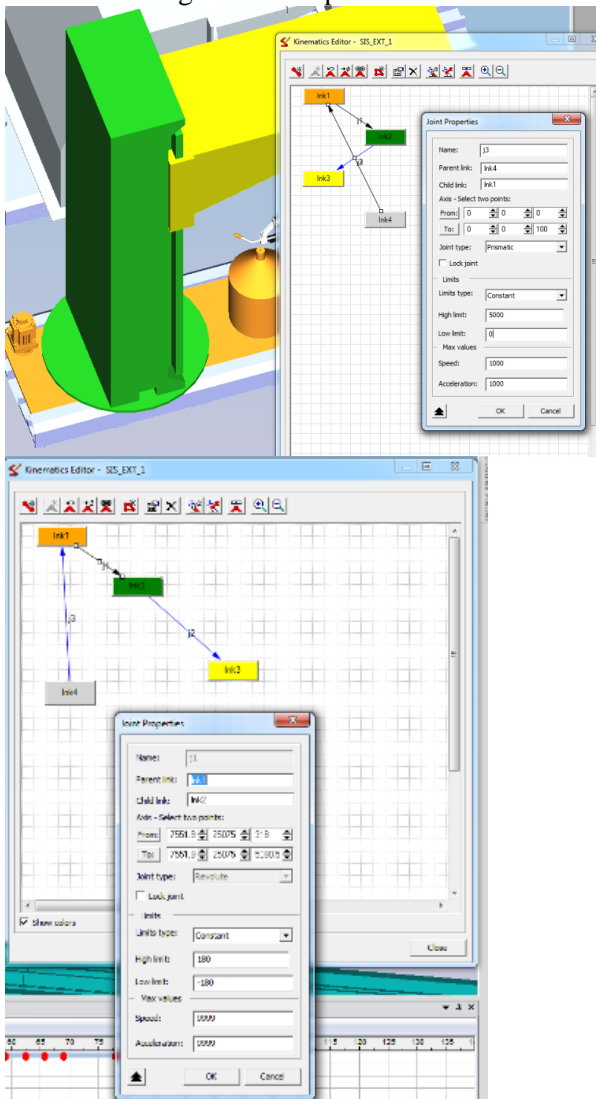


Fig. 2. Sistem de extensie a spatiului de lucru

4.2 Programarea robotului

Programarea robotului se realizează respectând procedura:

- 1) Montarea efectorului pentru aplicația de realizat și repoziționarea TCPF-ului

Robotul ABB IRB 1600ID interschimbă mai multe tipuri de efectori. La definirea robotului s-a prestabilit punctul caracteristic (TCPF) pe fața flanșei master a sistemului de cuplare decuplare. Această flanșă se află asamblată pe flanșa de ieșire din sistemul de orientare (în centrul flanșei). Se ține seama de schimbarea efectorului (schimbare TCPF pentru fiecare efector schimbat)

Robotul interschimbă două tipuri de efectori:

- efector de tip gripper – folosit pentru manipularea componentelor în vederea sudării;
 - efector de tip torță de sudare – folosit pentru asamblarea nedemontabilă a componentelor prin sudură.
- Schematic schimbarea TCPF urmărește următoarele etape:
- Robotul se apropie de punctul de schimbare efector
 - Robotul realizează o deplasare liniară cu viteză redusă până la atingerea punctului
 - Se dă semnal pentru cuplarea efectorului dorit
 - După confirmarea semnalului de cuplare efector, se dă comandă pentru schimbarea TCPF de la TCPF flanșă master sistem de cuplare – decuplare la TCPF efector ales.

- 2) Definirea locațiilor traiectoriei

Locațiile se definesc ținând cont de forma și volumul spațiului de lucru al robotului. Se alege o configurație optimă ca poziție și orientare a brațelor. În figura 5 se realizează operația de montare a gripperului și de manipulare a primei piese care urmează a fi sudată pe șasiu. Aceste locații reprezintă punctele necesare a fi atinse de robot pentru a suda un reper. Punctele VIA au rolul de a optimiza și a condiționa forma traiectoriei.

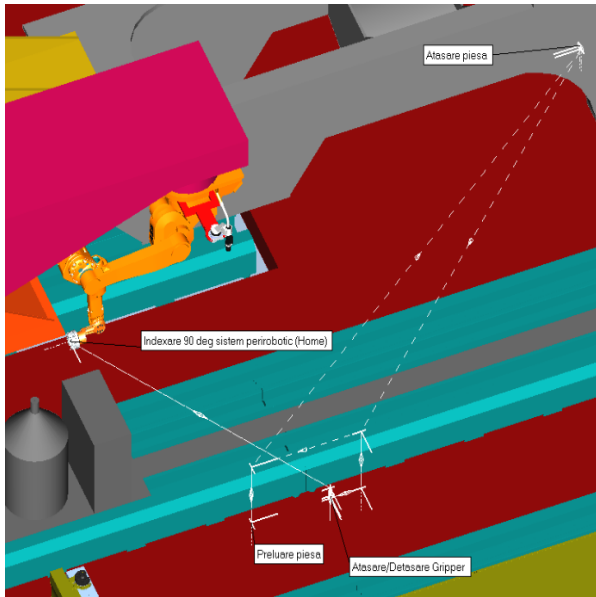


Fig.4. Definirea traiectoriei manipulare prima piesa

În figura 5 se realizează cu cel de-al doilea robot operația de fixare a piesei, mai exact se dau 2 puncte de sudare (weld 1 și weld 2). După ce se efectuează operația de fixare prin cele 2 puncte robotul se retrage într-un loc de așteptare (via 9).

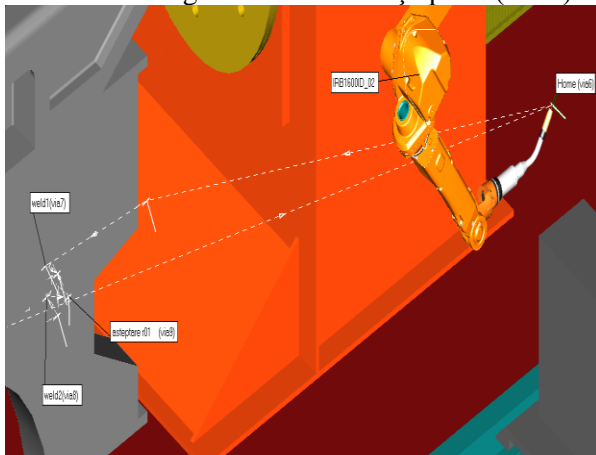


Fig. 5. Definirea traiectoriei pentru fixare prima piesa

În figura 6 se realizează cu primul robot operația de montare a torței respectiv sudare a piesei. După ce se dau cele 2 puncte de fixare ale piesei robotul 1, își schimbă efectorul de manipulare și se echipează cu torța de sudare, venind să sudeze concomitent cu cel de-al doilea robot dând cordoanele de sudură în același timp.

4.3 Definirea semnalelor

Definirea semnalelor este necesară deoarece mișcările robotilor nu ar fi interconectate fără ele.

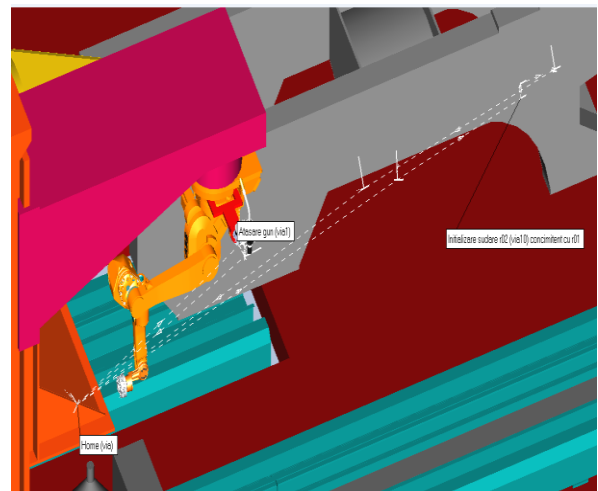


Fig. 6. Definirea traiectoriei pentru sudare cu robotul care interschimbă efectori

5. DESCRIEREA APLICAȚIEI

Descrierea procesului pe etape:

O primă etapă o constituie definirea traiectoriei pentru preluarea de către robot în prima fază a efectorului de manipulare, urmând ca apoi să preia piesa de sudat și să o pună pe șasiu. Atunci efectorul și piesa de manipulat se găsesc pe o masă deplasabilă la sol (Fig.7.).

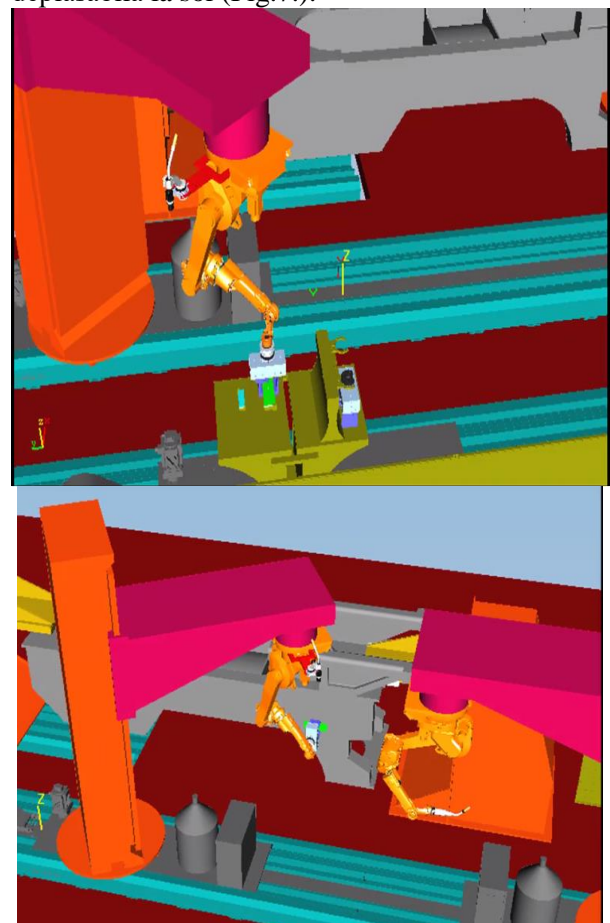


Fig.7. Preluarea primei piese

O a doua etapa o constituie definirea a doua puncte de sudare prin care piesa se va fixa pe șasiu. Aceste doua puncte sunt date de catre cel de-al doilea robot. Ca să poată da cele doua puncte de fixare , cel de-al doilea robot așteaptă un semnal de inițializare secvență de la primul robot ,cum că piesa este gata de fixare. Dupa ce da cele doua puncte cei doi roboți se retrag, cel de-al doilea se retrage într-un anume punct de așteptare, iar primul se mobilizează pentru schimbarea efectorului de manipulare cu o torță de sudare (Fig.8.).

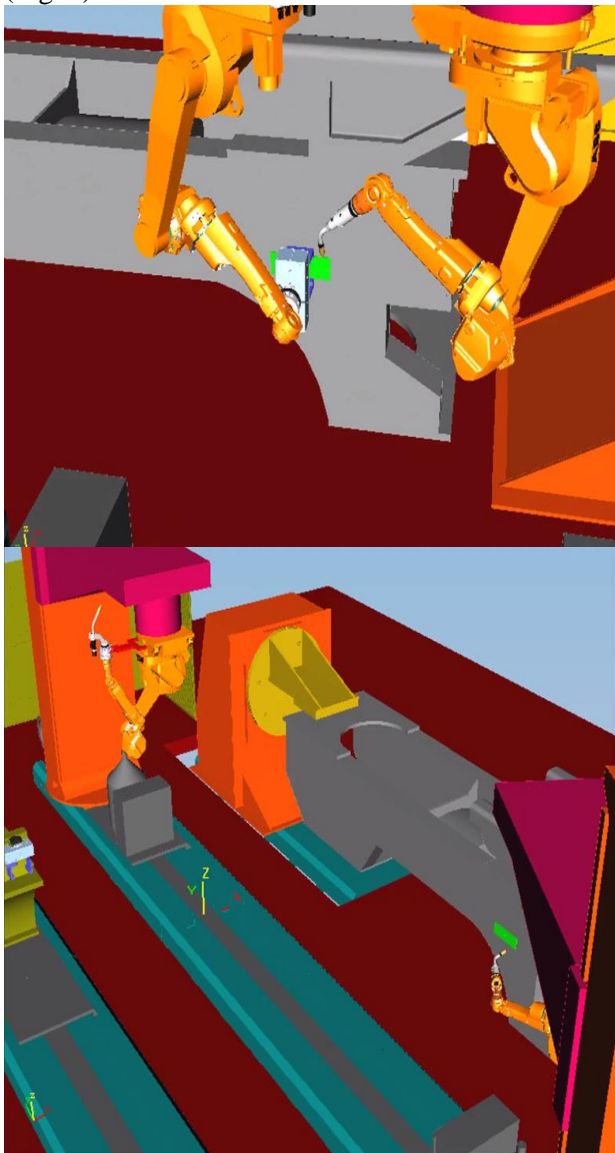


Fig.8. Fixarea piesei și interscimbarea efectorilor

O a treia etapă se constituie din definirea traiectoriei celor doi roboți care vor suda concomitent. Acest lucru se întâmplă deoarece robotul care a interschimbat efectorii ,îi trimite un semnal robotului aflat în așteptare că poate începe operația de realizare concomitentă a cordonului de sudura(Fig.9.).

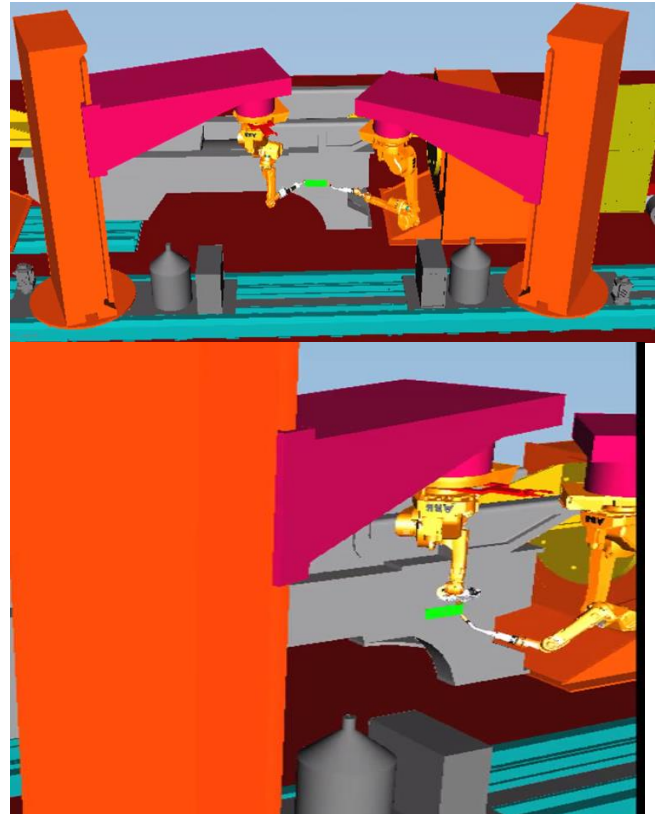


Fig.9. Realizarea cordonului de sudura concomitent

Dupa realizarea integrală a cordonului de sudura a primului reper se trece la cel de-al doilea reper. Etapele sunt aceleași ca cele de mai sus cu precizarea ca atunci cand robotul se deplasează să preia efectorul de manipulare, se face o indexare cu 90 grade a șasiului. Acest lucru se datorează sistemelor perirobotice care au posibilitatea de a roti cu 360 de grade (Fig.10.).

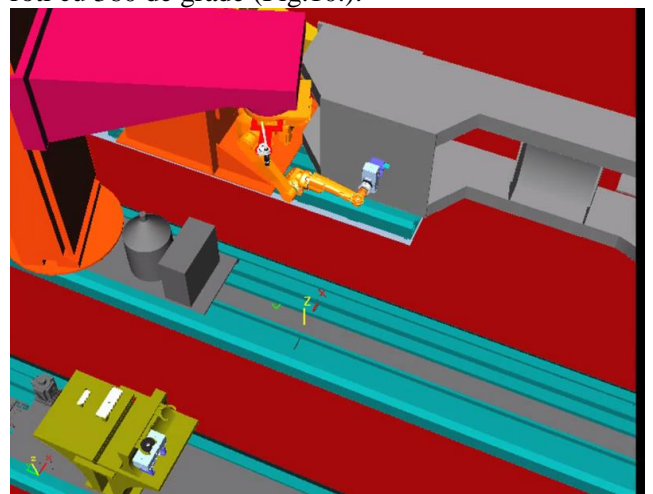


Fig.10. Indexarea cu 90 de grade a șasiului

6. CONCLUZII

În cadrul elaborării proiectului acestei lucrari, din punct de vedere al contributiilor originale au fost prezentate următoarele:

Realizarea studiilor comparative referitoare la celule similare celei proiectate și între roboții asemănători.

Modelarea subansamblurilor în CATIA V5 R21(Sistem de extensie a spațiului de lucru, Reper, Sistem de prindere a reperului)

Simularea funcționării celulei de procesare în mediul virtual de lucru Tecnomatix Process Simulate 10

7. MULTUMIRI

Doresc sa aduc multumiri pe aceasta cale d-lui prof. dr. ing. NICOLESCU Florin-Adrian pentru sprijinul acordat in elaborarea acestei lucrari prin care se realizeaza si undamentarea lucrarii de disertatie ce urmeaza a fi finalizata anul viitor.

8. BIBLIOGRAFIE

- [1]. Nicolescu A., – Conceptia si Exploatarea Sistemelor de Productie Robotizate, note de curs
- [2]. Amza, Gh. ș.a. *Tehnologia materialelor* . București, Ed. Bren, 2000.
- [3].http://de.schunk.com/de_en/home/die-neuenschunk-greifer-pgn-plus-und-pgn-plus-elektrisch/http://www.okuma.com/
- [4].<http://new.abb.com/products/robotics/industria1-robots/irb-1600ID>
- [5].<http://new.abb.com/products/robotics/controllers/irc5>
- [6]. www.grabcad.com
- [7]. www.kawasaki.com
- [8]. www.fanuc.com
- [9]. <http://www.okuma.com/>
- [10].www.nachi.com

SINTEZA ASISTATĂ 3D A UNEI CELULE DE VOPSIRE ROBOTIZATĂ A CAROSERIILOR ȘI PROGRAMAREA-SIMULAREA SA OFFLINE

GHENEA Alexandru – Claudiu¹

Conducător științific: Conf. dr. ing. **Diana POPESCU**

REZUMAT: În cadrul prezentei lucrări s-a realizat sinteza asistată parametrizată 3D CAD al unei celule complete de vopsire robotizată în câmp electrostatic având ca punct de referință analiza comparativă a mai multor celule similare destinate aceluiași scop. Modelul virtual 3D al celulei a fost integrat apoi într-un mediu de lucru dedicat, și anume ABB Robot Studio, în vederea realizării unui studiu preliminar al posibilităților de programare și simulare offline. Astfel, au fost detaliate și ilustrate pas cu pas etapele principale de lucru cu această aplicație, plecând de la importul componentelor celule robotizate, poziționarea acestora în spațiul de lucru, urmată de generarea de către software-ul utilizat a codului în format text pentru întreaga aplicație.

CUVINTE CHEIE: sinteză asistată parametrizată 3D, celulă vopsire caroserii auto, Robot Studio

1 CARACTERISTICILE APLICAȚIEI DE VOPSIRE A CAROSERIILOR AUTO

Roboții industriali utilizați în operații de acoperire a suprafețelor prin vopsire, utilizează scule de tip pistol de vopsire care includ o duză prin care se realizează pulverizarea vopselei sau împrăștierea acesteia sub formă de pulbere. Împrăștierea vopselei se poate realiza cu ajutorul aerului comprimat sau, în cazul vopsirii electrostatice, pistolul este legat la un pol al unei surse de curent, iar obiectul ce urmează a fi vopsit la celălalt pol. Astfel, particulele de vopsea se încarcă electrostatic și sunt atrase de obiect, acestea ajungând în cele din urmă chiar și pe suprafețele mai "ascunse". Comanda roboților de vopsire se face prin programe multipunct (MP) sau prin programe de traiectorie continuă (CP) [3].

2 STADIUL ACTUAL

În vederea realizării modelului virtual 3D parametrizat al aplicației de vopsire robotizată, primul pas a fost studiul aplicațiilor similare din domeniu, urmată de realizarea unei celule proprii și de programarea-simularea online a acesteia prin utilizarea unui program dedicat – ABB Robot Studio. Astfel, a fost generat codul pentru întreaga aplicație, cât și un film în care este prezentat modul de funcționare al întregii aplicații.

2.1 Celule flexibile de vopsire similare celei de proiectat

În figura 1 este prezentată o imagine a unei celule de vopsire în câmp electrostatic a caroseriilor din industria auto.

Operația de vopsire este realizată cu ajutorul a doi roboți de tip braț articulat având o configurație dedicată acestei operații. Aceștia au 6 grade de libertate, sunt deplasabili la sol pe o structură portantă care este ghidată pe o cale de rulare atașată pereților laterali ai celulei.



Fig. 1. Model de aplicație de referință [3]

În figura 2 este prezentată o altă celulă de vopsire robotizată care utilizează 4 roboți de tip braț articulat cu structură hibridă. Aceștia au structură hibridă întrucât primul grad de la bază i-a fost înlocuit de o translație de-a lungul unei structuri pe care roboții sunt suspenși. În cadrul acestei celule se regăsește și un sistem perirobotic de curățare a pistolului de vopsit, un fel de sistem de management al pistolului de vopsit.



Fig. 2. Model aplicație similară celei de proiectat [3]

¹ Specializarea Robotică, Facultatea IMST; E-mail: alexandru.claudiu.ghenea@gmail.com

2.1.1 Analiza comparativă a variantelor constructive similare de roboți industriali

S-a realizat și un studiu comparativ al mai multor variante de roboți industriali cu o constructive similară și care pot fi integrați într-o celulă de vopsire în câmp electrostatic.

Modelul prezentat în figura 3 aparține firmei FANUC și are cinci axe comandate numeric, fiind proiectat pentru viteze mari de deplasare. Acest model are segmentul doi al brațului de lungime de 1.80 m.



Fig. 3. Robot de tip braț articulat al firmei FANUC [1]

Robotul FANUC dedicat operației de vopsire combină funcțiile avansate ale modelului 5400 cu un design compact, rezultatul fiind adaptarea rapidă la orice tip de sistem de vopsire [3].

Modelul ABB IRB 580 este cel mai ușor de programat din clasa sa (figura 4), integrând un sistem unic de proces de reglare în buclă închisă, control de mare viteză și ajustări ale fluxul de vopsea și aer [3]. Spațiul de lucru al acestui robot este prezentat în figura 5, iar tabelul 1 prezintă principalele sale caracteristici tehnice.



Fig. 4. Robot ABB IRB 580 [2]

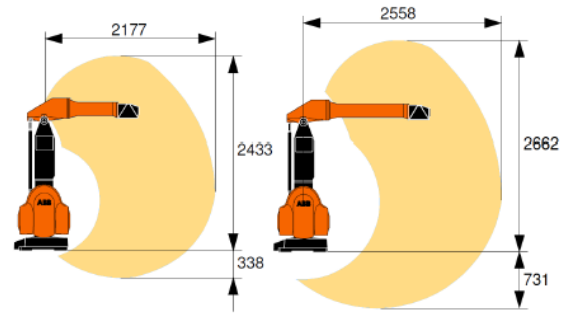


Fig. 5. Spațiul de lucru al robotului ABB IRB 580 [2]

Tabel.1. Caracteristici tehnice ABB IRB580

Mișcare axă	Spațiu de lucru	Viteza maximă
1. Rotație la bază	+1500 -1500	1120/s
2. Brat vertical	+750 -700	1120[°/s]
3. Brat orizontal	+35 0 -600	1120[°/s]
4. Rotatie braț 1	nelimitată	4650[°/s]
5. Pitch	+180 -180	3500[°/s]
6. Rotatie flansa(Roll)	nelimitată	5350[°/s]

2.1.2 Simularea aplicației în ABB Robot Studio

În cadrul imaginilor de mai jos sunt prezentate zonele în care se pot amplasa (poziționa) componentele din cadrul celulei cât și acțiunile ce se revarsă asupra acestora.

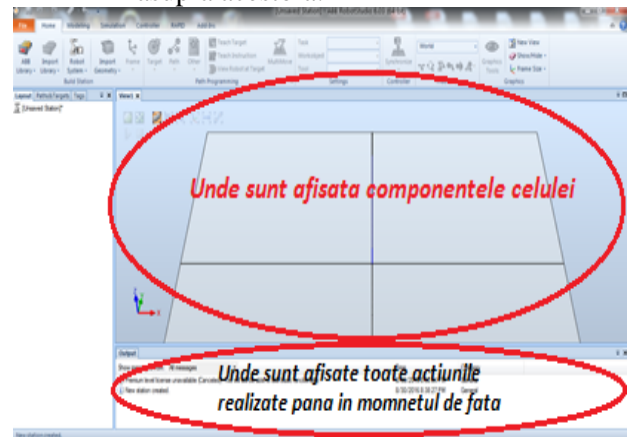


Fig.6. Amplasarea componentelor celulei

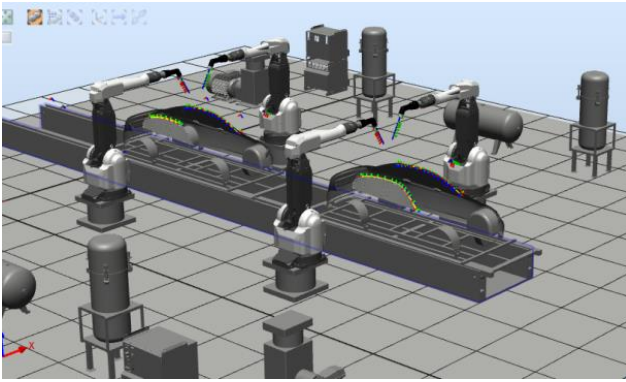


Fig.7. Aplicația completă din ABB Robot Studio

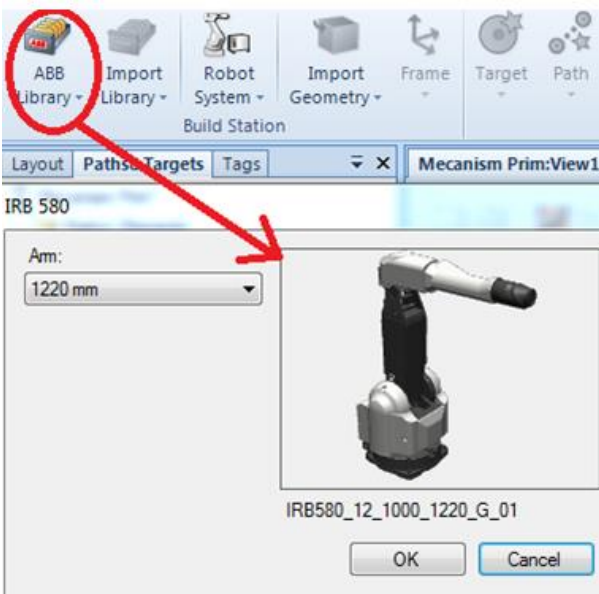


Fig.8. Inserarea modelului de robot în ABB Robot Studio

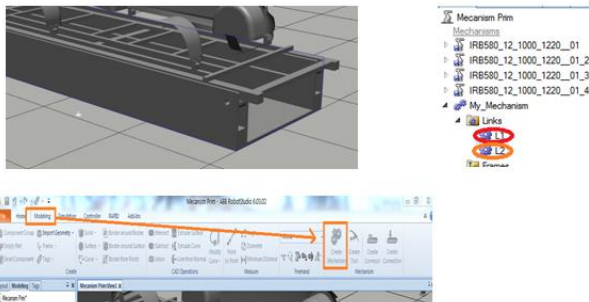


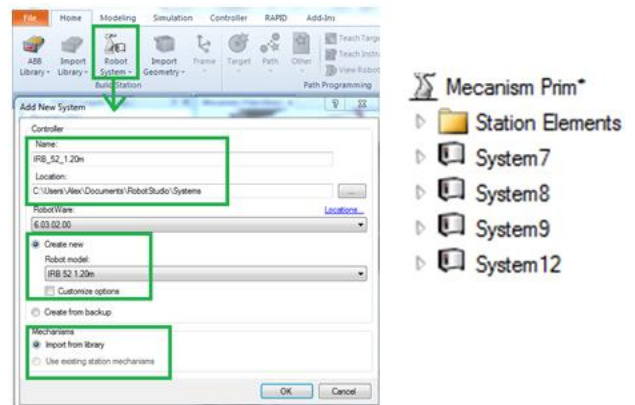
Fig. 10.Realizarea mecanismelor

Pentru a realiza mișcarea de aducere a caroseriilor auto în postul de vopsire,s-a realizat un mecanism de translație între structura de susținere a acestora și structura de bază. Acest s-a importat din cadrul programului unde există o librărie predefinită cu majoritatea modelelor de roboți. În momentul importului se poate defini și lungimea segmentului doi al brațului robotului.



Fig. 9.Importarea elementelor

Elementele componente ale celulei pot fi importate sub format STP.Se recomandă ca acestea sa fie introduse sub forma unor subsansamble alcătuite din mai multe componente .



3

Fig. 11.Crearea systemului robotului(Controller-ul)

Pentru a funcționa și pentru a realiza mișcări,fiecarui robot i se atribuie un controller.Acest lucru se face din comanda Robot System și selectăm New Controller.Practic este specificat căru robot i se atribuie și făcând acest lucru elimini modul de a face fiecărui robot un mecanism,acesta îl prefigurează automat ca și mecanism pe robot și primește și semnalele de intare permițind să știe când să pună in mișcare robotul pentru a vopsi.

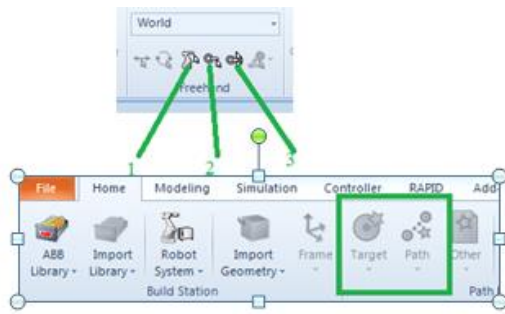


Fig. 12. Generarea traiectoriei și realizarea mișcării

Mișcarea robului se poate face selectând una din cele trei comenzi, acestea fiind cele trei moduri și anume linear, circular sau se poate selecta cel de al treilea mod în care mișcăm robotul de-a lungul unei traiectorii iar acesta memorează poziția punctelor pe care le-a atins.

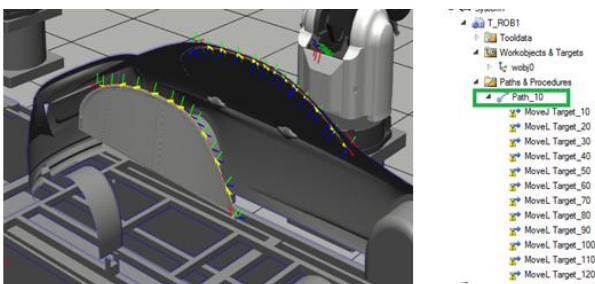


Fig. 13. Traiectorii generate pe obiect

În imaginea de mai sus se pot observa fizic traiectoriile generate pe obiect cât și sensul în care acestea trebuie urmate. Acestea se găsesc în cadrul fiecărui sistem la opțiunea "Path" și sunt sub forma de target-uri, numărul acestora variind în funcție de mișcarea pe care robotul trebuie să o facă. Pentru a urma această traiectorie trebuie să selectăm opțiunea "Move along path" dând click dreapta pe Path și apoi selectând această comandă.

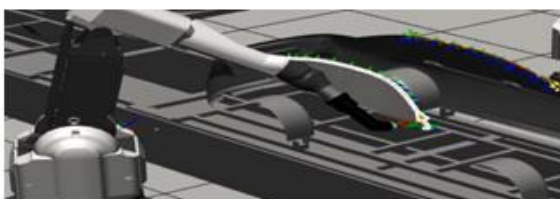


Fig. 14. Realizarea simulării mișcării de-a lungul traiectoriei

Această simulare se face în cadrul fiecărui sistem (controller) acesta se selectează apoi se selectează meniul "Simulation" apoi se generează comanda de mișcare a fiecărui robot. Aceasta se înregistrează tot din cadrul aceluiași meniu cu "Record simulation". Practic se realizează un filmuleț.

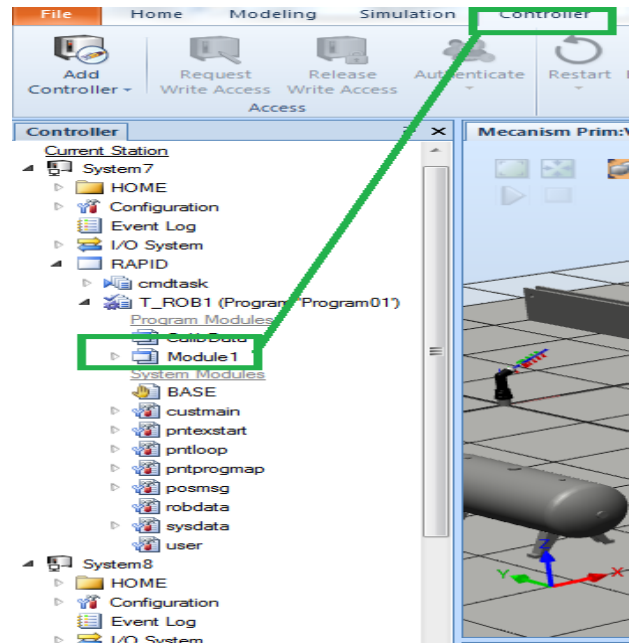


Fig. 15. Generarea automată a programului fiecărui robot

Pentru a putea vizualiza partea de cod a fiecărui robot, se selectează meniul controller apoi selectăm carui modul (robot) dorim să îi vizualizăm programul dând dublu click pe acesta. Partea de cod se va genera automat

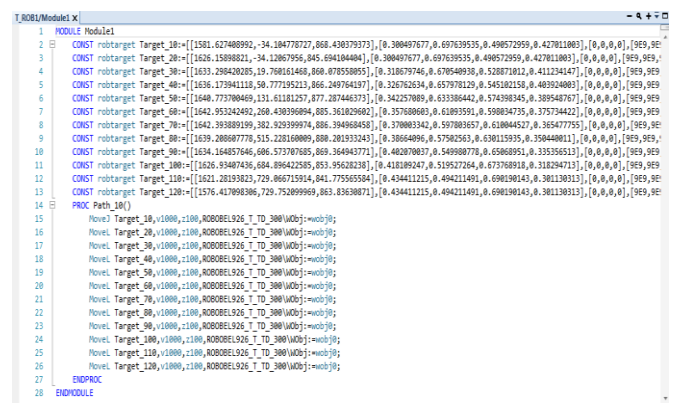


Fig. 16. Program generat în Rapid pentru primul robot

```

1  T_ROB1Module1 x
2  1  MODULE
3  2  CONST robtarget Target_18=[{1585.286344655,-738.6946119,866.-507716786},{0.294157065,0.693833486,0.487624244,0.4467208
4  3  CONST robtarget Target_20=[{1438.226489533,-789.612979829,844.503741414},{0.294157065,0.693833486,0.487624244,0.4467208
5  4  CONST robtarget Target_28=[{1438.226489533,-789.612979829,844.503741414},{0.294157065,0.693833486,0.487624244,0.4467208
6  5  CONST robtarget Target_40=[{1646.989169431,-551.813513686,879.239299563},{0.348893889,0.644728936,0.555478776,0.39618
7  6  CONST robtarget Target_60=[{1452.8183218,-428.189991613,698.042786663},{0.307871216,0.613127436,0.583561686,0.3789872
8  7  CONST robtarget Target_80=[{1655.785893389,-286.397218342,893.792156393},{0.369255681,0.687837786,0.681451584,0.362345
9  8  CONST robtarget Target_100=[{1585.584949489,-143.579637832,896.844188843},{0.389840859,0.587421993,0.622548232,0.351498
10 9  CONST robtarget Target_120=[{1452.8183218,-428.189991613,698.042786663},{0.307871216,0.613127436,0.583561686,0.3789872
11 10 CONST robtarget Target_140=[{1546.881833993,18.8386461,869.189168429},{0.418121332,0.527878743,0.672383997,0.31931828
12 11 CONST robtarget Target_160=[{1479.8946132,491.487798989,611.982314763},{0.518663874,0.361927044,0.744353776,0.214322
13 12 CONST robtarget Target_180=[{1479.8946132,491.487798989,611.982314763},{0.518663874,0.361927044,0.744353776,0.214322
14 13 CONST robtarget Target_180=[{1479.8946132,491.487798989,611.982314763},{0.518663874,0.361927044,0.744353776,0.214322
15 14 CONST robtarget Target_180=[{1479.8946132,491.487798989,611.982314763},{0.518663874,0.361927044,0.744353776,0.214322
16 15 CONST robtarget Target_180=[{1479.8946132,491.487798989,611.982314763},{0.518663874,0.361927044,0.744353776,0.214322
17 16 CONST robtarget Target_180=[{1479.8946132,491.487798989,611.982314763},{0.518663874,0.361927044,0.744353776,0.214322
18 17 PROC Path_18()
19 18 MoveJ Target_18,v1000,z100,ROBOBEL926_T_TO_380(MObj)-wobj0;
20 19 MoveJ Target_20,v1000,z100,ROBOBEL926_T_TO_380(MObj)-wobj0;
21 20 MoveJ Target_28,v1000,z100,ROBOBEL926_T_TO_380(MObj)-wobj0;
22 21 MoveJ Target_40,v1000,z100,ROBOBEL926_T_TO_380(MObj)-wobj0;
23 22 MoveJ Target_60,v1000,z100,ROBOBEL926_T_TO_380(MObj)-wobj0;
24 23 MoveJ Target_80,v1000,z100,ROBOBEL926_T_TO_380(MObj)-wobj0;
25 24 MoveJ Target_100,v1000,z100,ROBOBEL926_T_TO_380(MObj)-wobj0;
26 25 MoveJ Target_120,v1000,z100,ROBOBEL926_T_TO_380(MObj)-wobj0;
27 26 MoveJ Target_140,v1000,z100,ROBOBEL926_T_TO_380(MObj)-wobj0;
28 27 MoveJ Target_160,v1000,z100,ROBOBEL926_T_TO_380(MObj)-wobj0;
29 28 MoveJ Target_180,v1000,z100,ROBOBEL926_T_TO_380(MObj)-wobj0;
30 29 MoveJ Target_180,v1000,z100,ROBOBEL926_T_TO_380(MObj)-wobj0;
31 30 MoveJ Target_180,v1000,z100,ROBOBEL926_T_TO_380(MObj)-wobj0;
32 31 MoveJ Target_180,v1000,z100,ROBOBEL926_T_TO_380(MObj)-wobj0;
33 32 MoveJ Target_180,v1000,z100,ROBOBEL926_T_TO_380(MObj)-wobj0;
34 33 MoveJ Target_180,v1000,z100,ROBOBEL926_T_TO_380(MObj)-wobj0;
35 34 MoveJ Target_180,v1000,z100,ROBOBEL926_T_TO_380(MObj)-wobj0;
36 35 ENDPROC
37 36 ENDMODULE

```

Fig. 17. Program generat in Rapid pentru al doilea robot

```

9  9  CONST robtarget Target_08=[{1652.588494683,-62.277297989,802.761678263},{0.392895459,0.56415474,0.64251182,0.338336283},{0,0,0,0},{9E9,9E9,9E9,9E9}
10 10 CONST robtarget Target_09=[{1646.881833993,18.8386461,869.189168429},{0.418121332,0.527878743,0.672383997,0.31931828},{0,0,0,0},{9E9,9E9,9E9,9E9}
11 11 CONST robtarget Target_100=[{1617.835816156,76.692935431,853.195514044},{0.42683876,0.486227566,0.701869112,0.299454375},{0,0,0,0},{9E9,9E9,9E9,9E9}
12 12 CONST robtarget Target_110=[{1622.06731246,151.259898976,823.714355573},{0.446289247,0.439393392,0.728867097,0.270769028},{0,0,0,0},{9E9,9E9,9E9,9E9}
13 13 CONST robtarget Target_120=[{1183.385108887,222.82696499,787.459381453},{0.464885489,0.48478643,0.743471622,0.259526881},{0,0,0,0},{9E9,9E9,9E9,9E9}
14 14 CONST robtarget Target_130=[{1578.397744632,385.576985283,734.353218743},{0.487378763,0.375399915,0.751485149,0.238342014},{0,0,0,0},{9E9,9E9,9E9,9E9}
15 15 CONST robtarget Target_140=[{1549.789488157,481.115712123,663.362282472},{0.587373285,0.36184295,0.748688424,0.222728887},{0,0,0,0},{9E9,9E9,9E9,9E9}
16 16 CONST robtarget Target_150=[{1525.45866877,488.689105333,593.476941794},{0.518663874,0.361927044,0.744353776,0.214322317},{0,0,0,0},{9E9,9E9,9E9,9E9}
17 17 CONST robtarget Target_160=[{1479.8946132,491.487798989,611.982314763},{0.518663874,0.361927044,0.744353776,0.214322317},{0,0,0,0},{9E9,9E9,9E9,9E9}
18 18 PROC Path_18()
19 19 MoveJ Target_18,v1000,z100,ROBOBEL926_T_TO_380(MObj)-wobj0;
20 20 MoveJ Target_20,v1000,z100,ROBOBEL926_T_TO_380(MObj)-wobj0;
21 21 MoveJ Target_28,v1000,z100,ROBOBEL926_T_TO_380(MObj)-wobj0;
22 22 MoveJ Target_40,v1000,z100,ROBOBEL926_T_TO_380(MObj)-wobj0;
23 23 MoveJ Target_60,v1000,z100,ROBOBEL926_T_TO_380(MObj)-wobj0;
24 24 MoveJ Target_80,v1000,z100,ROBOBEL926_T_TO_380(MObj)-wobj0;
25 25 MoveJ Target_100,v1000,z100,ROBOBEL926_T_TO_380(MObj)-wobj0;
26 26 MoveJ Target_120,v1000,z100,ROBOBEL926_T_TO_380(MObj)-wobj0;
27 27 MoveJ Target_140,v1000,z100,ROBOBEL926_T_TO_380(MObj)-wobj0;
28 28 MoveJ Target_160,v1000,z100,ROBOBEL926_T_TO_380(MObj)-wobj0;
29 29 MoveJ Target_180,v1000,z100,ROBOBEL926_T_TO_380(MObj)-wobj0;
30 30 MoveJ Target_110,v1000,z100,ROBOBEL926_T_TO_380(MObj)-wobj0;
31 31 MoveJ Target_120,v1000,z100,ROBOBEL926_T_TO_380(MObj)-wobj0;
32 32 MoveJ Target_140,v1000,z100,ROBOBEL926_T_TO_380(MObj)-wobj0;
33 33 MoveJ Target_150,v1000,z100,ROBOBEL926_T_TO_380(MObj)-wobj0;
34 34 MoveJ Target_160,v1000,z100,ROBOBEL926_T_TO_380(MObj)-wobj0;
35 35 ENDPROC
36 36 ENDMODULE

```

Fig. 18. Program generat in Rapid pentru al treilea robot

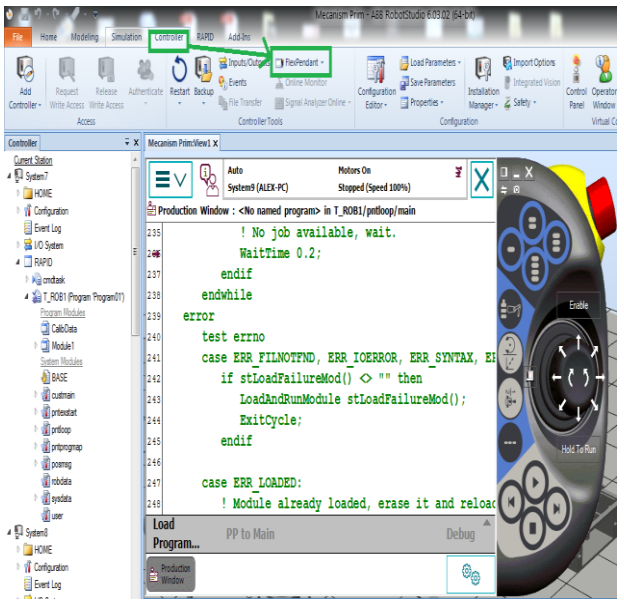


Fig. 19. Model virtual al teach-ului și vizualizarea programului

În cadrul imaginii este prezentat modelul virtual al teachpendantului. În cadrul interfeței virtuale sunt prezentate principalele comenzi ce pot pune în mișcare structura mecanică cât și codul la nivel textual ce poate fi modificat.

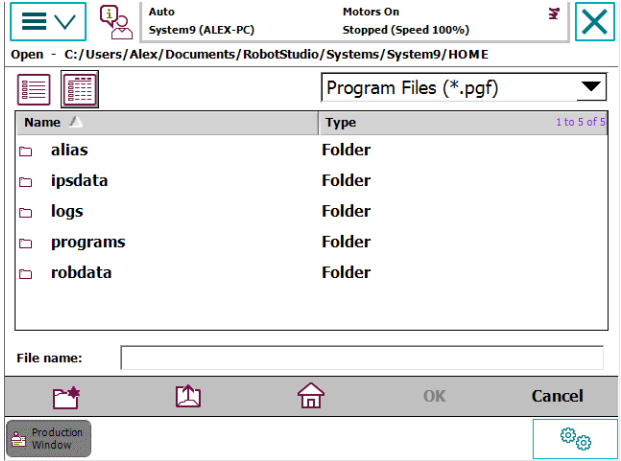


Fig. 20. Model virtual al teach-ului și posibilitatea de încărcare a unor programe deja predefinite

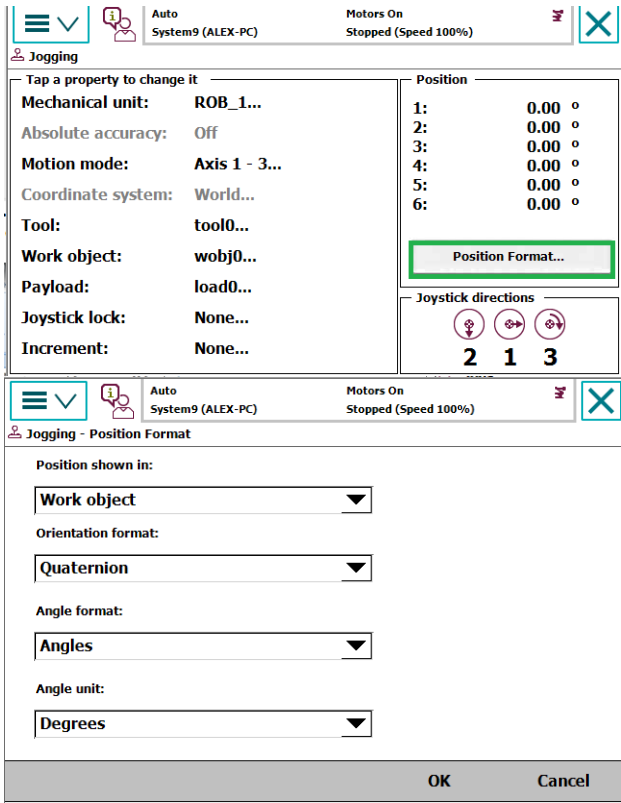


Fig. 21. Meniul jogging

În cadrul meniului jogging este prezentată entitatea(robotul),scula acestuia,numărul de axe ce pot fi comandate cât și sarcina portantă.Prin accesarea comenzi”Position Format” se pot face

modificări asupra mai multor parametri care țin de orientare.

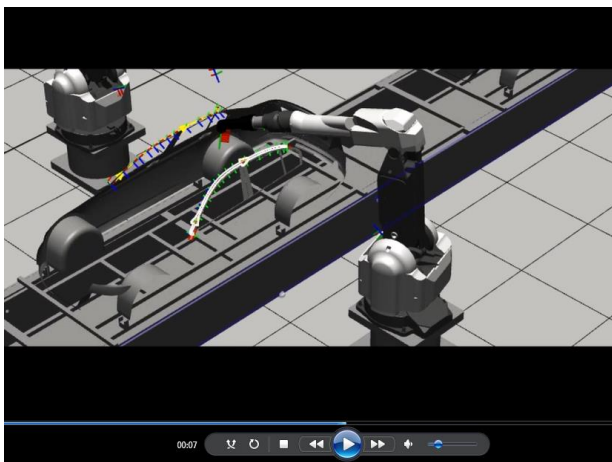
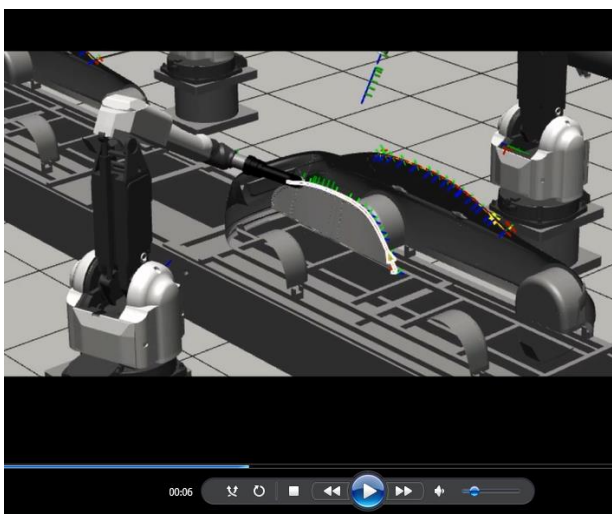
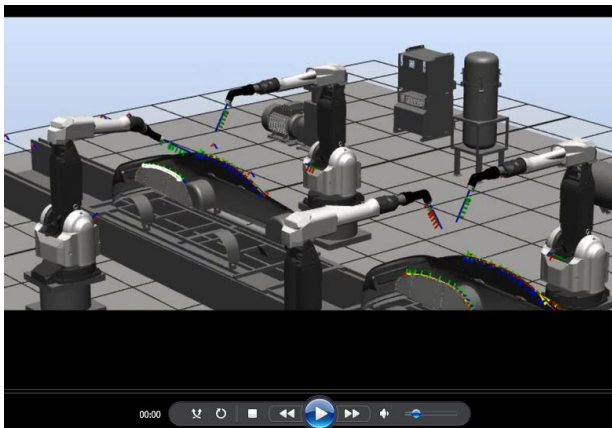


Fig. 22.Capturi succesive din cadrul simulării

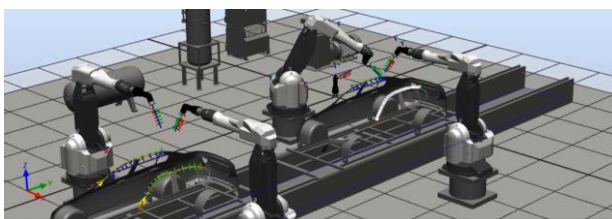


Fig. 23.Capturi succesive din cadrul simulării

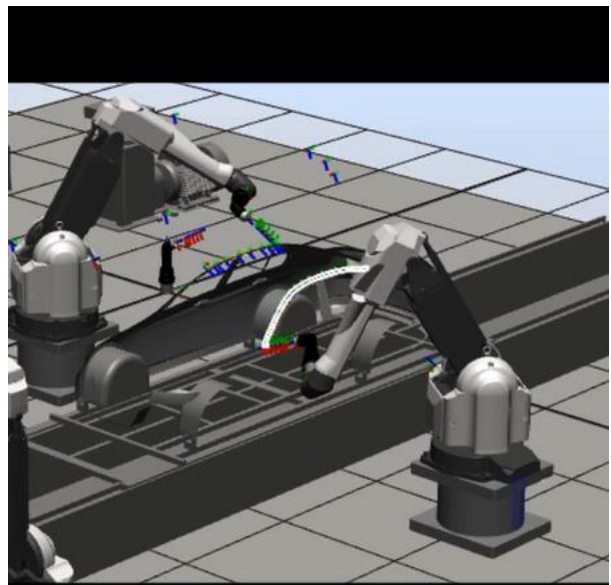


Fig. 24.Capturi succesive din cadrul simulării

În cadrul imaginilor sunt prezentate elementele majore ce alcătuiesc celula.Sunt roboți de tip braț articulat cât și restul echipamentului necesar realizării vopsirii in câmp electrostatic.Sistemul de transport al caroseriilor auto este alcătuit dintr-un mecanism de translație la sol a acestora.Mecanismul este format dintr-un suport pe care se află entitățile de tip caroserie si un sistem de acționare de tip motor-reductor si elemnt acționat.Aceste elemente au fost eliminate din simulare pentru a reduce timpii de realizare a acesteia.Odată ajunse caroseriile in dreptul postului de lucru(robot),acestia își încep programul de vopsire.

4 BIBLIOGRAFIE

- [1]. Fanuc - <http://www.fanuc.com/>.
- [2]. Abb - <http://new.abb.com/products/robotics>
- [3]. [https://www.google.ro/#q=youtube articolului](https://www.google.ro/#q=youtube+articolului)

PLATFORMĂ INFORMATICĂ PENTRU MONITORIZAREA DE LA DISTANȚĂ VIA INTERNET A FUNCȚIONĂRII SISTEMELOR DE PRODUCȚIE ROBOTIZATE

STAN Elena - Liliana¹,

Conducător științific: Prof. dr. ing. Cristina PUPAZĂ, Prof. dr. ing. Adrian NICOLESCU

REZUMAT: Lucrarea prezintă un studiu de cercetare și dezvoltare al unei aplicații robotizate incluse într-un proces de fabricație, ce încorporează tehnologii pe baza conceptului Internet of Things. De la controlerul virtual folosit în programarea și simularea aplicației robotizate în mediul de lucru ABB RobotStudio, sunt preluate date de ieșire de la semnalele ce asigură funcționalitatea aplicației, cu ajutorul pachetului software Robot Web Services, și trimise către platforma informațională în timp real, unde pot fi folosiți algoritmi pentru vizualizarea și analizarea datelor iar de la platformă pot fi trimise semnale pentru controlul aplicației robotizate și alerte.

CUVINTE CHEIE: Programarea și simularea off-line a unui robot, Industrial Internet of Things, Cloud Robotics, Industria 4.0, ABB RobotStudio, ABB RobotStudio Web Services

1 INTRODUCERE

Dezvoltarea tehnologiei aduce potențialul dezvoltării unei noi generații de roboți și sisteme automatizate, conduse de rețele wireless, baze de date, tehnici de calcul avansate, noi metode de programare a RI, toate acestea având ca efect îmbunătățirea performanței și creșterea flexibilității în producție.

În această lucrare este prezentat un studiu de cercetare și dezvoltare al unei aplicații robotizate incluse într-un proces de fabricație, ce încorporează tehnologii pe baza conceptului Internet of Things.

Internet of Things este un concept care definește o lume în care toate obiectele (dispozitive informatice identificabile în mod unic) vor fi conectate între ele cu ajutorul internetului, o lume care înglobează perfect lumea virtuală a informației și a tehnologiei.

2 STADIUL ACTUAL

Adoptarea tehnologiilor pe baza conceptului Internet of Things în aplicațiile robotizate este un domeniu de interes actual, aflat în stadiu de cercetare și dezvoltare.

Printre principalii producători de roboți industriali ce sunt activi în dezvoltarea și implementarea tehnologiilor speciale IoT în robotică se află KUKA în parteneriat cu Microsoft Azure și ABB în parteneriat cu Cisco Jasper.

KUKA Robotics au dezvoltat o platformă astfel încât Windows Embedded și Windows .NET pot funcționa pe o singură unitate CPU, rezultatul fiind 259 de roboți conectați la 33 de controlere secundare conectate la un controler principal. [1]

Un al producător, ABB Robotics dezvoltă și implementează tehnologii IoT în domeniul roboticii în parteneriat cu Cisco Jasper pentru a putea administra și automatiza dispozitivele interconectate, obținând și analizând în timp real, date și informații de la roboții industriali aflați în producție.

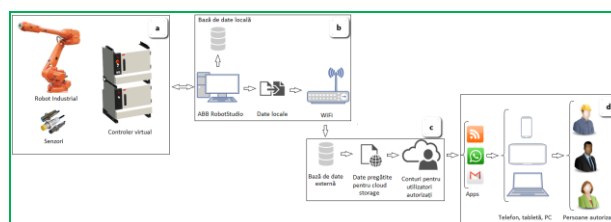


Fig. 1 Schema de principiu a dezvoltării unei aplicații ce încorporează tehnologii pe baza conceptului IoT

În Fig.1 este prezentată schema de principiu a platformei pentru monitorizarea de la distanță via Internet a funcționării sistemelor de producție robotizate.

Pentru aplicația robotizată (a) s-a realizat programarea și simularea off-line în mediul de lucru ABB RobotStudio iar de la controlerul virtual vor fi preluate și transmise datele (b) către o platformă web (c), unde vor putea fi accesate doar de către persoane autorizate (d) cu scopul de a controla și monitoriza funcționalitatea sistemului de producție robotizat.

¹ Specializarea Robotică, Facultatea IMST;

E-mail: lili_ilil_19@yahoo.com;

3 PROGRAMAREA ȘI SIMULAREA OFF-LINE A UNEI CELULE DE FABRICAȚIE ROBOTIZATE UTILIZÂND MEDIUL DE LUCRU ABB ROBOTSTUDIO 6.05.

3.1 Definirea funcționalității aplicației și stabilirea componentelor majore.

Aplicația robotizată din cadrul temei de proiect este definită în cadrul operațiilor tehnologice de prelucrare (debavurare) ce necesită puteri mici de așchiere (sub 800 W).

Robotul industrial 1 este echipat cu un efector vacuumatic monofuncțional 4 pentru manipularea reperului de prelucrat (piesă cu bavuri) 7 și cu o sculă cu antrenare proprie cu complianță radială (acționată pneumatic) 2. Conveiorul de alimentare a celulei cu reperi de prelucrat 8 aduce reperul de prelucrat ce prezintă bavuri 7 pe masa de centrare de unde este preluat de către RI și fixat în sistemul de fixare acționat vacuumatic 3.

RI este echipat cu un sistem de cuplare-decuplare automat ce permite schimbarea efectorul vacuumatic monofuncțional 4 cu un efector de tip sculă cu antrenare proprie 2 pentru realizarea procesului de debavurare robotizată.

O dată terminat procesul de debavurare, efectorul de tip sculă cu antrenare proprie 2 este depus în sistemul de protecție 5 și este început procesul de inspecție video a reperului prelucrat urmând a fi cuplat efectorul vacuumatic monofuncțional 4 pentru preluarea reperului din sistemul de fixare 3 și depus pe conveiorul de evacuare 13.

În Fig. 2 este prezentat prototipul virtual 3D pentru ansamblul general al aplicației și componentele majore folosite în cadrul aplicației robotizate.

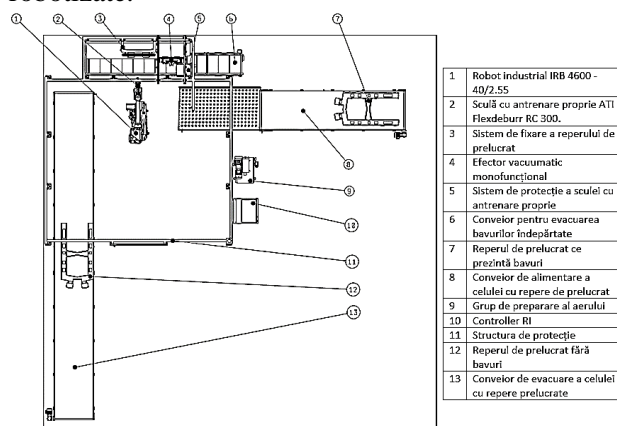


Fig. 2 Prototip virtual 3D pentru ansamblul general al aplicației. Componentele majore folosite în cadrul aplicației robotizate

În cadrul aplicației robotizate sunt folosite următoarele:

- Robot industrial cu arhitectură generală de tip braț articulat, ABB IRB 4600-40/2.55 ;
- Efector de tip sculă cu antrenare proprie cu complianță radială (acționată pneumatic), ATI Flexdeburr RC 300 ;
- Efector vacuumatic monofuncțional;
- Sistem de cuplare – decuplare automat, ATI QC - 41;
- Sistem de vedere artificial;
- Conveioare pentru alimentarea celulei cu semifabricate și evacuarea pieselor prelucrate.

Robotul are un număr de 6 axe și posibilitatea de a manevra o sarcină portantă de 40 kg. Raza maximă este de 2550 mm iar repetabilitatea în poziționare este de ± 0.05 mm. Controlerul pentru comanda și controlul robotului folosit în această aplicație este IRC5.

Programarea off-line a aplicației robotizate s-a realizat în mediul de lucru *ABB RobotStudio 6.05*. În Fig.3. este prezentat ansamblul final al aplicației robotizate în vederea programării și simulării off-line.

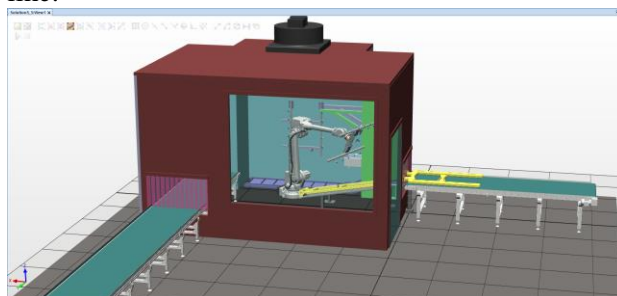


Fig. 3 Realizarea programării și simulării off-line a aplicației robotizate în ABB RobotStudio

În cadrul programării off-line au fost realizate următoarele operații pentru acționarea elementelor din cadrul aplicației:

- Pornire/Oprire conveior alimentare
- Pornire/Oprire conveior evacuare
- Acționare/Eliberare vacuum efector vacuumatic
- Acționare/Eliberare vacuum sistem fixare reper
- Deschidere/Închidere sistem protecție efector ATI RC 300
- Cuplare/Decuplare automata efector ATI RC 300
- Cuplare/Decuplare automata efector vacuumatic
- Operație control vizual

Programarea off-line a aplicației robotizate a avut nevoie de o schemă logică (Fig.4) pentru înțelegerea funcționării, determinarea semnalelor necesare controlului fluxului industrial și identificarea elementelor perturbatorii. În acest sens, programarea aplicației a fost împărțită în trei etape majore având ca scop principal trimiterea ulterioară a informațiilor de interes către platforma informațională.

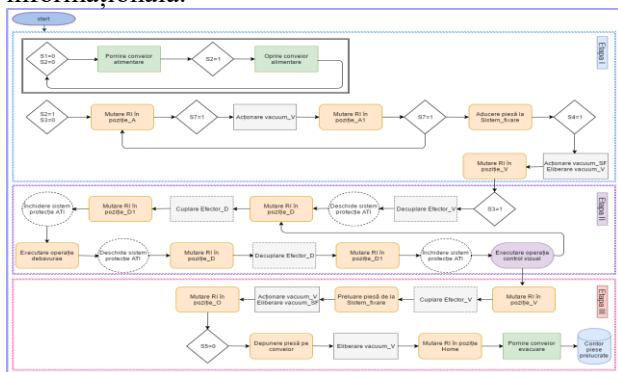


Fig. 4 Schema logică a funcționării aplicației. Dintre cele mai importante, cu portocaliu sunt reprezentate mișcările Robotului Industrial, cu verde sunt reprezentate acțiunile celor două conveioare iar cu gri sunt reprezentate acțiunile de cuplare/decuplare efectori sau acționare/elibereare vacuum.

3.2 Definirea semnalelor de intrare și de ieșire folosite în cadrul aplicației și folosite de către controlerul virtual.

În cadrul programării off-line au fost declarate și folosite următoarele semnale digitale de intrare și de ieșire (reprezentate și în Fig.5.):

- do_S1 Prezență piesă pe conveierul de alimentare al celulei
- do_S2 Prezență piesă pe masa de centrare
- do_S3 Prezență efector vacuumatic în suport
- do_S4 Prezență piesă în sistemul de fixare
- do_S5 Prezență piesă pe conveierul de ieșire
- do_S6 Prezență efector debavurare în suport
- do_S7 Reper detectat de către efector vacuumatic

În Fig. 5 sunt figurate pozițiile senzorilor și sunt delimitate cele trei etape majore din fluxul aplicației. Prima etapă are ca element principal alimentarea cu reperi de prelucrat a celulei robotizate. A doua etapă are ca elemente principale debavurarea robotizată a reperului și controlul vizual al reperului prelucrat. În timp ce ce-a de-a treia etapă are ca element principal evacuarea reperelor prelucrate din celula robotizată.

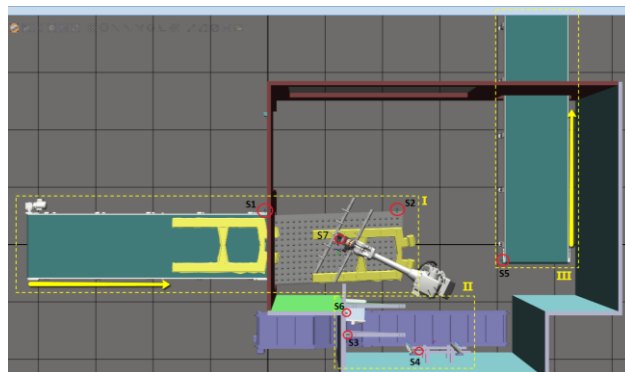


Fig. 5 Reprezentarea grafică a poziționării senzorilor în cadrul aplicației robotizate. Delimitarea celor trei etape reprezentative în cadrul programării off-line

Etapa I:

Conveierul va fi acționat până când reperul de prelucrat va ajunge în raza de acționare a senzorului S1. O dată ajuns acolo, va fi verificat semnalul senzorului S2 – dacă acesta este 0, reperul de prelucrat poate fi avansat pe masa de centrare înclinată pe două plane și adus următorul reper, iar dacă semnalul este 1 conveierul nu va permite avansarea reperului pe masa de centrare.

Pentru preluarea reperului din poziție centrată de pe masa înclinată, robotul industrial este echipat cu un efector vacuumatic monofuncțional. Pentru siguranța prinderii piesei, efectorul este echipat cu un senzor în scopul determinării prezenței reperului în proximitatea acestuia. În acest sens, robotul va efectua mișcarea de preluare a reperului, se va retrage, urmând a verifica semnalul senzorului S7 – dacă acesta este 1, piesa se află atașată efectorului vacuumatic și poate fi continuat procesul, iar dacă valoarea semnalului este 0, va fi repetată mișcarea de preluare a reperului.

Etapa II:

Sistemul de fixare trebuie să asigure prinderea în poziție a reperului de prelucrat în vederea efectuării operației de debavurare. Senzorul S4 determină acționarea vacuumului pentru sistemul de fixare atunci când reperul este adus în poziție de prindere urmând a fi eliberat vacuumul efectorului.

O altă componentă cu rol important în cadrul aplicației robotizate este sistemul de protecție al efectorului ATI RC 300. Controlul acestuia este determinat de semnalul senzorului S3 care determină poziția în suport a efectorului vacuumatic – dacă semnalul este 1, efectorul vacuumatic este în suport urmând a fi deschis sistemul de protecție pentru a permite avansarea robotului și cuplarea efectorului ATI RC 300; după îndepărtarea robotului, este verificat semnalul senzorului S6 – dacă semnalul este 0, efectorul ATI nu se află în sistemul de protecție iar acesta se poate închide.

Etapa III:

Ultima etapă presupune evacuarea reperelor din celula robotizată. Dacă inspecția video determină debavurarea reperului corespunzătoare, robotul va avansa la suportul de susținere al efectorului vacuumatic și cuplarea acestuia, urmând să revină la sistemul de fixare și să preia reperul prelucrat în scopul depunerii acestuia pe conveior.

Senzorul S5 determină dacă robotul va avansa și depune reperul pe conveior – dacă semnalul este 0, atunci pe conveior nu se află niciun reper în poziția de depunere permițându-i robotului să continue procesul. O dată depusă piesa pe conveior, senzorul S5 va trimite semnalul 1 pentru acționarea conveiorului urmând a evacua reperul prelucrat din celula robotizată și va schimba și valoarea contorului pentru repere prelucrate.

Cunoscând scenariul aplicației robotizate se poate continua cu programarea robotului industrial.

3.3 Definirea sistemelor de coordonate locale asociate componentelor majore.

În mediul de lucru RobotStudio pot fi definite sisteme de coordonate atașate componentelor majore. Sistemele de coordonate definite în cadrul acestei aplicații sunt:

- Sistem de coordonate local atașat mesei de centrare
- Sistem de coordonate local atașat sistemului de fixare piese
- Sistem de coordonate de tip TCP atașat flanșei de cuplare Master
- Sistem de coordonate de tip TCP atașat efectorului vacuumatic
- Sistem de coordonate de tip TCP atașat efectorului de tip sculă ATI

În realizarea traiectoriilor robotului, fiecărui punct țintă i se va atribui sistemul de coordonate TCP corespunzător.

3.4 Programarea și simularea mișcărilor robotului cu ajutorul limbajului de programare RAPID.

Programarea robotului trebuie să cuprindă:

- Crearea unor puncte țintă care să formeze traiectorii;
- Setarea orientărilor și configurațiile cu care robotul poate ajunge la punctele țintă definite;
- Verificarea spațiului de lucru al robotului astfel încât robotul să poată ajunge la punctele țintă;
- Sincronizarea traiectoriilor realizate cu controlerul robotului;

- Verificarea și editarea programului RAPID sincronizat;
- Setarea parametrilor pentru detecția coliziunilor;
- Testarea programului.

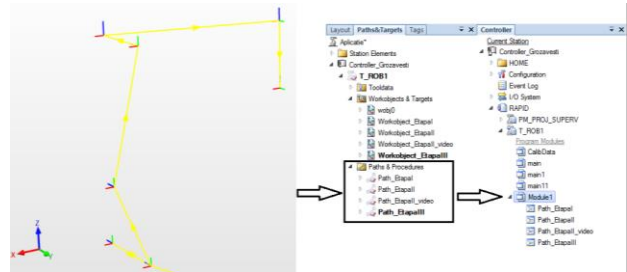


Fig. 6 Punctele și orientările sistemului de coordonate TCP. Realizarea sistemelor de coordonate locale asociate componentelor celulei robotizate și determinarea traiectoriei robotului. Sincronizarea traiectoriilor cu controlerul robotului.

Pentru programarea robotului în scopul preluării reperului de pe masa de centrare, a fost scris următorul program RAPID (Path_EtapaI), unde MoveJ reprezintă tipul mișcării robotului pe traiectoria de urmat, Target_n reprezintă punctele definite pentru a forma traiectoria robotului, v500 reprezintă viteza de deplasare a robotului, z50 reprezintă precizia pe care trebuie să o respecte robotul în abaterea de la traiectorie, Tooldata_TCP_VAC reprezintă sistemul de coordonate TCP atașat efectorului vacuumatic iar WObj reprezintă sistemul de coordonate atașat mesei de centrare.

```
PROC Path_EtapaI()
WaitDO S2, 1;
MoveJ Target_10,v500,z50,Tooldata_TCP_VAC\WObj:=Workobject_EtapaI;
MoveJ Target_11,v400,z50,Tooldata_TCP_VAC\WObj:=Workobject_EtapaI;
MoveJ Target_20,v500,z50,Tooldata_TCP_VAC\WObj:=Workobject_EtapaI;
MoveJ Target_21,v500,z50,Tooldata_TCP_VAC\WObj:=Workobject_EtapaI;
MoveJ Target_30,v500,z50,Tooldata_TCP_VAC\WObj:=Workobject_EtapaI;
MoveJ Target_31,v500,z50,Tooldata_TCP_VAC\WObj:=Workobject_EtapaI;
MoveJ Target_32,v500,z50,Tooldata_TCP_VAC\WObj:=Workobject_EtapaI;
MoveJ Target_70,v500,z50,Tooldata_TCP_VAC\WObj:=Workobject_EtapaI;
MoveJ Target_80,v100,fine,Tooldata_TCP_VAC\WObj:=Workobject_EtapaI;
MoveJ Target_81,v100,fine,Tooldata_TCP_VAC\WObj:=Workobject_EtapaI;
MoveJ Target_90,v500,z50,Tooldata_TCP_VAC\WObj:=Workobject_EtapaI;
MoveJ Target_91,v500,z50,Tooldata_TCP_VAC\WObj:=Workobject_EtapaI;
ENDPROC
```

Fig. 7 Programul RAPID pentru traiectoriile robotului pentru preluarea reperului de prelucrat de pe masa de centrare

3.5 Crearea controlerului virtual.

Mediul de lucru RobotStudio folosește un controler virtual pentru controlul roboților. Acest timp de controler folosește același program software precum controlerul real pentru a executa programele RAPID, pentru a calcula mișcările robotului și pentru controlul semnalelor de intrare și de ieșire. Controlerul virtual conține date și informații specifice fiecărui robot (caracteristici referitoare la precizie, configurații, etc.) în acest sens în această lucrare a fost definit un controler virtual IRC5

specific tipului de robot IRB 4600 – 40/2.55 căruia i s-au adăugat module pentru Multitasking și Vision.

```

C:\Users\Batan\Documents\RobotStudio\System\Controler_Groavesti
Script begin: C:\Users\Batan\AppData\Local\ABB Industrial IT\Robotics IT\RobotWare\RobotWare_0.02.0100\System\uprobe_default_start.cnd
Status # From uprobe_set_mask
Status # From uprobe_set_mask
Status # From uprobe_set_mask
Status # From uprobe_set_mask
Status # From uprobe_set_mask
Script end: C:\Users\Batan\AppData\Local\ABB Industrial IT\Robotics IT\RobotWare\RobotWare_0.02.0100\System\uprobe_default_start.cnd
Status # From Include C:\Users\Batan\AppData\Local\ABB Industrial IT\Robotics IT\RobotWare\RobotWare_0.02.0100\System\uprobe_default_start.cnd
Status # From FilesList C:\Users\Batan\Documents\RobotStudio\System\Controler_Groavesti\Service_Debug.cnd
Info # [Info] NEXT_STEP
Status # From goto NEXT_STEP
Info # [Info] NEXT_STEP
Status # From Ifrc NEXT_STEP
Status # From SystemReady
Script end: C:\Users\Batan\Documents\RobotStudio\System\Controler_Groavesti\INTERNAL\startup.cnd

***** Startup ready *****
17-01-29 13:09:56 MCR: type = STATE_CHANGE Id = Operational code = 16
    
```

Fig. 8 Starea funcționării controlerului virtual

Programarea și simularea aplicației robotizate s-a făcut folosind următoarele funcții ale programului RobotStudio:

- Signal analyzer
- Gearbox heat
- Event manager

Funcția Signal Analyzer permite monitorizarea semnalelor din cadrul aplicației în timpul simulării. Intervalul de timp setat este de 24 ms.

În timpul simulării va fi urmărit atât comportamentul robotului cât și cel al întregului ansamblu, determinat de semnalele de intrare și ieșire. Vor fi urmărite și analizate mișcările robotului, vitezele cuplelor, schimbarea configurațiilor pentru a optimiza programarea acestuia.

4 CONTROLUL ȘI MONITORIZAREA DE LA DISTANȚĂ A FUNCȚIONĂRII APLICAȚIEI ROBOTIZATE.

4.1 RobotStudio PC SDK

Pachetul software RobotStudio PC SDK folosește Microsoft .NET Framework și Microsoft Visual Studio pentru dezvoltarea programării și simulării aplicațiilor robotizate. [2]

Sunt folosite sub-programe API pentru customizarea sau dezvoltarea proprie a funcționalității mediului de lucru în RobotStudio prin crearea unor extensii de tip *add-in* sau grupuri funcționale de tip *smart components*.

4.2 Robot Web Services

Robot Web Services are la baza funcționării o arhitectură de tip REST folosită pentru pagini și aplicații web. Sunt utilizate seturi de sub-programe, protocoale și unelte pentru programarea de aplicații și software, cunoscute sub numele de API. [3]

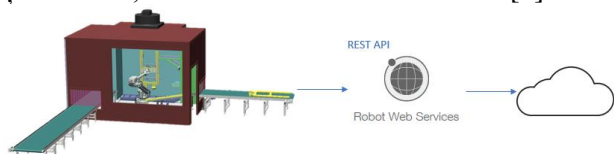


Fig. 9 Schema de principiu pentru trimiterea datelor de interes din aplicația robotizată către platformă folosind ABB Web Services

Printre cele mai importante funcții din arhitectura de tip REST folosită în cadrul lucrării pentru interacțiunea cu resursele programului ABB RobotStudio sunt:

- GET, pentru obținerea unei resurse
- PUT, pentru crearea sau actualizarea unei resurse
- POST pentru actualizarea unei resurse
- DELETE pentru ștergerea unei resurse

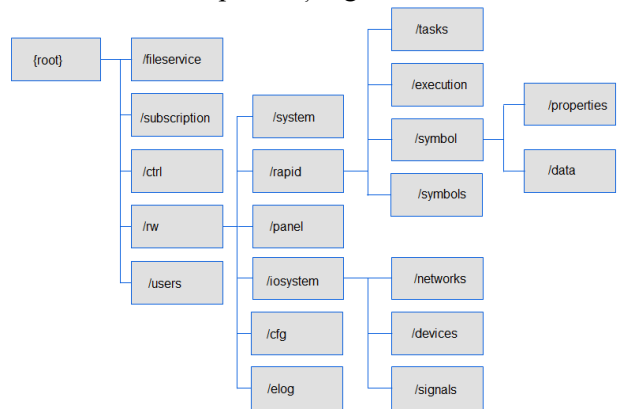


Fig. 10 Serviciile și resursele disponibile pachetului software Robot Web Services.

În Fig. 10 sunt prezentate serviciile de la care Robot Web Services obține resursele de interes. Spre exemplu serviciul /rw are acces la serviciile RobotWare precum /rapid (pentru accesul la programul RAPID al robotului) sau /iosystem (pentru accesul la semnalele de intrare și de ieșire ale aplicației).

4.3 Realizarea platformei pentru controlul și monitorizarea funcționării aplicației robotizate.

Pentru realizarea platformei web și pentru folosirea serviciilor ABB Robot Web Services trebuie respectată locația stocării paginii html. Pentru logare sunt folosite datele de autentificare create utilizatorilor programului ABB RobotStudio.[4]

```

<code>
</code>
    
```

Fig. 11 Stocarea paginii html. Codul sursă pentru obținerea informațiilor referitoare la controlerul virtual.

În Fig.11 este prezentată locația stocării paginii html pentru a face posibilă conectarea la pagina web, codul sursă pentru obținerea datelor despre controlerul virtual și comanda aplicației.

Rolul funcțional al platformei cuprinde:

- Elemente grafice pentru monitorizarea producției robotizate (având la baza generării datelor funcția din RobotStudio – Signal Analyzer)
- Elemente pentru urmărirea în timp real a robotului în timpul funcționării (conectarea la un controler real permite monitorizarea cu ajutorul funcției din RobotStudio – Online monitor; conectarea la un controler virtual permite monitorizarea cu ajutorul unui livestream)
- Accesul la date doar persoanelor autorizate
- Trimiterea unor mesaje (SMS, mail, whatsapp) pentru alerte

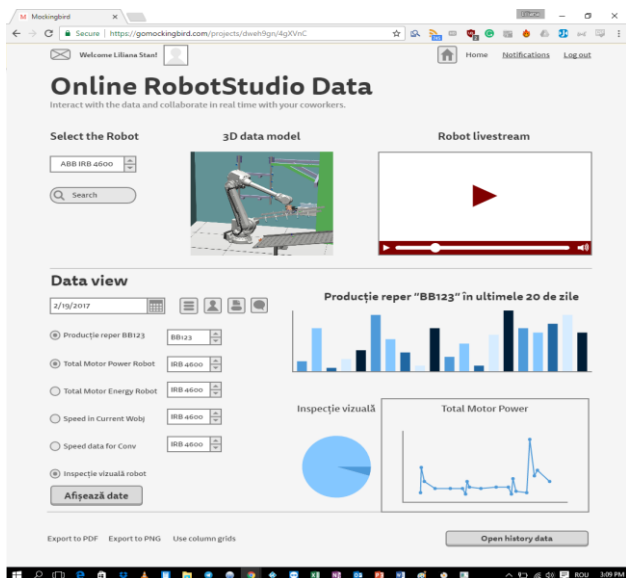


Fig. 12 Schema preliminară a platformei pentru monitorizarea de la distanță via Internet a funcționării sistemelor de producție robotizate

5 CONCLUZII

Dezvoltarea tehnologiei și convergența către Industrial IoT aduce potențialul dezvoltării unei noi generații de roboți și sisteme automatizate, conduse de rețele wireless, baze de date, tehnici de calcul avansate, noi metode de programare a RI, toate acestea având ca efect îmbunătățirea performanței și creșterea flexibilității în producție.

În această lucrare a fost prezentat modul în care s-a realizat programarea și simularea off-line a unei aplicații robotizate și conectarea controlerului virtual la o platforma web.

Realizarea programării și simulării off-line a unei aplicații robotizate aduce multiple avantaje:

- Reducerea costurilor asociate funcționării sistemelor de producție robotizate
- Identificarea și diagnosticarea problemelor ce apar în timpul funcționării sistemului
- Simularea unui număr mare de alternative fără a implica sistemele fizice
- Testarea componentelor active din cadrul aplicației robotizate și a comportării robotului înaintea implementării
- Datele obținute în timpul simulării pot fi analizate
- Optimizarea programării având impact benefic asupra productivității

Scopul platformei prezentate este acela de a pune doar la dispoziția unor persoane autorizate, comanda și controlul robotului și monitorizarea facilă a unui sistem de producție robotizat, notificarea unor alerte setate preliminar sau date referitoare la istoricul producției.

Rolul funcțional al platformei poate fi dezvoltat prin adăugarea unor soluții caracteristice conceptului Internet of Things: Augmented reality (Vuforia), Data Analysis pentru mentenanță predictivă, Machine learning, Smart Enterprise Control, Asset Performance Management.

6 MULȚUMIRI

Mulțumesc dnei. Prof. dr. ing. Cristina Pupăză și dlui. Prof. dr. ing. Adrian Nicolescu pentru sprijinul și cunoștințele oferite în alegerea și dezvoltarea temei.

7 BIBLIOGRAFIE

- [1] KUKA_Microsoft_Internet_of_Things_Case_Study
- [2] http://developercenter.robotstudio.com/robotstudio/api_reference
- [3] http://developercenter.robotstudio.com/webservices/api_reference
- [4] <127.0.0.1/docs/robotstudioconnectiondemo.html>

STUDII SI EXPERIMENTARI PRIVIND REALIZAREA UNUI SISTEM ROBOTIZAT CU ACTIONARE PARALELA PRIN PATRU CABLURI

HARABARA Victor¹

Conducător științific: Prof. dr. ing. Adrian NICOLESCU

REZUMAT: Sistemul robotizat cu acționare prin cablu (mai numit și cable-suspended robots și wire-driven robots) este un tip de manipuloare paralele în care cablurile flexibile sunt folosite ca dispozitive de acționare. Robotica pentru aplicații sociale este un domeniu de interes în creștere în ultimele decenii. În special, în această lucrare se va prezenta un studiu pentru introducerea unui sistem robotizat ca parte a unei echipe de filmare la un meci de fotbal.

CUVINTE CHEIE: Robot industrial, Automatizare, Roboți paraleli, Comanda numerică, Robot cu cablu

1 INTRODUCERE

Ultimele tendințe în robotică arată modul în care roboții viitorul va interacționa mai profund cu oamenii pentru mulți sarcini. Robotica pentru aplicații sociale este un domeniu de interes în creștere în ultimele decenii. În special, în această lucrare se va prezenta un studiu pentru introducerea unui sistem robotizat ca parte a unei echipe de filmare la un meci de fotbal. Acesta ar permite captarea de imagini din cele mai avantajoase locuri. Roboții pot fi de asemenea folosiți pentru sarcini cum ar fi transportul de greutăți și de a ajuta persoanele cu dizabilități în orice mediu. Roboții care interacționează cu oamenii ar trebui în primul rând, să îndeplinească cerințele de siguranță, acestea nu trebuie să fie prea voluminoase.

Sistemul robotizat cu acționare prin cablu (mai numit și cable-suspended robots și wire-driven robots) sunt un tip de manipulatori paralele în care cablurile flexibile sunt folosite ca dispozitive de acționare. Un capăt al fiecărui cablu este depănat în jurul unui rotor răsucit de un motor, iar celălalt capăt este conectat la end-effector.

¹ Specializarea ROBOTICA, Facultatea IMST;

E-mail: victor_harabara@yahoo.com;

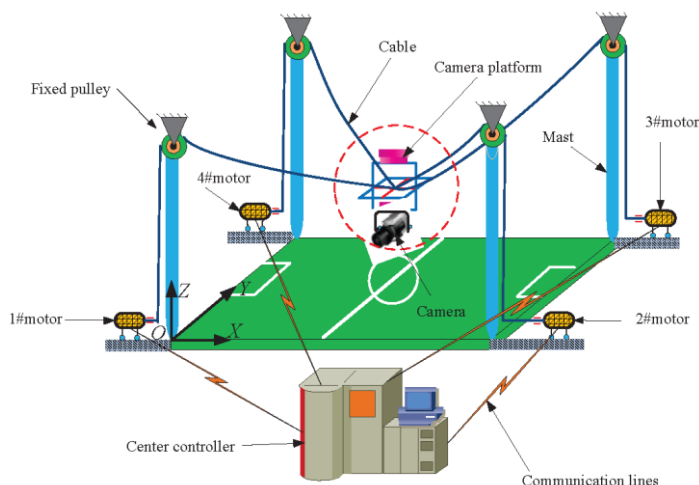


Fig.1: Reprezentarea schematica a unui manipulator paralel acționat prin cabluri pentru filmări în arii deschise.

Un exemplu celebru de roboți cu cablu este SKYCAM care este folosit pentru a muta o camera suspendată pe stadioane. Cablurile sunt mult mai ușoare decât legăturile rigide ale unui robot de serie sau paralel, și cabluri foarte lungi pot fi folosite fără a face mecanismul masiv. Ca rezultat, end-effectorul al unui robot de cablu poate realiza accelerații mari și viteze mari de lucru și într-un spațiu de lucru foarte mare (de exemplu, un stadion).

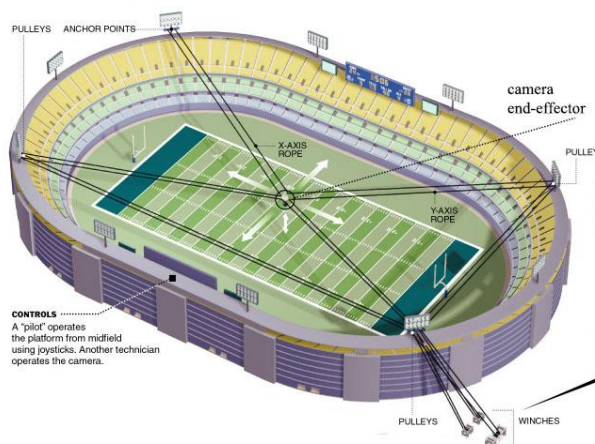


Fig.2: Reprezentarea unui sistem de filmat (manipulator paralel actionat cu cabluri) pe stadion

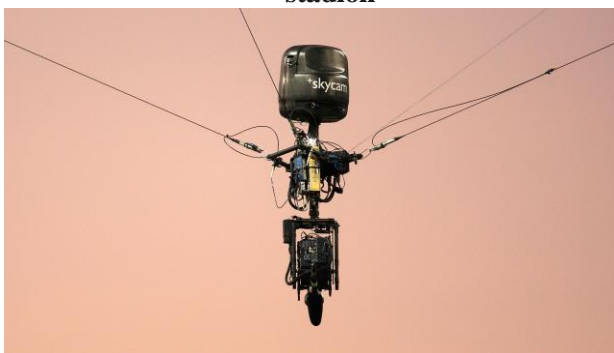


Fig.3: Mecanismul de sustinere a camerei

Analiza dinamică a roboților de cablu nu este aceeași cu cel al altor roboți paraleli deoarece cablurile pot doar trage un obiect, ele nu pot împinge. Prin urmare, manipulatorul este capabil de a efectua o sarcină numai dacă forțele în toate cablurile sunt non-negativ. Prin urmare, spațiul de lucru al roboților de cablu este definit ca o regiune în spațiu unde end-effectorul este capabil să exercite cheia necesară (forță și moment de vectori) pentru mediul înconjurător în timp ce toate cablurile sunt în tensiune (forțe non-negativ). Multe lucrări de cercetare s-au concentrat pe analiza spațiului de lucru și optimizarea de roboți de cablu (de exemplu, vezi [3] pentru o metodă de calcul și [1] pentru o metodă analitică de obținere a spațiului de lucru). Spațiul de lucru și controlabilitatea manipuloarelor de cablu poate fi îmbunătățită prin adăugarea de cabluri la structura robotului. În consecință, redundanța joacă un rol-cheie în proiectarea de roboți de cablu.

Cu toate acestea, analiza spațiului de lucru și de a obține tensiuni pozitive în cablurile unui manipulator cu cablu redundant poate fi complicată.

În general, pentru un robot redundant, poate exista o soluție infinită, dar pentru un robot de cablu redundant este o soluție acceptabilă numai în cazul în care toate elementele vectorului tensiune sunt non-negativ.

Găsirea a o astfel de soluție poate fi o provocare, în special în cazul în care efectorul final este mișcat de-a lungul unei traiectorii și o distribuție continuă și armonioasă a tensiunilor este de dorit în cabluri. În literatura de specialitate au fost prezentate mai multe metode pentru a rezolva astfel de probleme (de exemplu, în [3], este introdusă o metodă de calcul bazată pe metoda Particle Swarm Optimization pentru a găsi soluții netede continue de-a lungul unei traiectorii pentru un robot prin cablu redundant).

2 PROTOTIPAREA LA SCARA A UNUI MANIPULATOR PARALEL ACTIONAT CU 4 CABLURI

În această etapă a lucrării va fi prezentată prototiparea la scară a unui manipulator paralel actionat cu 4 cabluri, care va fi utilizat la elaborarea algoritmilor de cinematică directă și inversă, controlul tensiunii din cabluri și testări.

Principalele specificații a prototipului:

- Dimensiunile cadrului 700 x 700 x 700 [mm]
- Actionarea cu motoare pas cu pas (stepper)
- Controller Arduino Mega
- Sarcina utilă 1kg

Manipulatorul paralel actionat cu 4 cabluri este constituit din:

Structura rigida, 4 vincluri cu motoare pas cu pas, sistemul de control (controllerul), sistemul de comanda (PC)

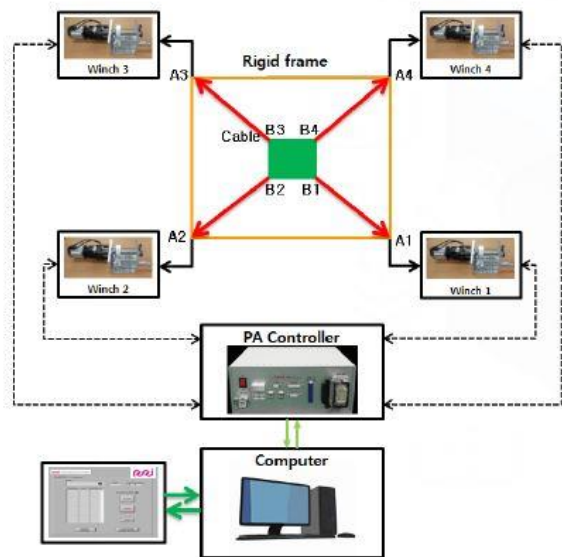


Fig. 4: Structura sistemului

2.1 Structura rigida:

Aceasta este o structura simpla realizata din profile care va sustine scripetii pentru suspendarea cablurilor.

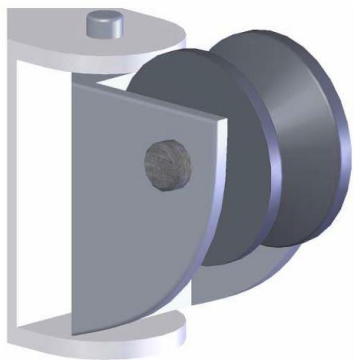


Fig.5: Scripete cu posibilitate de rotire la baza

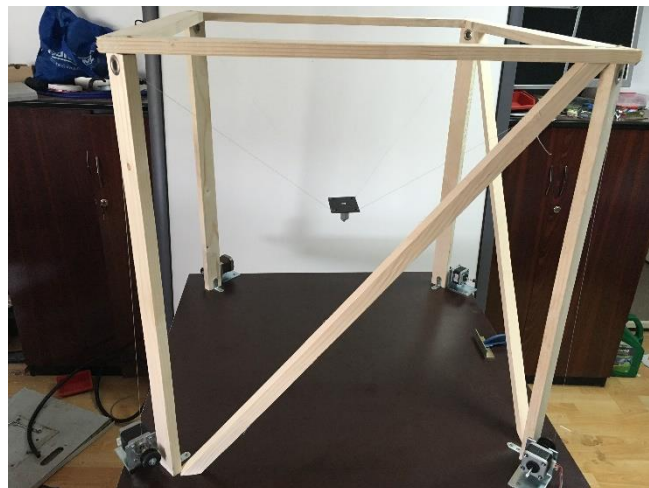


Fig6. Structura prototipului

2.2 Vinclu si motoare

Acesta este unitatea care va modifica lungimea cablurilor pentru realizarea deplasarilor si va sustine greutatea cablurilor si a end-effectorului.

Tipuri de motoare utilizate la roboti:

- Servo motoare
- Motoare asincrone
- Motoare pas cu pas

Pentru o infasurare mai sigura a cablului acesta este cu infasurare asistata pe tabur.

Au fost studiate 2 variante de infasurare asistata:

- Cu inaintarea cablului la infasurare
- Cu inaintarea taburului in timpul infasurarii

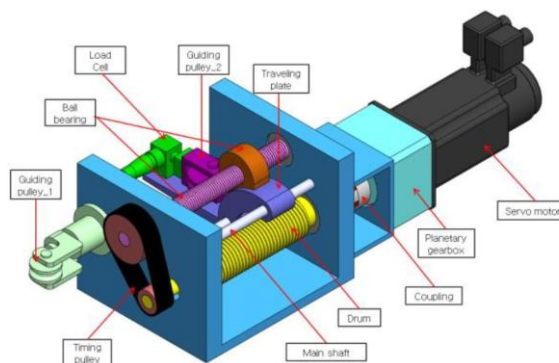


Fig. 7 : Vinclu cu inaintarea cablului la infasurare

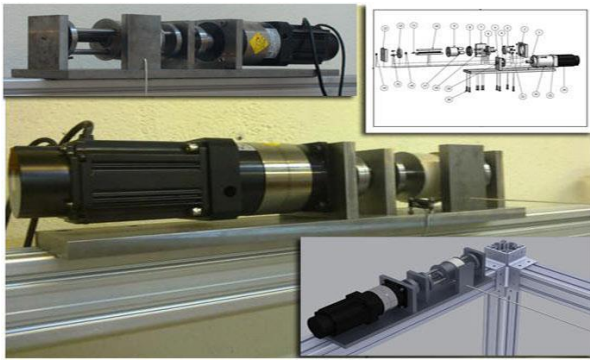


Fig. 8 : Cu inaintarea taburului in timpul infasurarii.

Variante de ghidare a cablului la infasurare:

Pot fi utilizate mai multe variante de directionare a cablului in timpul infasurarii.

- surub cu schimbare automata a directiei, este utilizat in special pentru tamburi cu mai multe straturi de cablu infasurate



Fig.9 : Surubul cu schimbare autoamata a sensului

- surub trapezoidal/cu bile, permite ghidarea simpla a cablului in timpul infasurarii pe 1 strat

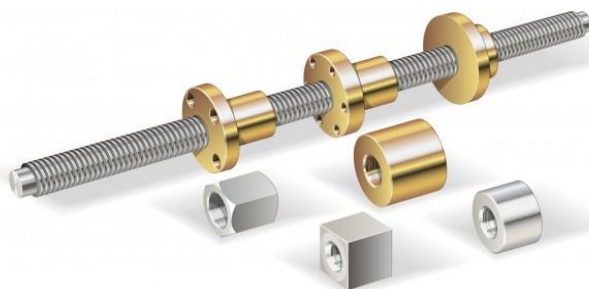


Fig.10: Surub trapezoidal pentu deplasari lineare

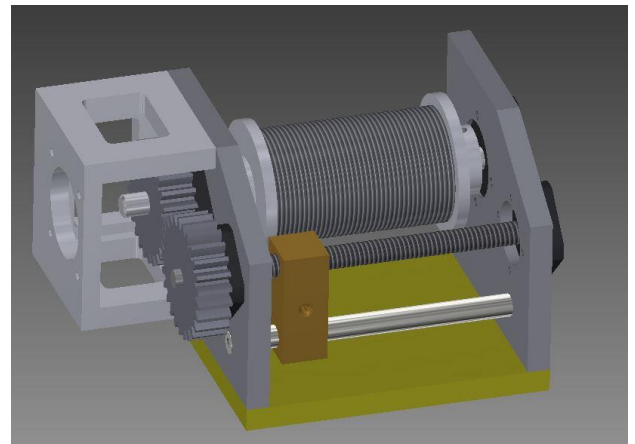


Fig. 11 : Varianta de tambur care va fi implementata:

La aceasta etapa a proiectului vor fi folosit vinclu inprovizat pentru punerea in functiune a manioulatorului.

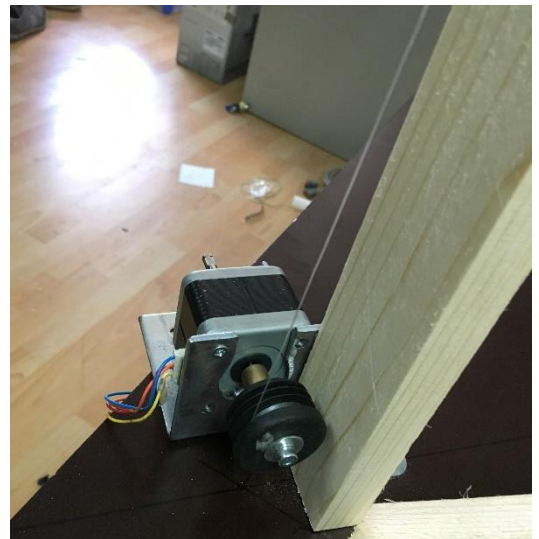


Fig.12 : Motoarele pentru prototip

Pentru urmatoare etapa a proiectului va fi implementata varianta de vinclu cu inaintarea cablului in timpul infasurarii.

2.3 Alimentarea cu tensiune

Pentru alimentarea camerei mobile cu tensiune, se va folosi cablul de suspendare, acesta fiind infasurat pe tambur, va fi implementat un sistem de transmitere a curentului in arborele tamburului, utilizand inele si perii de colectare.



Fig.13 : Ansablu de perii (stanga) si inele

Pentru vitor vor fi montate encodere de rotatie, care transforma unghiul de rotatie intr-un numar caracteristic de impulsuri, care va insemna variatia lungimii cablurilor pentru a asigura bucla inchisa si precizia sistemului de control.



Fig. 16: Encodere de rotatie

2.4Sistemul de control

Prototipul va fi controlat de Placa de dezvoltare ARDUINO Mega 2506 si 4 drivere A4988 Stepper Motor Driver STEP DIR pentru motoare pas cu pas.

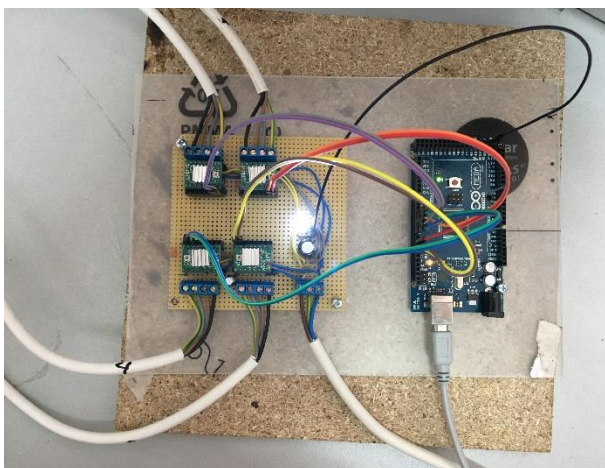


Fig.14 : Sistemul de control

2.5Camera mobila

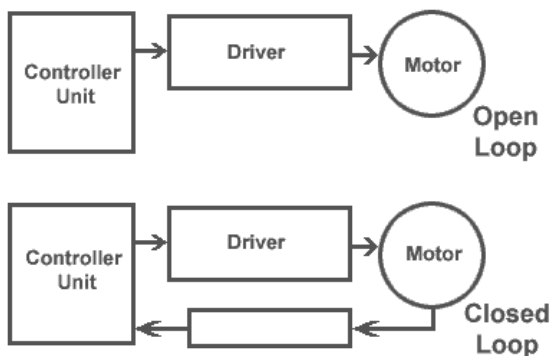
Pentru acest sistem, End Effector-ul va fi un mecanism de pozitionare cu 2 grade de libertate a caverii video.



Fig.17 : varianta comerciala de sistem de pozitionare Tilt si PAN

Acesta avand propriul sau controler pentru TILT si PAN

I aceasta faza sistemul este Open Loop



Feedback Control

Fig 15: Tipul sistemului de control

Precise Control on Movements

Joystick Controller



Fig.18 : Unitatea de comanda

In faza actuala Mecanismul de pozitionare este realizat cu ajutorul servo motoarelor si sistemului mecanic de sustinere:



Fig.19 : Sistemul mecanic de sustinere si servomotorul utilizat

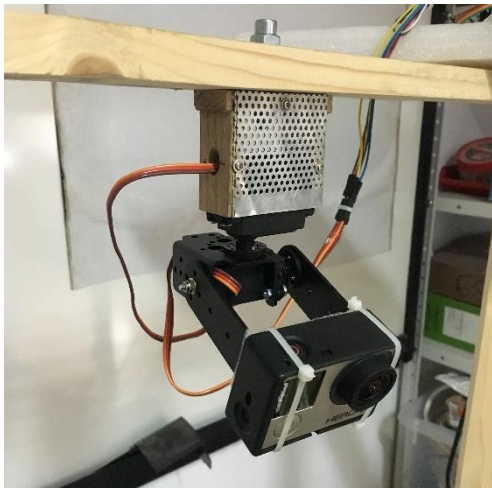


Fig.21 : Sistemul actual de pozitionare

In faza actuala acesta este suficient de mare pentru a sustine o camera GO-Pro.

Sistemul de comanda este realizat pe baza ARDUINO iar pentru controlul acestuia este utilizat un Joystick tip Playstation si 4 butoane pentru pozitii presetate.

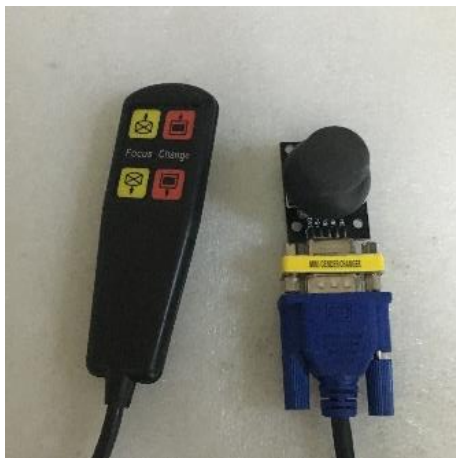


Fig.22 : Unitatea de comanda a prototipului

Codul arduino pentur comanda servomotoarelor de pozitionare:

```
#include <Servo.h>

Servo panServo;
Servo tiltServo;

int servoPanPosition = 90;
int servoTiltPosition = 90;
int joystickPanPin = A0;
int joystickTiltPin = A1;
int joystickPanSpeed = 0;
int joystickTiltSpeed = 0;
int servoPanPin = 3;
int servoTiltPin = 5;
constint buttonPin1 = 8;
constint buttonPin2 = 9;
constint buttonPin3 = 10;
constint buttonPin4 = 11;

void setup(){
  pinMode(servoPanPin, OUTPUT);
  pinMode(servoTiltPin, OUTPUT);
  panServo.attach(servoPanPin);
  tiltServo.attach(servoTiltPin);
  pinMode(buttonPin1, INPUT);
  pinMode(buttonPin2, INPUT);
  pinMode(buttonPin3, INPUT);
  pinMode(buttonPin4, INPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop(){
  joystickPanSpeed = (analogRead(joystickPanPin) - 512) / -150;
  joystickTiltSpeed = (analogRead(joystickTiltPin) - 512) / 150;
  servoPanPosition = constrain((servoPanPosition + joystickPanSpeed),
  1, 180);
  servoTiltPosition = constrain((servoTiltPosition + joystickTiltSpeed), 1,
  90);
  if (digitalRead(buttonPin1) == HIGH) {
    servoPanPosition = 160;
    servoTiltPosition = 30;}
  else { }
  if (digitalRead(buttonPin3) == HIGH) {
    servoPanPosition = 10;
    servoTiltPosition = 50;}
  else{ }
  if (digitalRead(buttonPin2) == HIGH) {
    servoPanPosition = 40;
    servoTiltPosition = 30;}
  else{ }
  if (digitalRead(buttonPin4) == HIGH) {
    servoPanPosition = 140;
    servoTiltPosition = 50;}
  else{ }

  panServo.write(servoPanPosition);
  tiltServo.write(servoTiltPosition);
  Serial.println(servoPanPosition);
  Serial.println(servoTiltPosition);
  delay(20);
}
```

Pentru viitor controlul mecanismului de pozitionare se va integra in cinematica sistemului de sustinere, pentru implementarea urmarii obiectului sau focusarea pe un punc fix in timpul miscarii.

3 CALCULUL PRIMAR PENTRU ALEGEREA MOTOARELOR SI A CABLURILOR

O analiză statică a trebuie efectuată în scopul de a decide în mod corespunzător dimensionarea elementelor de acționare și cablurilor propuse pentru manipulator. În special, cele două cabluri sunt conectate la un singur capăt la efector final, așa cum se arată simplificat schemă din Fig. 13, în cazul în care m este cu masa efector final, plus sarcina utilă.

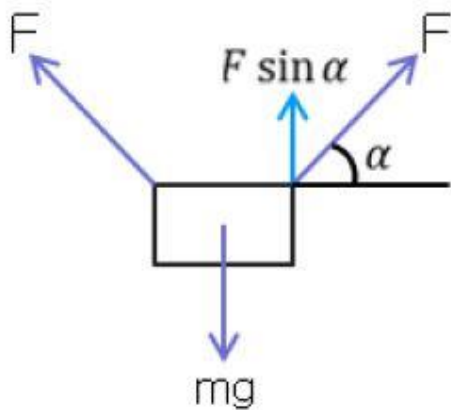


Fig.23 Schema simplificata bi dimensională

Pentru aceste condiții, fiecare cablu este încărcat de o tensiune F a cărei direcție este înclinată cu un unghi de α față de planul orizontal. Acest lucru, se poate scrie

$$2F \sin \alpha = mg + ma \quad (1)$$

O F_{nec} maximă este necesară, forța poate fi calculată ca în (2) pentru a satisface specificațiile de masa a end-effectorului. Cuplul necesar pentru dispozitivul de acționare poate fi calculată ca în (3), luând în considerare raza tamburului și raportul de transmisie.

$$F_{nec} = \frac{m(g+amax)}{2\sin\alpha_{min}} \quad (2)$$

$$\tau_{nec} = \frac{F_{nec} * r}{G} \quad (3)$$

Acceleratia maxima si sarcina maxima se presupun a fi $2.5m/s^2$ si respectiv 1 kg . Raza tamburului de infasurare si raportul de trasmise la tambur sunt selectate pentru a $r = 40mm$ și $G = 5$, respectiv.

Este demn de remarcat faptul că, dacă α devine 0 cuplu necesar devine infinit. De fapt, în cazul în care toate cablurile sunt orizontale este un caz singular, în care toate tensiunile din cabluri sunt ortogonale în raport cu forța dată de gravitație (mg). Presupunând că $\alpha_{min} = 20$ grade, putem obține $F_{req} = 90N$ și $\tau_{req} = 0.072Nm$.

Astfel, pentru considerațiile de mai sus menționate fiecare cablu ar trebui să producă o forță mai mare decât circa 90 N și fiecare dispozitiv de acționare are un cuplu nominal de aproximativ $0,1 \text{ Nm}$.

Aceste proprietăți sunt realizate, la aceasta etapa a proiectului cu GUTA pe post de cablu si motoare pas cu pas cu acționare directă la tambur.



Fig.24 Schema simplificata bi dimensională

4. CINEMATICA

Cinematica si statica

Pentru aplicarea în practică și punerea în funcțiune a unui robot cu acționare paralelă prin cabluri, trebuie înțeleasă cum funcționează cinematica acestuia și cum este acesta caracterizat din punct de vedere static. Pentru aceasta se va studia modelul matematic al robotului cu acționare paralelă prin cabluri luând în considerare specificul roboților acționați prin cablu și anume faptul că cablul poate doar să tragă și nu poate împinge, adică nu putem avea tensiuni negative în cabluri. De asemenea având în vedere efectele de curbare (atarnare) a cablului în urma suspendării. Ecuațiile elastice catenare vor fi aplicate pentru modelarea cablurilor. Folosind aceasta, diferența de lungimi de cablu între linia dreaptă și cablul suspendat va fi estimată.

Estimarea caderii cablului (curburii in urma suspendarii)

Considerand un cablu suspendat intre 2 puncte A si B [10]

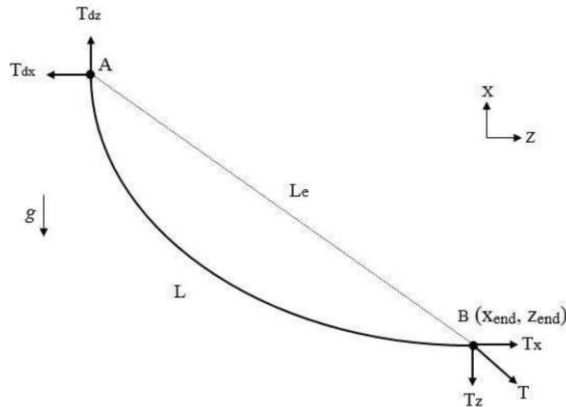


Fig.24 Schema simplificata bi dimensionala

Unde: A- punctul de susținere a cablului, B – punctul de susținere a End-effectorului, Le – linia dreaptă între A si B, L – lungimea reala a cablului între A si B, g – accelerația gravitaționala, T – tensiunea in cablu, Tx si Tz – componentele X si Z a tensiunii cablului si punctului de suspendare a End-effectorului, Tpx si Tpz – componentele X si Z a tensiunii cablului si puntului desenat de cablu. (Xend, Zend) – coordonatele cablului in punctul de atasare a end effectorului.

Pentru acest cablu ecuatia de deplasare statica pentru caz simplificat este:

$$x_{end} = \frac{|T_x|}{\rho L g} \left[\sinh^{-1} \left(\frac{T_z}{T_x} \right) - \sinh^{-1} \left(\frac{T_z - \rho L g L}{T_x} \right) \right] \quad (2.1)$$

$$z_{end} = \frac{1}{\rho L g} \left[\sqrt{T_x^2 + T_z^2} - \sqrt{T_x^2 + (T_z - \rho L g L)^2} \right] \quad (2.2)$$

Unde ρL este densitatea lineara a cablului.

Cinematica inversa si statica

Problema cinematicii inverse consta calcularea lungimei active a cablurilor pentru prozitia stabilita. Din cauza caderii cablurilor suspendate, tensiunea in cabluri si anume tensiunea minima admisibila trebuie sa faca parte din calculul Cinematicii Inverse. Din ecuatiile de mai sus rezulta ca problema de cinematica si statica, sau pseudocinematica, sunt cuplate si trebuiesc rezolvate simultan.

Cu alte cuvinte, doar ecuatia in cazul liniei drepte este cinetostatica, dar in cazul cablurilor suspendate acestea sunt impreunate.

Rezulta un sistem de ecuatii nonlineare implicite, de aceea nu exista solutie analitica cee ce impune metode e calcul numerice.

Unde F_x, F_y si F_z sunt fortele in directiile X, Y, si Z respective.

Problema cinematicii inverse

Schita unui robot cu actionare paralela prin cablu este perzentata in fig urmatoare.

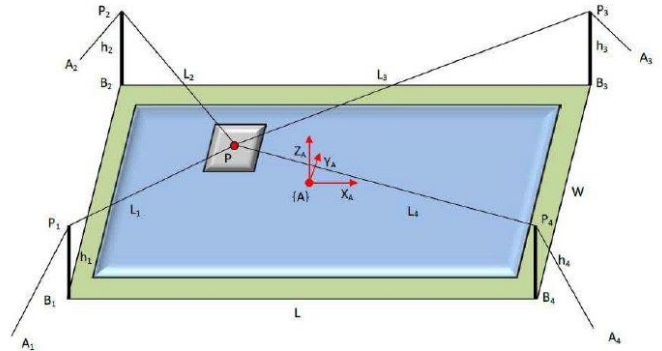


Fig. 25 Schema unui robot paralel cu actionare prin cabluri.

Originea {A} este fixate in centrul spatiului de lucru cu 0 inaltime la nivelul solului/podelii. End Effectorul – P ; h_i – inaltimele turnurilor de susținere a cablului, sau inaltimea de fixare a schipetilor de ghidare a cablurilor.

Punctele B_i si P_i sunt punctele caracteristica ale punctului de amplasare a turnurilor si respective puntele de amplasare a scripetilor (varful turnurilor). Punctele A_i sunt amplasarile troliilor cum motoarele de comanda. L_i lungimea cablurilor, simplificata la lungimea pe linie dreapta a extrimitatilor cablului (L_e – Lungimea Euclidiană)

Metodologia aplicarii Cinematicii Inverse este descrisa in [9], Aceasta va fi aplicata si in acest caz cu modificarile de rigoare, pentru codificarea acestuia intr-un Motion Controller cu ARDUINO MEGA la baza.

Pasii care trebuiesc indepliniti in calcului Cinematicii Inverse:

1. Procesarea valorilor initiale pentru determinarea lungimii Euclidiene a cablului
2. Optimizarea tensiunii cablurilor
3. Calcularea lungimii efective a cablurilor

1. Procesarea valorilor initiale.

In aceasta etapa intrarile necesare pentru solutionarea problemei CI, cum ar fi marimile necesare a dimensiunile terenului (spatiului de amplasare/lucru), variabilele robotului si proprietatile cablului trebuiesc introduce.

Necesarul de transformari a coordonatelor, cum ar fi transformarea din coordonata globala in coordonata unui cablu si invers.

In acelasi timp trebuie calculate lungimea Euclidiană a cablurilor și optimizarea tensiunilor.

Tabelul 1 : Date de intrare

Variabila	Simbol	Unitate
Lungimeaterenului	PL	m
Latimeaterenului	PW	m
Inaltimeaterenului	Ph	m
Diferentaterenului	ΔX și ΔY	m
Masa end-effectorului	m	kg
Diametrulcablului	d	mm
Densitateacablului	P	kg/m ³
Locatia end-effectorului	(x,y,z)	M

Lungimea Euclidiană a cablului este calculată cu formula:

$$L_{ei} = \sqrt{(P_{ix}-x)^2 + (P_{iy}-y)^2 + (P_{iz}-z)^2}$$

Unde:

$$Ap1 = \{-PL/2 - \Delta X, -PW/2 - \Delta Y, Ph\} T$$

$$Ap2 = \{-PL/2 - \Delta X, PW/2 + \Delta Y, Ph\} T$$

$$Ap3 = \{PL/2 + \Delta X, PW/2 + \Delta Y, Ph\} T$$

$$Ap4 = \{PL/2 + \Delta X, -PW/2 - \Delta Y, Ph\} T$$

2. Optimizarea tensiunii cablurilor:

In aceasta etapa se va calcula tensiunea optima in cabluri. Cum am mentionat anterior este o ecuatie cu mai multe solutii corecte, pentru a gasi Solutia unica aceasta trebuie rezolvata ca o problema constransa de optimizare.

Problema static va fi solutionata ca o problema de programare liniara cu scopul de a minimiza tensiunea in cabluri. [11]

Problema este prezentata in felul urmatoare:

Obiectiv – Minimizarea (T1+T2+T3+T4)

Luand in considerare faptul ca :

$$[AA]\{T\} + \{AF\} + m \{Ag\} = 0$$

$$T_{min} \leq T \leq T_{max}$$

Unde: {T} = {T1 T2 T3 T4} T, {AF} – forta externa in punctul A, T_{min} și T_{max} – tensiunile minime și respective maxime din cablu.

Aceasta este o problemă alinara cu 4 variabile cu ecuația echilibrului static utilizată ca constrângere și limita a tensiunii cablului bazată pe condiția de funcționare T > 0.

Limitele ne vor ajuta nu numai să obținem soluții Non negative (cee ace a-r însemna Tensiuni negative în cablu adică cablul trebuie să împingă) dar și să fie restricționat soluțiile la valori practice, cum ar fi tensiuni maxime care ar putea rupe cablurile sau care nu pot fi suportate de motoare sau trolii.

3. Calcularea practică lungimii cablurilor

Pentru calcularea Lungimii cablurilor se va folosi următoarea presupunere:

Coordonatele End Effectorului

var x = 6;

var y = 2;

var z = 3;

Coordonatele scripetilor

var fl_pos = {x:0,y:0,z:10};

var bl_pos = {x:0,y:10,z:10};

var br_pos = {x:10,y:10,z:10};

var fr_pos = {x:10,y:0,z:10};

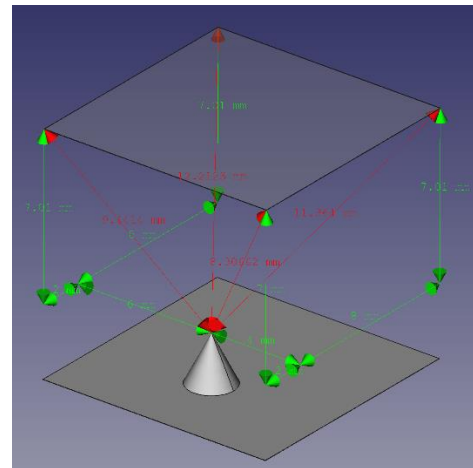


Fig.26: Schema unui robot paralel cu acționare prin cabluri.

```
// convert XYZ cartesian coordinates to XYZA
(fl,bl,br,fr) pulley lengths
// fl=front left, bl=back left, br=back right,
fr=front right
// Find hypotenuse length for fl,bl,br,fr in
xy plane
var fl_xy_hyp = Math.sqrt((x * x) + (y * y));
var bl_xy_hyp = Math.sqrt((x * x) + ((bl_pos.y
- y) * (bl_pos.y - y)));
var br_xy_hyp = Math.sqrt(((br_pos.x - x) *
(br_pos.x - x) + ((br_pos.y - y) * (br_pos.y
- y)));
var fr_xy_hyp = Math.sqrt(((fr_pos.x - x) *
(fr_pos.x - x) + (Math.abs(fr_pos.y - y) *
Math.abs(fr_pos.y - y)));

// Find hypotenuse length for z plane
var fl_hyp = Math.sqrt((fl_xy_hyp * fl_xy_hyp)
+ ((fl_pos.z - z) * (fl_pos.z - z)));
var bl_hyp = Math.sqrt((bl_xy_hyp * bl_xy_hyp)
+ ((bl_pos.z - z) * (bl_pos.z - z)));
```

```

var br_hyp = Math.sqrt((br_xy_hyp * br_xy_hyp)
+ ((br_pos.z - z) * (br_pos.z - z)));
var fr_hyp = Math.sqrt((fr_xy_hyp * fr_xy_hyp)
+ ((fr_pos.z - z) * (fr_pos.z - z)));

```

```

console.log("Pulley len FL:", fl_hyp, "len BL:",
bl_hyp, "len BR:", br_hyp, "len FR:", fr_hyp); [12]

```

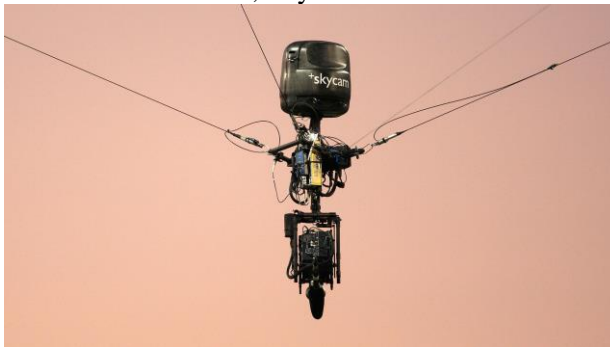
Rezultatul acestor calcule fiint Lungimea tuturor cablurilor: 9.4414; 12.2123; 8.3066; 11.364

5 CONCLUZII

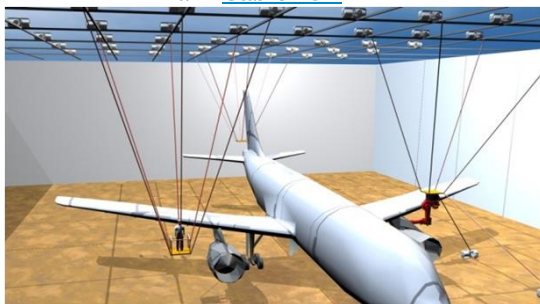
Manipuloarele paralele au o raspindire larga nu doar in unitati de productie dar sfera sociala.

Exemple de utilizare a manipuloarelor paralele actionate cu cabluri pot fi foarte multe unele din ele sunt:

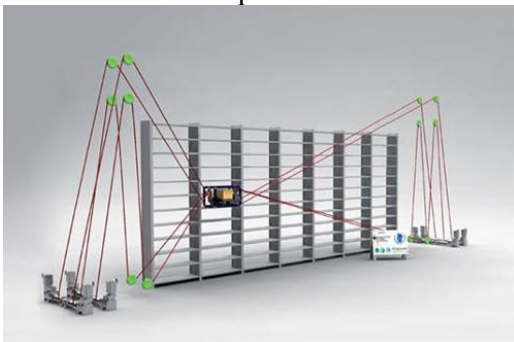
Sistem de achizitionare imagini pe un stadion/ arie extinsa; SkyCAM



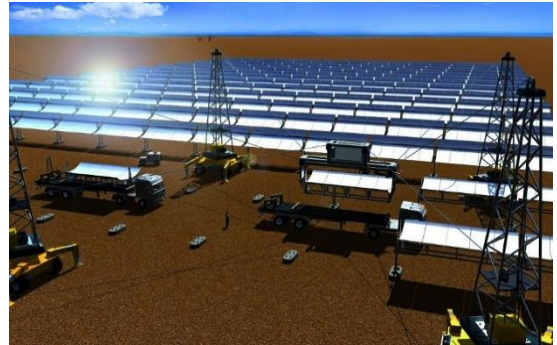
Sisteme de manipulare in cadrul productiei de aeronave, manipulare piese de dimensiuni mari [CableBOT](#)



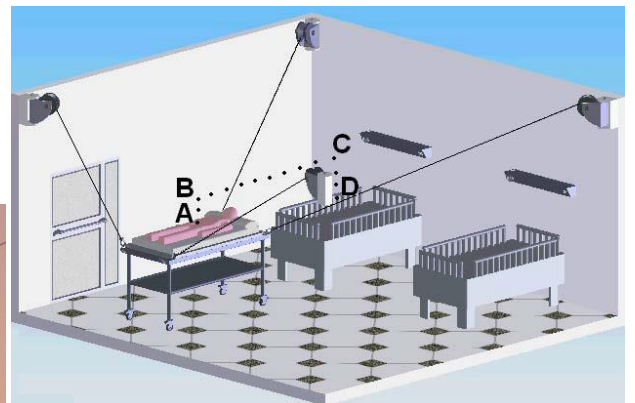
Sisteme de depozitare automate



Constructii



Asistare



Simulatoare



Avantajele de roboți paralele bazate pe cabluri

Manipuloarele paralele actionate cu cablu sunt nu numai robuste dar, de asemenea, portabile și pot fi puse în aplicare în mod flexibil. Acest lucru le permite să fie utilizate într-o gamă largă de medii de lucru. În funcție de aplicație, un spațiu de lucru de până la 100m x 100m x 30m este realizabil.

Transmisia eficientă a puterii prin intermediul cablurilor și utilizarea vinciurilor cu macara permit fiecărui cablu să suporte o sarcină de până la câteva

tone. In acelasi timp pentru aplicatii de masa mica se pot obtine viteze foarte mari de deplasare.

În aplicațiile în care siguranța este un factor critic, cum ar fi atunci când ridicarea sarcinilor extrem de grele sau fragile, cabluri suplimentare pot fi adăugate cu ușurință pentru a oferi o protecție mai mare împotriva eșecului componentelor individuale. În mod alternativ, spațiul de lucru poate fi prelungit. Acest lucru permite procese de fabricație și aplicații sociale care implică componente foarte mari pentru a fi automatizate, cum ar fi lamele rotorului pentru turbine eoliene sau aeronave fuzelaje.

Manipulatoarele paralele actionate prin cabluri sunt un domeniu important în dezvoltarea robotilor industriali și sociali, acestea au un viitor strălucit datorită mobilității acestora și varietății mari de aplicații.

Pentru această etapă am definit cinematica robotului, structura mecanică, componentele și principiul de aplicare și funcționare a acestora, urmează implementarea mecanică, soluționarea practică a cinematicii, realizarea finală a acestuia.

6 MULȚUMIRI

Vreau să mulțumesc dlui Prof. dr. ing. **Adrian NICOLESCU** pentru încrederea acordată și **Eurodidactica SRL** pentru acordarea spațiului de lucru în care am realizat acest proiect.

7 BIBLIOGRAFIE

[1] O. Saber, S. Abyaneh, H. Zohoor (2010), "A Cable-Suspended Robot with a Novel Cable Based End Effector", In Proceedings of the ASME 2010, 10th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis, ESDA2010, Istanbul, Turkey, vol. 3, pp. 799-808.

[2] O. Saber (2014), "A Spatial Translational Cable Robot". Journal of Mechanisms and Robotics (ASME), DOI: 10.1115/1.4028287.

[3] O. Saber, H. Zohoor (2013), "Workspace Analysis of a Cable-Driven Robot with Active/Passive Cables", In Proceedings of the 37th Mechanisms and Robotics Conference, ASME International Design Engineering Technical Conferences, (IDETC/CIE), August 4-7, Portland, OR, DETC2013-12646.

[4] S. Abyaneh, O. Saber, H. Zohoor (2013), "A Cable Driven Grasping Mechanism Using Lock/Unlock Constraints", In Proceedings of the ASME International Design Engineering Technical Conferences and

Computers and Information in Engineering Conference (IDETC/CIE), August 4-7, Portland, OR, DETC2013-13109.

[5] Paone A., "Design and Experimental Validation of a Cable Driven Parallel Manipulator", *Master Thesis*, LARM, University of Cassino, 2004.

[6] Four-cable-driven parallel robot XueJun Jin¹, Dae Ik Jun¹, Andreas Pott², Sukho Park¹, Jong-Oh Park^{1*} and Seong Young Ko^{1*}

[7] A Low-Cost Easy Operation 4-Cable Driven Parallel Manipulator Erika Ottaviano, Marco Ceccarelli, Alessio Paone and Giuseppe Carbone

[8] A 4-4 Cable-Based Parallel Manipulator for an Application in Hospital Environment E. Ottaviano*, M. Ceccarelli and M. De Ciantis

[9] Mathematical Modeling of Cable Sag, Kinematics, Statics, and Optimization of a Cable Robot -Dheerendra M. Sridhar 2015

[10] Yao, R., Li, H., and Zhang, X., 2013, "A Modeling Method of the Cable Driven Parallel Manipulator for FAST," Cable-Driven Parallel Robots, T. Bruckmann, A. Pott, eds., Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 423-436.

[11] "MATLAB Documentation" [Online]. <http://www.mathworks.com/help/matlab/>.

[12] <https://www.science-education.ru/pdf/2012/6/494>

[13] <http://www.arduino.cc/en/Reference>

SIMULAREA-PROGRAMEA OFF-LINE ȘI PROGRAMEA PLC A UNEI CELULE ROBOTIZATE PENTRU ETANSAREA CAROSERIILOR AUTO

Ilie Florentin - Marian¹

Conducător științific: Prof.dr.ing. **Adrian - Florin NICOLESCU**

REZUMAT Complexitatea operațiilor de asamblare din industria auto aduce în discuție o serie de dificultăți când vine vorba de gradul de automatizare. Lucrarea de față prezintă o abordare privind programarea și simularea off-line a celulelor dedicate operațiilor de aplicare a adezivilor din industria auto. În prima parte a lucrării se realizează o sinteză a aspectelor constructiv funcționale privind integrarea roboților industriali în astfel de aplicații. Se realizează o trecere în revistă a cercetărilor din domeniu privind automatizarea proceselor de etanșare, controlul discret și programarea / simularea offline. În a doua parte a lucrării se prezintă un studiu de caz privind simularea unui proces de etanșare a caroseriilor utilizând pachetul de aplicații Siemens Tecnomatix Process Simulate, fiind prezentate particularități privind controlul discret pe baza schimbului de semnale din mediul tehnologic. Concluziile sunt discutate în ultima parte a lucrării.

CUVINTE CHEIE: control discret, PLC, Siemens Tecnomatix, programare offline, aplicare adezivi

1 INTRODUCERE

Specificul aplicațiilor de asamblare din industria auto se caracterizează în concepția modernă printr-un grad ridicat de automatizare care implică utilizarea roboților industriali și a dispozitivelor anexe cu scopul de a crește productivitatea, de a îmbunătăți condițiile de muncă și de a reduce costurile. În acest sens, ponderea cea mai mare de automatizare din ciclul de producție a unui autoturism o ocupă etapele de asamblare, tratare anticorozivă și etanșare a caroseriilor (Choi s.a., 2014). Procedul tehnologic de etanșare a caroseriilor constă în aplicarea soluțiilor de tip mastic în zonele de asamblare expuse acțiunii corozive a mediului exterior (Streitberger & Dossel, 2008). Deși în prealabil de etanșare se realizează în aval un tratament anticoroziv, datorită formei complexe a suprafețelor de tratat apare problema unei acoperiri insuficiente. Zonele expuse sunt: tablele suprapuse îmbinate prin sudare prin puncte, regiunile asamblate prin nituire sau cordoanele de sudură de la îmbinarea marginilor a două sau mai multe table. Datorită necesității de reglare continuă a parametrilor tehnologici, a diferențelor dintre forma nominală folosită ca referință pentru programarea traiectoriilor generate de robot, aplicațiile de aplicare a adezivilor se bazează pe conceptul de control în buclă închisă. Acesta implică utilizarea unui calculator de proces, a unui sistem de senzori și a unui sistem de tip vedere artificială pentru a calibra poziția nominală a zonelor de îmbinare

în vederea reglării traiectoriilor și a parametrilor regimului de acoperire. Tendințele în dezvoltarea unor astfel de aplicații sunt acelea de a folosi modele care să poată fi folosite în locul modelelor fizice pentru a reproduce comportarea reală a aplicației industriale într-un mediu virtual (Constantin, 2014). Considerând specificul constructiv al aplicațiilor de etanșare din industria auto, lucrarea prezintă o abordare de simulare utilizând pachetul de aplicații Siemens Tecnomatix Process Simulate. Pentru a reproduce traiectoriile urmate de caroserii în interiorul celulei robotizate, modelul de simulare dispune de control discret pe bază de semnale. Această abordare reproduce logica din spatele operațiilor și permite implementarea la scară reală prin încărcarea directă a programului robot în controller-ele roboților.

2 STADIUL ACTUAL

O trecere în revistă a automatizării aplicațiilor de aplicare a adezivilor din industria auto este prezentată în (Mortimer, 2004). Având ca referință implementări reale, lucrarea prezintă specificul echipării tehnologice a roboților industriali care realizează operații de etanșare. Implementarea soluțiilor de control inteligent pe bază de vedere artificială pentru astfel de aplicații este prezentat în (Razbans.a, 1995).

Importanța folosirii instrumentelor de simulare virtuală 3D în procesele de asamblare din industria auto este prezentată în (Michalos s.a., 2010). În contextul actual lucrarea introduce aspecte ce țin de fabricare digitală și utilizarea instrumentelor CAD și de simulare pentru sincronizarea și validarea liniilor de asamblare din industria auto. Implementarea roboților industriali în astfel de

¹ Specializarea Inginerie Economică și Managementul Afacerilor, Facultatea IMST;

E-mail: ilieflorentin92@yahoo.com;

aplicații aduce în discuție problema de control. Controlul unui robot se poate obține cunoscând modelul cinematic și dinamic al acestuia (Mashagbeh&Khamesee, 2014). Există o serie de aplicații care pot fi folosite pentru elaborarea unui algoritm de control. Cu toate acestea, soluțiile decentralizate complică tehnica de simulare. Performanțele aplicațiilor de programare simulare offline sunt dictate de capacitatea acestora de a importa modele 3D, flexibilitatea în definirea relațiilor dintre cuplele cinematice și capabilitățile acestora de a genera automat modelul cinematic și dinamic. Un alt aspect este acela al posibilității aplicațiilor de a comunica cu subsistemele informaționale cu scopul de a încărca programul de lucru, de a calibra modelul virtual sau de a verifica anumite secvențe de cod (Mouliantis&Aspragathos, 2015).

Elementul de noutate al acestei lucrări constă în prezentarea soluțiilor de simulare programare offline specifice pentru o celulă de etanșare a caroseriilor auto integrată într-o linie de fabricație cu transfer al caroseriilor pe conveior și manipularea acestora cu roboți cu sarcină portantă mare. Pentru realizarea modelului de simulare se folosește pachetul de aplicații Siemens Tenomatix Process Simulate, fiind prezentate și aspecte care țin de controlul discret al aplicației pe bază de semnale.

3 APLICAȚIA PROPUȘĂ

Celula de fabricație flexibilă dedicată pentru operații de manipulare a caroseriilor auto în vederea transferului acestora de la un conveior cu lanț la un post de lucru pentru operația aplicării de adezivi, se prezintă în figura 1 - 1. Soluția utilizează

trei roboți Fanuc cu sarcină portantă mare, M2000ia-900L (vezi figura 1 – 2) echipați cu două tipuri de efectori pentru manipularea caroseriei auto între diferite stații de lucru (vezi figura 1 – 3) și patru roboți Fanuc M20ia (vezi figura 1 – 4) cu echipare tehnologică specifică aplicării adezivilor la nivelul zonelor de asamblare expuse acțiunilor corozive ale mediului exterior. O platformă mobilă (vezi figura 1 – 5) se utilizează pentru transportul caroseriei (vezi figura 1 – 6) de la intrarea (vezi figura 1 – 7) la ieșirea din celula robotizată (vezi figura 1 – 8). Prima stație de lucru (vezi figura 1 – 3) este folosită pentru a poziționa caroseria la punct fix în timp ce roboții cu sarcină portantă mică aplică adezivi. A doua stație de lucru (vezi figura 1 – 3') este echipată cu lămpi UV pentru uscarea rapidă a cordoanelor de adeziv. Fluxul tehnologic poate fi descris în cinci faze:

- 1) Caroseria intră în celula robotizată pe o platformă mobilă
- 2) Un robot Fanuc M2000ia-900L transferă caroseria la primul post de lucru
- 3) Roboții Fanuc M20ia aplică adezivi la nivelul asamblărilor expuse
- 4) Caroseria este transferată de un robot la a doua stație de lucru unde lămpile UV usucă stratul de adeziv depus
- 5) Secvența se termină atunci când caroseria este transferată înapoi pe platforma mobilă pentru a fi transportat în amonte. După ce caroseria iese din celulă, se reia ciclul de lucru pentru un alt reper

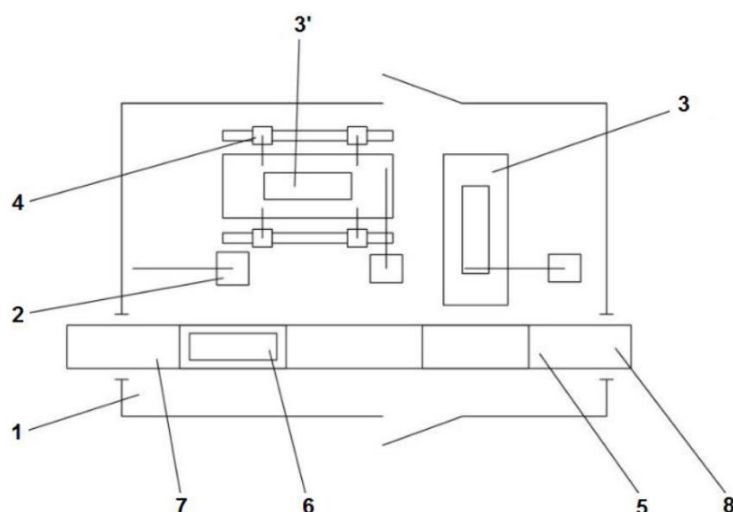


Fig.1. Reprezentare schematică a modului de dispunere a elementelor componente celulei studiate

3.1 Unitatea PLC și rolul acesteia în cadrul aplicației

Un automat programabil sau PLC poate fi definit ca un sistem specializat utilizat pentru controlul proceselor industriale care lucrează prin citirea intrărilor digitale sau analogice și în funcție de comportarea acestora, comută ieșirile. În simularea celulei studiate se folosesc numai semnale pentru intrări sau ieșiri digitale. Acestea convertesc semnalele provenite de la senzori într-un format digital și generează semnale electrice proporționale cu valorile digitale de la variabilele de ieșire stocate în memoria PLC-ului. Fiecărei intrări sau ieșiri i se alocă câte un bit. Rolul PLC-ului este acela de a crea și condiționa legături între controller-ele roboților industriali și sistemele anexe mediului tehnologic precum conveiorul cu lanț, calculatoarele de proces, prin definirea unor funcții bloc (vezi figura 2).

Programarea PLC se efectuează utilizând programe specializate care pot comunica cu aplicațiile de simulare Siemens Process Simulate.

3.2 Elemente de control discret

În vederea realizării unui ciclu de lucru, entitățile circulante (caroseria în acest exemplu) urmează anumite traiectorii. Ordinea efectuării operațiilor, confirmarea începutului și finalului de secvență, prezența entităților la postul de lucru sau comanda de acționare a utilajului specific sunt condiționate de o serie de senzori, limitatoare de cursă și/sau traductoare care sunt poziționate în mediul tehnologic pentru a prelua și a transmite informație relevantă unității PLC. Pe baza tehnicilor de achiziție a semnalelor și de procesare a acestora, sistemele de comandă realizează control discret în buclă închisă.

În figura 3 se prezintă poziționarea senzorilor de interes în realizarea controlului discret în celulă. Tipul senzorilor și blocurile logice folosite pentru controlul aplicației este prezentat în tabelul 1.

Aplicația robotizată reprezintă o soluție de celulă care poate fi interconectată cu sisteme de producție specifice industriilor constructoare de mașini. Automatizarea celulei studiate este realizată pe baza de semnale de tip: RE (rising edge), ce se atribuie semnalelor de intrare (senzori) și FE (falling edge) ce se atribuie semnalelor de ieșire sau de comandă. Pe baza celor prezentate anterior se prezintă în figura 4 blocurile de condiționare a proceselor din celulă. Acestea delimitează cele 5 faze ale ciclului de lucru din aplicație. Pe baza controlului discret se realizează ordinea de

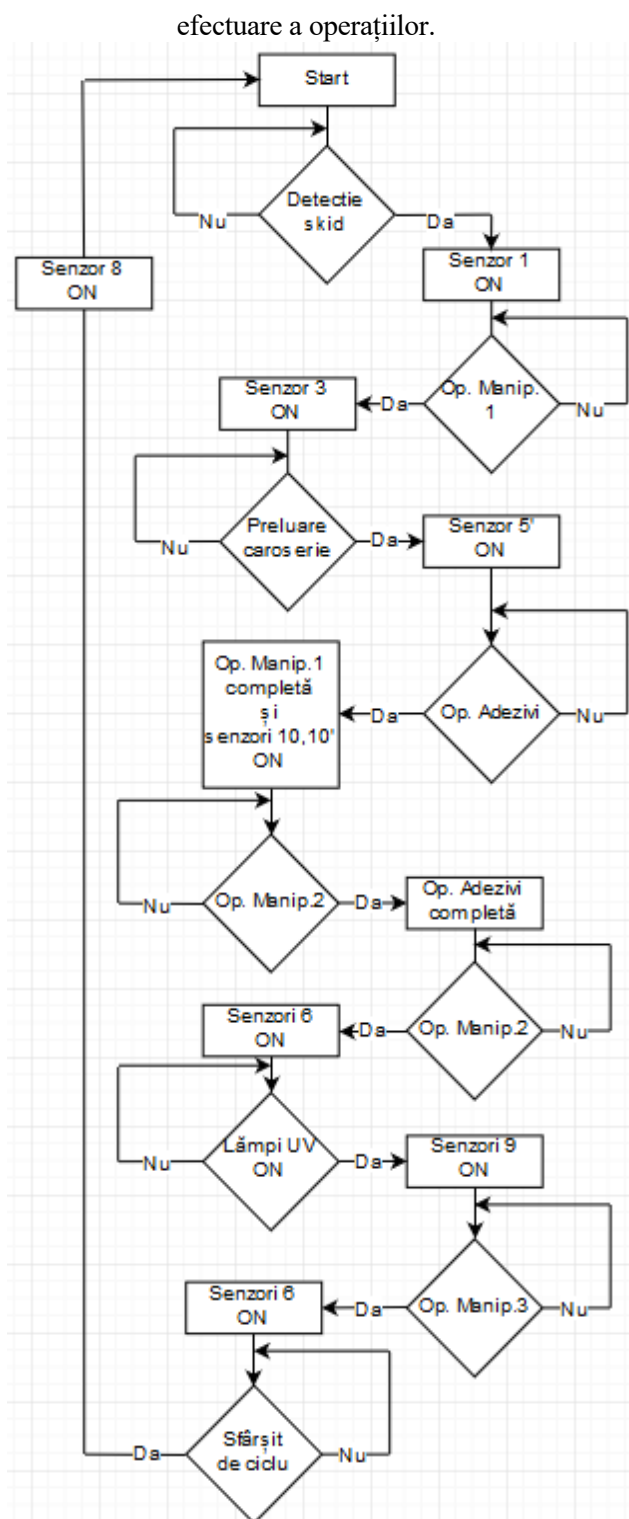


Fig.4. Blocurile de condiționare a proceselor din celulă

Fluxul complet în interiorul celulei se poate descrie prin detalierea celor cinci faze, cu referire la ordinea operațiilor, a modului de dispunere a utilajului aferent și a modului de dispunere a senzorilor și rolul acestora:

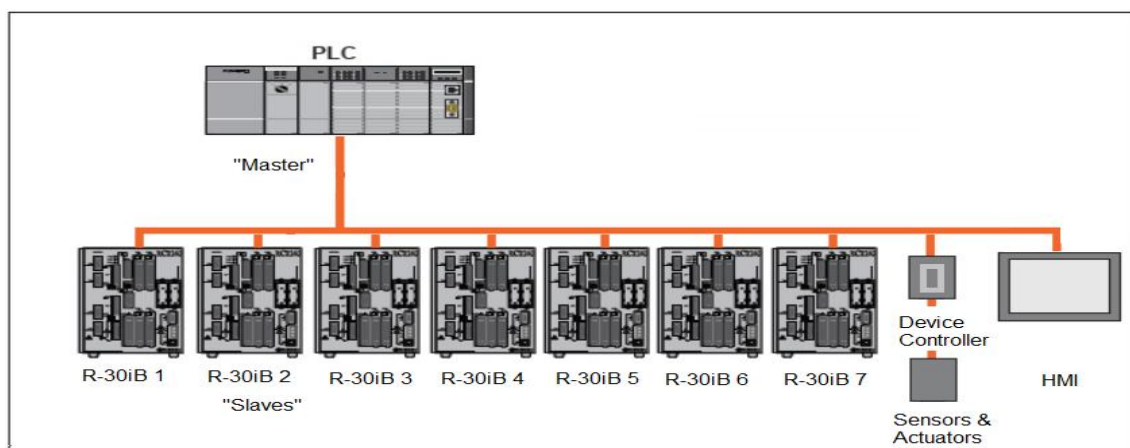


Fig.2. Schema bloc Sistem PLC – Controller RI, senzori și subsistemul de comunicare cu operatorul uman

- Dispunearea senzorilor in celula studiată
- Capacitivi (E2K – X4ME1)
- Fotoelectrici (E3F2 – D1C4, E3S – CL2)

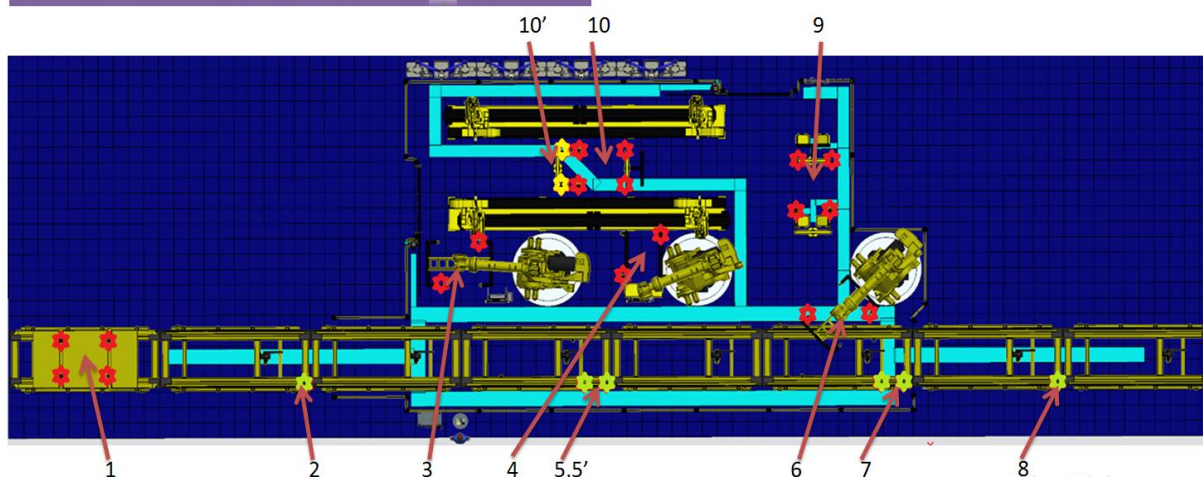


Fig.3. Detalii privind poziționarea senzorilor de interes în aplicație

Tabelul 1. Poziția, tipul, rolul funcțional și blocurile logice atribuite senzorilor din aplicație

Poziție	Tip	Rol funcțional	Bloc logic (tip)
1	E2K-X4ME1	<ul style="list-style-type: none"> • Confirmare prezența caroseriei auto 	AND
2	E3F2-D1C4	<ul style="list-style-type: none"> • Inițializare ciclu de lucru, interconționat SI cu 8 	-
3	E2K-X4ME1	<ul style="list-style-type: none"> • Confirmare pozitionare corectă a caroseriei • Inițializează a doua secvență de manipulare a caroseriei de la platforma mobilă la PL1 	AND
4	E2K-X4ME1	<ul style="list-style-type: none"> • Confirmarea prezenței caroseriei auto 	AND
5	E3F2-D1C4	<ul style="list-style-type: none"> • Reducerea vitezei de deplasare a platformei 	-
5'	E3F2-D1C4	<ul style="list-style-type: none"> • Oprere platformă la punct fix • Inițializarea primei secvențe de manipulare a caroseriei de la platforma mobilă la PL1 	-
6	E2K-X4ME1	<ul style="list-style-type: none"> • Confirmarea prezenței caroseriei auto 	AND
7	E3F2-D1C4	<ul style="list-style-type: none"> • Oprere platformă 	-

7'	E2K-X4ME1	<ul style="list-style-type: none"> • Inițializarea primei secvențe de manipulare a RI de la PL2 la platforma mobilă • Acționare platformă 	-
8	E3F2-D1C4	<ul style="list-style-type: none"> • Sfârșit de ciclu • Derularea unui nou ciclu de lucru 	-
9	E2K-X4ME1	<ul style="list-style-type: none"> • Comanda de aprindere a lămpilor UV • Confirmarea poziționării corecte a caroserie pe verticală 	AND
10	Fotoelectric	<ul style="list-style-type: none"> • Inițializare secvență de manipulare de la PL1 la PL2 • Inițializare proces de aplicare adezivi • Pornire platformă • Pozitionare corectă a caroserie pe verticală 	AND
10'			

Faza 1 – Inițializarea ciclului de lucru

Caroseria auto este transferată pe conveiorul cu lanț unde este sprijinită pe un suport mobil (cunoscut în industrie sub denumire de skid). Fiecare skid dispune de patru senzorii, (vezi poziția 1 din tabelul 1), montați în zona fiecărui punct de susținere. Aceștia au bloc de comandă de tip AND. În cazul în care caroseria nu este detectată de toți senzorii, platforma mobilă nu se mai deplasează. Inițializarea ciclului de lucru este condiționată de un senzor, (vezi poziția 2 din tabelul 1). Acesta este activat atunci când skid-ul a ajuns în zona de detecție, astfel încât robotul de manipulare de la primul post de lucru primește semnal să se deplaseze în poziția de preluare. Modulul de platformă mobilă din zona spațiului de lucru al robotului de manipulare are în componență doi (vezi poziția 5 și 5' din tabelul 1), montați la o distanță de 250 mm unul față de celălalt. Platforma mobilă își reduce viteza la sfert, când skid-ul ajunge în zona de detecție a primului senzor. și se oprește la punct fix atunci când este detectată de cel de-al doilea senzor.

Faza 2 – Transferul caroseriei la prima stație de lucru

Controller-ul robotului Fanuc M2000ia-900L primește semnal de la un senzor (vezi poziția 5' din tabelul 1) și rulează mai departe operația de manipulare. Robotul este echipat cu efector specific pentru manipularea caroseriilor, având în componență doi senzori, (vezi poziția 3 din tabelul 1), cu bloc de comandă de tip AND. Dacă caroseria este detectată de un singur senzor, robotul se oprește automat. După transferul caroseriei la primul post de lucru, senzorii se activează și transmit semnal platformei mobile să se deplaseze în poziția de preluare.

Faza 3 – Începutul secvenței de aplicare a adezivilor

Cei patru roboti industriali Fanuc M20ia echipați cu efectori specifici pentru aplicarea

de adezivi, trimit controller-elor semnal pentru amorsarea pompelor de mastic. Roboții se poziționează în poziția de lucru și aplică cordoane groase de mastic asupra îmbinărilor sudate aflate în zona de jos a caroseriei. Fiecare robot dispune de un modul de extensie a spațiului de lucru extensia spațiului de lucru.

Faza 4 – Transferul caroseriei de la stația de aplicare adezivi la stația de uscare rapidă

Robotul industrial Fanuc M2000ia-900L așteaptă confirmarea de revenire în poziția de referință a celor patru roboti Fanuc M20ia. Utilizând efector specializat de manipulare care are în componență 2 senzori (vezi poziția 4 din tabelul 1), se produce transferul caroseriei la stația de uscare rapidă cu logica similară efectorului din faza a 2-a. După ce controller-ul robotului primește confirmarea de la senzorii suportului pentru uscare (vezi poziția 9 din tabelul 1), se transmite semnal pentru pornirea lămpilor UV atâta timp cât caroseria este detectată de senzori.

Faza 5 - Transferul caroseriei de la stația de uscare la platforma mobilă

Controller-ul robotului industrial Fanuc M2000ia-900L prevăzut cu efector specializat de manipulare realizează transferul caroseriei de la stația de uscare la skid, când operațiile de aplicare adezivi sunt sfârșite și lămpile UV sunt încă pornite. Segmentul platformei mobile din zona spațiului de lucru al robotului de manipulare are în componență doi senzori, (vezi poziția 7 și 7' din tabelul 1) dispuși similar ca în cazul primului modul al platformei, astfel skid-ul întâlnește primul senzor, se reduce viteza platformei mobile. Când se întâlnește al doilea senzor, platforma mobilă este oprită la punct fix. După finalizarea operației de manipulare prin intermediul senzorilor de proximitate de la nivelul platformei mobile, se transmite un semnal care acționează platforma mobilă în amonte, reinițializând totodată secvența de lucru pentru următorul ciclu, după ce senzorul 8 detectează skid-ul.

3.3 Conexiunea la PLC

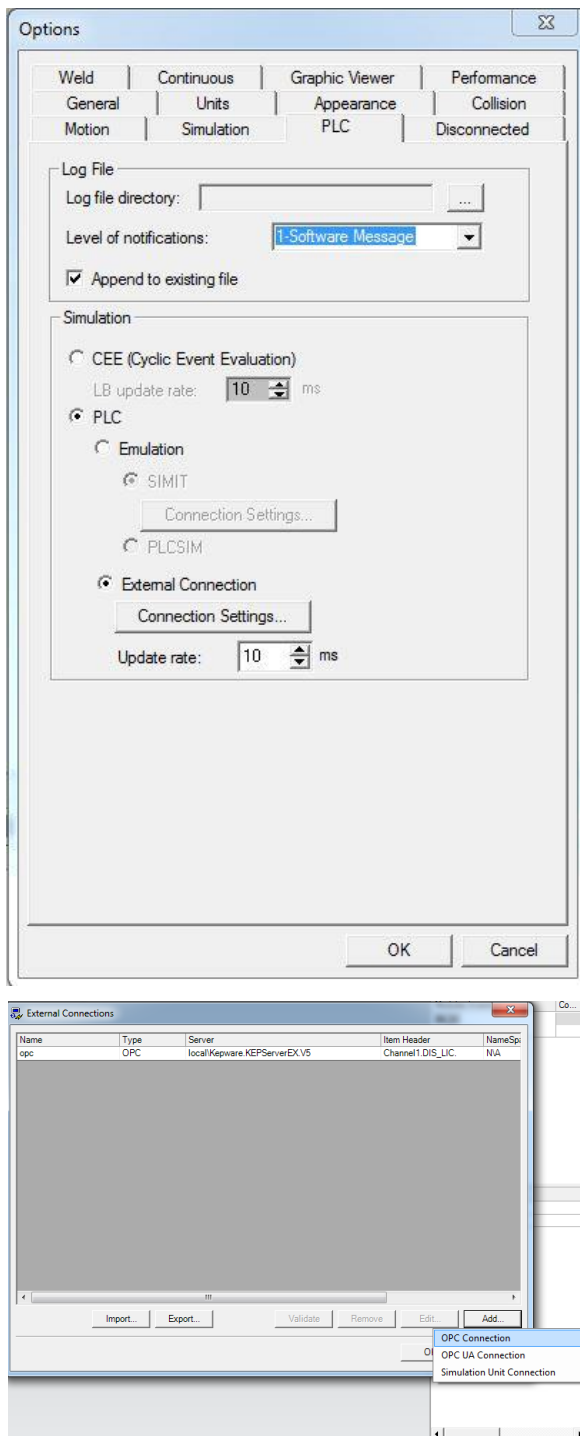


Fig.5. Setări CEE/OPC

Process Simulate poate folosi emulator PLC, ce cuprinde platforma SIMIT si PLCSIM(vezi figura 5 si 10). PLCSIM nu are nevoie de conexiune OPC, ci se conectează direct la interfața Process Simulate. Process Simulate se comporta ca un client de OPC dacă se alege între conexiunile OPC și SIMIT Tehnologia OLE (Object Linking and Embedding) permite legături între obiecte. Pe baza acestei tehnologii s-a definit un standard special pentru automatizarea industrială denumit OPC (OLE for

Process Control). Standardul OPC specifică o comunicare arbitrară între PLC-urile de la producătorii diferiți și server-ul OPC. În conformitate cu [9] accesul la datele OPC permite citirea și scrierea în timp real. Pentru preluarea datelor se conectează la un client OPC. Prin urmare procesul de citire și scriere în calitate de client OPC nu este în timp real. În arhitectura OPC client ciclurile PLC-urilor nu sunt sincronizate în timp real. Pe de altă parte aceste întârzieri sunt nesemnificative (de ordinul sutelor de milisecunde) în comparație cu avantajele de Virtual Commissioning.

3.4 Implementarea Virtual Commissioning

Virtual Commissioning se bazează pe simularea (timebased). Lucrul cu simularea OPC a fost necesară pentru configurarea serverului de OPC cu PLC-ul și conectarea Process Simulate asemenea client OPC. După care s-a creat fluxul de material pentru generarea aparențelor. De asemenea s-au definit toate semnalele operațiilor și dispozitive/roboți (roboți, semnale de intrare/ieșire dispozitive). Mai târziu s-au definit senzori pe efortorii roboților, skid, conveior și pe porturile de lucru.

3.5 Setări OPC

Pentru a crea conexiunea între PLC și Process Simulate este necesară parcurgerea următorilor pași

- Instalarea TIA (Totally Integrated Automation) portal.
- Conexiunea PLC la TIA portal (vezi figura 6).
- Instalarea de OPC server (KEPServer EX.V5)
- Crearea conexiunii PLC la KEPServer EX.V5 (vezi figura 7).
- Crearea conexiunii OPC la Process Simulate (logarea la OPC server în calitate de client vezi figura 8).
- Definirea și maparea semnalelor conectate la PLC în Process Simulate.

În cazul în care semnalele din PLC se schimbă trebuie să reînnoim configurația PLC-ului cu OPC server. Ceea ce înseamnă că se compilează din nou configurația PLC și OPC, descărcându-se pe

fiecare.

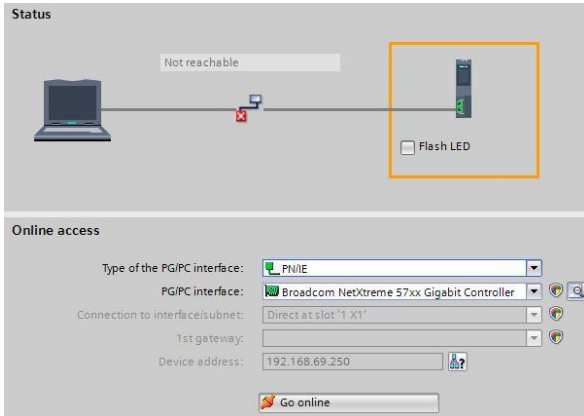


Fig.6. Conexiunea la PLC in TIA portal

Conexiunea PLC (Siemens S7-1500) la mediul de programare TIA portal este posibilă prin protocolul Profinet cu interfață Ethernet și adresa PLC-ului (192.168.69.250).

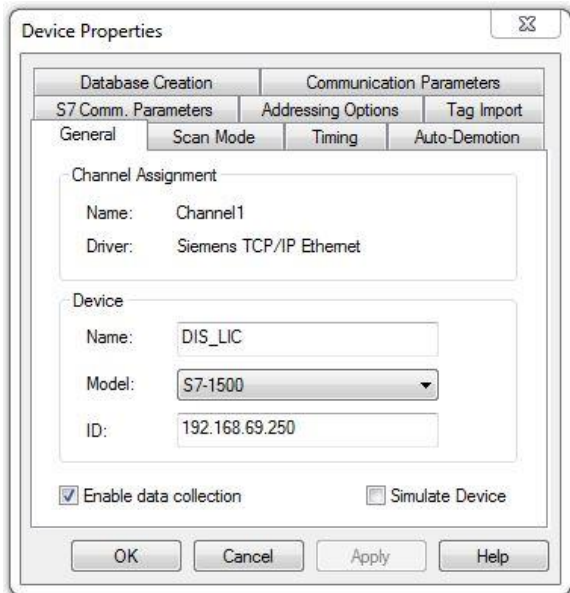


Fig.7. Crearea conexiunii PLC la OPC Server

Conexiunea PLC la OPC Server este posibilă prin următorii pași (vezi figura 7)

- Crearea unui canal(Channel1) cu tipul de interfață Ethernet. În OPC server se pot defini mai multe canale pe care sunt atribuite câte un PLC.
- Selectarea modelului PLC si adresa

Process Simulate se conectează la KEPServer EX.V5, prin selectarea canalului aferent și a unui semnal definit(E2K-X4ME1 - vezi figura 8). Semnalele mapate din Process Simulate trebuie să aibă aceeași adresă cu cele din OPC server și TIA portal, de recomandat și numele să coincidă pentru o mai bună monitorizare a tuturor variabilelor, de exemplu pentru semnale booleene zero sau unu, inclusiv semnale de tip byte, zece (operația de robot aferentă).

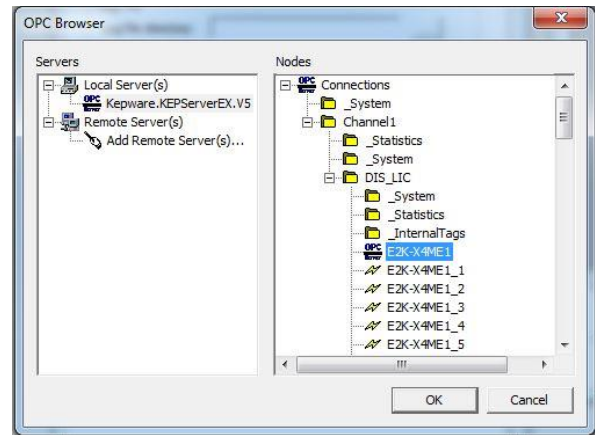


Fig.8. Conexiunea la PLC in TIA portal

3.6 Adăugarea de senzori

În layout-ul celulei am adăugat două tipuri de senzori fotoelectrici și capacitivi pentru detectarea caroseriei. Aceștia devin activi atunci când caroseria trece prin zona de detecție. Senzorii generează semnale de intrare pentru toate dispozitivele (robot, sistem de extensie al spațiului de lucru, conveier, poartă de securitate) și operații (flux de material, trecerea de la o poziție la alta a dispozitivelor)

3.7 Agendă semnale

În timpul simulării s-au generat peste 100 de semnale. În stadiul final s-a ajuns la 78 de semnale, în urma optimizării procesului ce a avut loc. În Control Panel (Process Simulate) le-am grupat pe dispozitive, skid (patru semnale), platforma mobilă (șase semnale), post de aplicare adezivi (șase semnale), post preuscare (patru semnale), roboți (21+ 5x5 semnale generice). Semnalele pot fi de intrare și de ieșire, majoritatea semnalelor sunt de tip boolean, cărora li se acordă un bit, cu excepția semnalelor de număr operație robot, de tip byte, ce li se atribuie un byte.

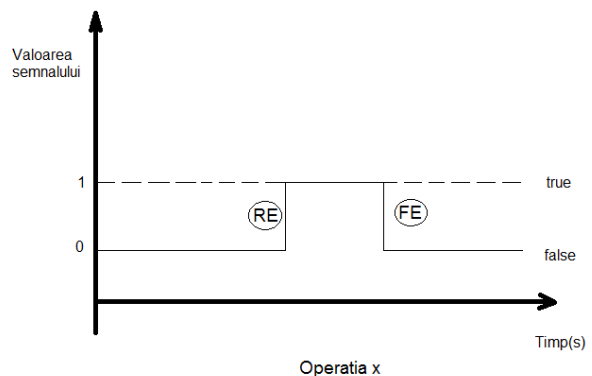


Fig.9. Valorile semnalului de tip boolean

Rising edge (RE) –semnalul se activează atunci când se trece de la valoarea 0 la 1 și se ignora trecerea de la 1 la 0, necesare semnalelor de intrare.

Falling edge (FE) –semnalul se activează atunci când se trece de la valoarea 1 la 0 și se ignora trecerea de la 0 la 1, necesare semnalelor de ieșire. (vezi figura 9)

Sunt trei tipuri de adrese:

- de intrare, de exemplu I8.2, semnal boolean, se alocă în memoria PLC bit-ul doi din byte-ul opt.

- de ieșire, de exemplu Q1.1, semnal boolean, se alocă în memoria PLC bit-ul unu din byte-ul unu.
- de memorie, de exemplu M50.1, semnal boolean, se alocă în memoria PLC-ului bit-ul unu din byte-ul 50.

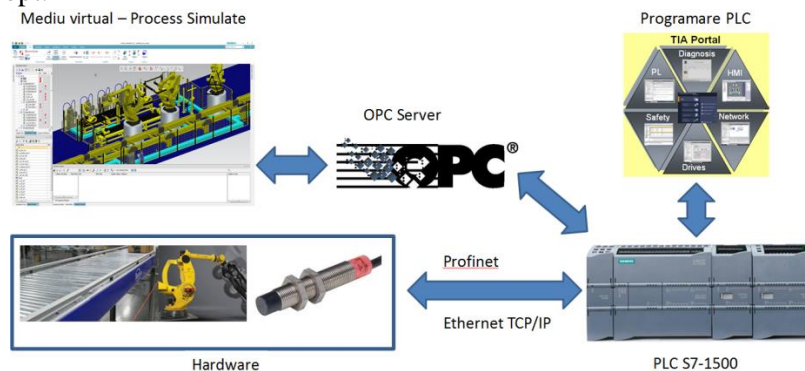


Fig.10. Diagrama de conexiuni – mediu virtual – mediu real

4 CONCLUZII

Lucrarea prezintă o abordare privind programarea și simularea offline pe bază de control discret a unei aplicații de etanșare a caroseriilor din industria auto. Etapele de simulare au fost realizate utilizând pachetul de aplicații Siemens Tecnomatix Process Simulate, fiind detaliate aspecte constructiv funcționale care guvernează relația dintre componenta fizică a celei în concordanță cu semnalele de intrare provenite de la senzorii dispuși în mediul tehnologic și semnalele de ieșire care provin de la unitatea PLC. În edițiile următoare ale acestui concurs, autorii își propun materializarea unui sistem 3D vision aferent echipării tehnologice pentru roboții de aplicare adezivi.

5 MULȚUMIRI

Această lucrare s-a realizat prin coordonarea Prof.dr.ing. Adrian Nicolescu. Mulțumim și firmei ADA Computers SRL pentru sprijinul Software acordat.

6 BIBLIOGRAFIE

[1]. Choi, S., Eakins, W.J. și Fuhlbrige T:A., (2010), “Trends and Opportunities for Robotic Automation of Trim & Final Assembly in the Automotive Industry”, Proceedings, 6th annual IEEE Conference on Automation Science and
 [2]. Constantin G. (2014), *Modelare-simulare-proiectare în domeniul mașinilor unelte și sistemelor de mașini*, Editura PRINTECH, București, ISBN 978-606-23-0290-0.

[3]. Mashagbeh, M. și Khamesee M:B., (2014), “Modeling and simulation of an industrial scara robot: performance evaluation prior to real-world task”, Proceedings, ASME 2014 Conference on Information Storage and Processing Systems ISPS2014, ASME, Santa Clara, 23-24.07.2014.
 [4]. Michalos, G., Makris S., Papakostas N., Mourtzis D. și Chryssolouris G. (2010), “Automotive assembly technologies review: challenges and outlook for a flexible and adaptive approach”, 2 (2), 81-91, ISSN 0007-8506.
 [5]. Mortimer J. (2004), “Adhesive bonding of car body parts by industrial robot”, 31 (5), 423-428, ISSN 0143-991X.
 [6]. Moulant, V.C și Aspragathos N:A. (2015) *IT and Mechatronics in Industrial Robotic Workcell Design and Operation*, disponibil la: <http://www.igi-global.com/chapter/it-and-mechatronics-in-industrial-robotic-workcell-design-and-operation/113124> Accesat la data: 22.05.2016.
 [7]. Razban, A., Davies B.L., Harris S. și Efstathiou J. (1995), “Control of an automated dispensing cell with vision controlled feedback”, 3 (9), 1217-1223, ISSN 0967-0661.
 [8]. Streitberger, H.J. și Dossel, K.F. (2008), *Automotive Paints and Coatings*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, ISBN 978-3-527-30971-9.
 [9]. Wikipedia. Ole for process control | wikipedia, the free encyclopedia, 2012. [Online; accessed 5-May-2017].

DEZVOLTAREA UNUI ROBOT MOBIL PENTRU APLICAȚII MILITARE ȘI ANTITERORISM

BĂNICĂ Laurențiu-Marian¹

Conducător științific: Prof.dr.ing. Adrian NICOLESCU

REZUMAT: Lucrarea prezintă construcția unui robot mobil utilizat pentru aplicații militare. Sunt prezentate componentele mecanice precum și modul în care acestea au fost prelucrate utilizând tehnologia de printare 3D. De asemenea sunt prezentate specificațiile tehnice și funcționale ale componentelor din cadrul sistemului de acționare comandă și control. La finalul lucrării este prezentat ansamblul parțial al robotului mobil.

CUVINTE CHEIE: robot mobil, structura mecanică, sistem de comandă și control, componente mecanice, componente electromecanice

1 STRUCTURA GENERALĂ A ROBOTULUI MOBIL

Unul din cele mai importante aspecte în evoluția ființei umane este folosirea uneltelor care să simplifice munca fizică. În aceasta categorie se înscriu și roboții, ei ocupând totuși o poziție privilegiată datorită complexității lor.

Robotul mobil este un sistem complex care poate efectua diferite activități într-o varietate de situații specifice lumii reale (fig.1). El este o combinație de dispozitive echipate cu servomotoare și senzori (aflate sub controlul unui sistem ierarhic de calcul) ce operează într-un spațiu real, marcat de o serie de proprietăți fizice (de exemplu gravitația care influențează mișcarea tuturor roboților care funcționează pe pământ) și care trebuie să planifice mișcările astfel încât robotul să poată realiza o sarcină în funcție de starea inițială a sistemului și în funcție de informația apriori existentă, legată de mediul de lucru.

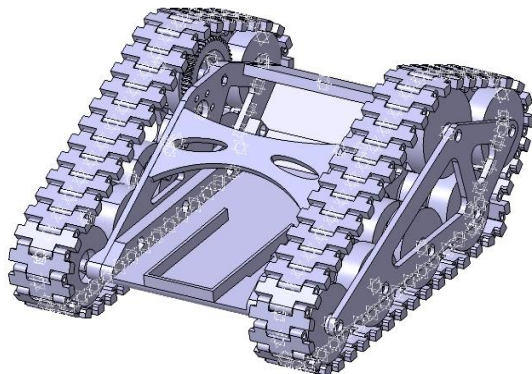


Fig.1. Designul general al robotului mobil

Roboții mobili au următoarele caracteristici comune:- structura mecanică este un lanț cinematic serie sau paralel respectiv tip “master-slave”;- sistemul de acționare utilizat este electric pentru sarcini mici și medii și hidraulic pentru sarcini mari;- sistemul senzorial utilizează senzori interni (de turație, poziție, efort) la nivelul articulațiilor, senzori externi (camere TV) pentru scanarea mediului și senzori de securitate (de proximitate, de prezență cu ultrasunete);- sistemul de comandă este ierarhizat, de obicei multiprocesor;- limbajele de programare utilizate sunt preluate de la roboții staționari.

2 STRUCTURA MECANICĂ

Un robot mobil este alcătuit dintr-o serie de componente, unele de natură fizică (hardware), iar altele de natură logică, computațională (software).

Din punct de vedere al componentelor hardware, un robot mobil poate fi considerat ca o colecție de sisteme pentru: -Locomoție - modalitatea prin care robotul se mișcă în mediul său ambiant; -Sesizare (sistem senzorial): - modalitatea prin care robotul măsoară proprietățile lui și ale mediului înconjurător; -Procesare - modalitatea prin care robotul procesează și ia decizii în legătură cu informațiile primite de la sistemul senzorial; - Comunicare - modalitatea prin care robotul comunică cu alți roboți sau cu un operator din mediu.

Roboții mobili sunt comandați de la distanță (prin undă radio sau prin cablu), sistemele de acționare ale brațului manipulator fiind de tip electro-hidraulic sau electric, cu motoare hidraulice liniare sau motoare electrice rotative.

¹ Specializarea Robotică, Facultatea IMST;
E-mail: ba_laurro@yahoo.com;

Din alcătuirea locomoției robotului mobil fac parte următoarele componente: șasiul, roți de acționare, roți de ghidare, plăci articulate, și părți laterale.

Șasiul (fig.2) este partea principală a robotului mobil alături de motor și carcasă care are funcțiile de susținere a ansamblului acestuia, de transmitere a mișcării de la motoarele electrice la roțile de acționare, de conducere și de propulsie al acestuia.

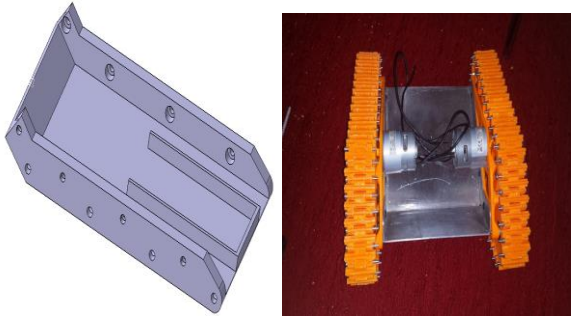


Fig.2. Șasiul robotului mobil

Materialul din care este realizat șasiul este din aluminiu, care a fost realizat prin îndoire. Se folosește acest material din cauze economice și pentru a ușura întreaga structură a robotului.

Roțile de acționare (fig.3) sunt componentele care pun în mișcare șenilele robotului cu ajutorul motoarelor electrice, prin intermediul dispozitivului metalic de prindere (fig.4), ce face legătură dintre acestea și motor.

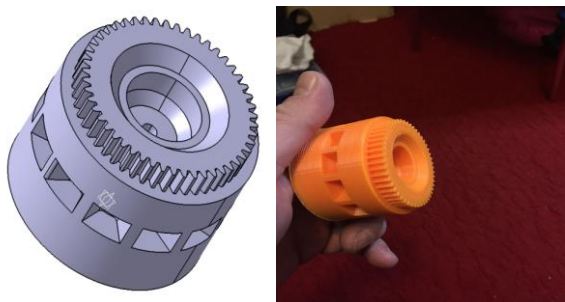


Fig.3. Roată de acționare

Pentru realizarea celorlalte componente ale robotului mobil, cât și a roților de acționare se folosește o imprimantă 3D, Acrylic Geeetech I3 Pro B 3D folosind Windows ca sistem de operare cu un Repetier-Host pe post de controller, utilizând formate 3D ale componentelor de format .STL, deoarece costurile sunt mai reduse decât pentru folosirea unui centru de prelucrare. Utilizând programul Slic3r, care transformă formatul .stl în format și cod pentru imprimantă, se realizează și segmentare interioară a

componentelor sub forma de fagure pentru reducerea materialului, rezistența acestuia rămânând neschimbată.



Fig.4. Dispozitiv metalic de prindere

Materialul folosit pentru realizarea acestora cât și a restului de componente este ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) cu filament de Ø1,75 cu o greutate pe rolă de 1,3 kg de culoare portocalie (P.021C), având un punct de topire la 230°C și o temperatură de printare de 230-260°C.

Roțile de ghidare (fig.5) permite buna funcționare a șenilei, acestea menținând poziția direcției de deplasare a șenilei și realizare deplasării pe teren accidentat după poziția acestora.

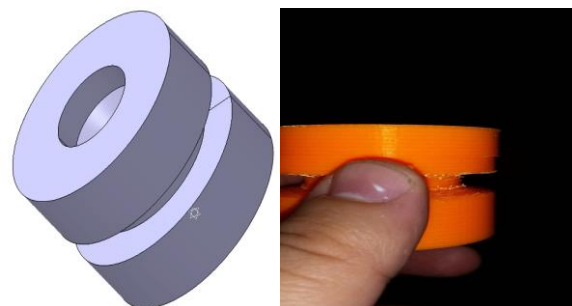


Fig.5. Roată de ghidare

Pentru fiecare ansamblu al unei șenile este nevoie de cinci roți de ghidare pentru realizare unei bune funcționări a acesteia. Acestea se realizează din același material ABS.

Pentru roțile de ghidare cât și cele de acționare se folosesc rulmenți (624-608zz) ce permit funcționarea ușoară a acestora.

Plăcile articulate (fig.6) reprezintă componentele principale din ansamblu șenilă, acestea fiind prinse una de cealaltă, cu ajutorul unor piloți hexagonali cu cap de 6 mm și cu filet de M3x30 pe care se strâng piulițe M3 autoblocante pentru o asamblare mai sigură.

În realizarea unei șenile sunt necesare 42 de plăci articulate.

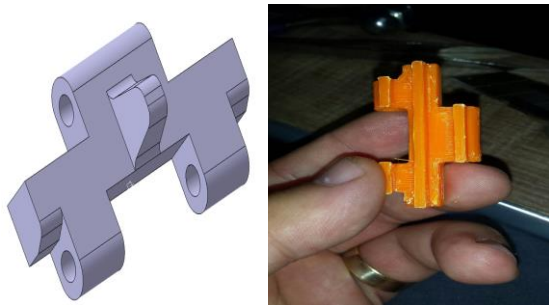


Fig.6. Placă articulată

Vârfurile plăcilor articulate pe partea interioară permit intrarea în roata de ghidare ceea ce face posibilă mișcarea șenilei, iar pe partea exterioară oferă tracțiune pe terenuri accidentate.

Partea laterală (fig.7) permite asamblare tuturor roților de ghidare, de poziționare pe șasiul robotului ceea ce fac posibilă montarea șenilei pe acestea.

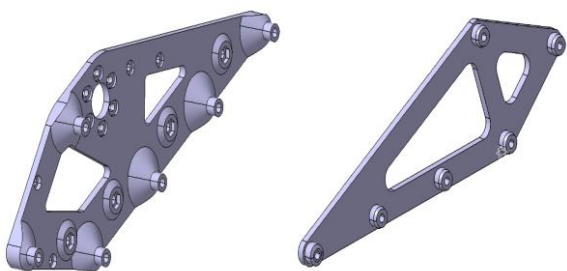


Fig.7. Parte laterală

Materialul utilizat este ABS fiindcă are o duritate destul de mare pentru scopul robotului mobil.

3 SISTEMUL DE COMANDĂ ȘI CONTROL

Sistemul de comandă și control al robotului este o structură poliarticulată realizată dintr-o unitate de procesare, un sistem de acționare, o structura mecanică care evoluează într-un spațiu de operare.

Sistemul de comandă și control al robotului mobil este alcătuit din: motoare electrice, plăci

arduino pentru control, sursă de tensiune, placă adaptoare, modul WiFi, module joystick și shield drivere pentru motoare.

Motoarele (fig.8) sunt motoare electrice MB-18 755/40 și se folosesc pentru acționarea roților de acționare.



Fig.8. Motor electric

Motorul electric ales are următoarele parametri tehnici: Voltaj: 9-32 V; Curent nominal: 0.7 A (masurat la 12 in gol); Turație la 18V: 8800 rpm; Turație la 12V: 5860rpm; Diametru ax: 5 mm; Lungime ax: 86 mm; Masă: 298 g; Lungime carcasă motor: 56 mm; Diametru carcasei: 42 mm fără radiator/ 45mm cu radiator; Diametru pe inelul de flux: 46 mm.

Clona arduino (fig.9) UNO R3ATmega328p + ATmega16u2 reprezintă placa de comandă a robotului unde este scris programul. Această plăcuță de dezvoltare reprezintă o bază a multor proiecte inovative de electronică. Utilizând o astfel de plăcuță și câțiva senzori sau module de ethernet/bluetooth, puteți face un mic roboțel sau să va automatizați casa.



Fig.9. Clona arduino

Parametrii tehnici ai plăcii de comandă sunt: Tensiune de funcționare: 5V; Tensiune de alimentare Jack: 7V - 12V; Pini de I/O: 14; Pini PWM: 6 (din cei 14 de I/O); Pini ADC: 8; Memorie flash: 32kB (8 ocupați de bootloader); Comunicație

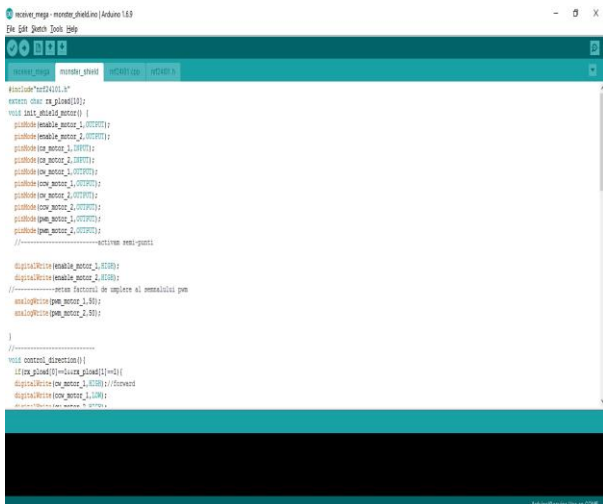


Fig.17. Program shield driver

4 ANSAMBLUL PARȚIAL AL ROBOTULUI MOBIL

Robotul mobil pentru intervenții militare conține și un braț pentru dezamorsare a mai multor tipuri de explozibili.

Telecomanda (fig.18) este realizată astfel încât să permită comanda la distanță a robotului fără fir cu ajutorul wireless-ului folosind două joystick-uri. Pe telecomandă cât și pe robot s-au folosit 2 două module Wifi atât pentru recepție cât și pentru transmisie. Modulul WiFi cu circuit integrat nRF24L01 reprezintă o placă specializată pentru transmisie de date în format digital, pe canale virtuale.



Fig.18. Telecomanda robotului

Pentru impelentare canalelor de comandă s-a folosit un software Arduino UNO în care sunt folosite pachete de date cu payload constant în care fiecare parametru transmis însemna o anumită funcție implementată. Comunicare programului cu modulul Wifi se face prin pini SPI (Serial Peripheral Interface), iar conform codului are alocat pinul 13 pentru clock, pinul 11 pentru MOSY, pinul 12 pentru MISO, pinul 10 pentru chip select, pinul 9 pentru chip enable și pinul 3 pentru

întrerupere, aceștia având corespondenți pentru celălalt modul de pe robotul mobil.

Comunicația dintre telecomandă și robot se realizează prin interfața SPI. În dezvoltare software s-a folosit data sheet-ul integrat în modul pe baza caruia s-a generat o librărie, folosită pe post de transmițător și receptor.

În completarea telecomenzii s-au folosit două joystick-uri analogice care permit citirea coordonatelor pe X și Y pentru fiecare dintre ele sub forma unei valori de tensiune. Acestea sunt conectate pe pini de tip analog cu valorile de la A0-A3, unde se interpretează tensiunile ca fiind coordonate pe X-Y. Având de-a face cu o șenilă, comanda pentru fiecare șenilă în parte este reprezentată de coordonatele specifice fiecărui joystick.

Conexiunile s-au făcut prin conectare circuitelor integrate la masa comună, alimentare de la Arduino se face cu o baterie externă de tip lition pe USB ceea ce îl limitează la 500 mA max. Valorile eșantionate de convertorul analog-digital pe pini A0-A3, sunt citite constant (buclă), iar apoi sunt atașate către payload fiind expediate către robot. În funcție de câte interferențe sunt robotul răspunde instantaneu sau cu un anumit delay la comenzile transmise.

Pentru chipul NRF se folosește un adaptor, care îi furnizează tensiunea de 3,3 V, fără a fi alimentat direct de către Arduino, având propria sursă de tensiune.

Pe robot (fig. 19) este așezată partea de receptori, ceea ce implică realizare șenilelor și controlul acestora folosind câte un motor pentru fiecare șenilă în parte.

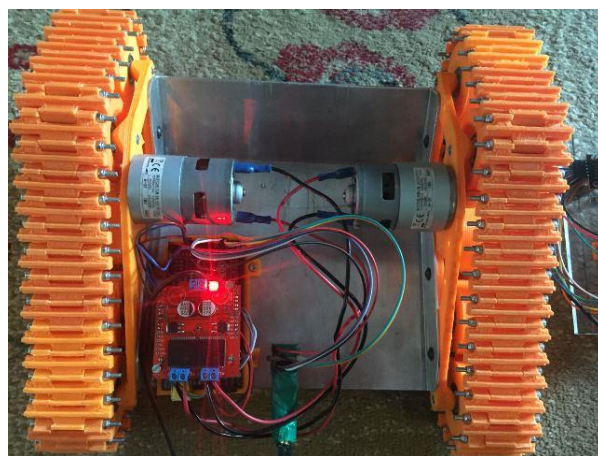


Fig.19. Robotul în stadiul actual

Aceste motoare fiindcă necesită o tensiune și un control al vitezei de rotație, se folosește un driver (Monster Shield) pentru a controla viteza de rotație

și cuplul. driverul este comandat folosind un Arduino Mega, pinii fiind alocați conform codului.

Pentru partea de recepție s-a folosit aceeași interfață SPI cu pinii aferenți pentru placa Arduino Mega. Librăria pentru NRF a fost refolosită cu excepția că este setată pe modul receptor. Alimentare se face separat printr-o baterie de 9V, iar driverul este alimentat cu 12V curent continuu, folosind o sursă externă.

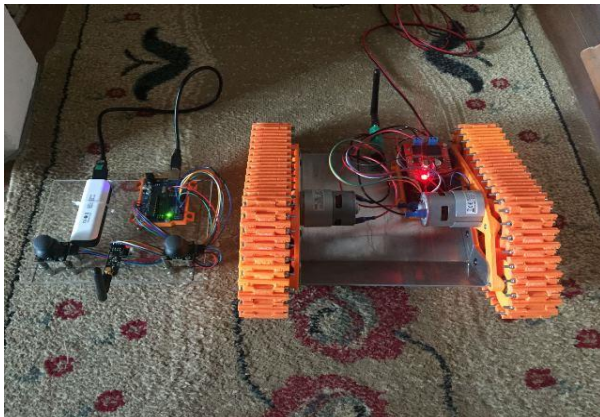


Fig.20. Robotul și telecomanda în stadiul actual

Pentru braț se vor folosi pinii digitali DPV specializați pentru a controla servo.

5 CONCLUZII

Până în prezent a fost realizată structura specifică subansamblului de deplasare la sol și au fost achiziționate elementele de acționare electrică, comandă și control.

Următoarea etapă este reprezentată de achiziția celorlalte elemente componente din cadrul structurii robotului mobil.

Până la susținerea disertației urmează să realizez și celelalte componente mecanice specifice infrastructurii, asamblarea acestora și respectiv programarea.

6 BIBLIOGRAFIE

- [1]. <https://www.optimusdigital.ro/placi-avr/2562-clona-arduino-uno-r3-atmega328p-atmega16u2-si-cablu-50-cm.html>
- [2]. <https://www.optimusdigital.ro/placi-de-dezvoltare-placi-compatibile-cu-arduino/903-clona-arduino-mega-2560-r3-atmega2560-atmega16u2-cablu.html>
- [3]. https://www.optimusdigital.ro/driver-de-motoare-cu-perii/476-shield-driver-de-motoare-dualvnh2sp30.html?search_query=driver&results=138
- [4]. <https://www.optimusdigital.ro/senzori-senzori-de-atingere/742-modul-joystick-ps2-biaxial-negru-cu-5-pini.html>

[5]. <https://www.optimusdigital.ro/ism-24-ghz/119-modul-nrf24l01-pentru-distante-mari.html>

[6]. <https://www.optimusdigital.ro/wireless-altele/613-placa-adaptoare-pentru-nrf24l01.html>

[7]. https://www.optimusdigital.ro/surse-coboratoare-reglabile/2254-sursa-de-tensiune-coboratoare-reglabila-de-12-a.html?search_query=sursa+alimentare&results=136

[8]. <https://www.optimusdigital.ro/altele/1164-dispozitiv-metalic-de-prindere-pentru-servomotoarele-mg995.html>

[9]. <https://www.optimusdigital.ro/toate-produsele/876-set-fire-mama-tata-10p-15-cm.html>

[10]. https://magazin.unda.tech/ro/rulmenti-radiali/48-rulment-608zz.html?search_query=rulment&results=74

[11]. https://magazin.unda.tech/ro/organe-de-asamblare/464-piulita-m5-autoblocare.html?search_query=piulita+m3+a&results=29

[12]. <https://www.optimusdigital.ro/mecanica-accesorii-de-prindere/2529-pilon-hexagonal-din-metal-m3-de-30-mm-cu-cap-de-6-mm.html>

[13]. <https://www.thingiverse.com/>

STUDIUL DE FUNDAMENTARE CONCEPTUALĂ ȘI FUNCȚIONALĂ A UNEI DRONE MULTIROTOR PENTRU APLICAȚII DE SECURIZARE PERIMETRALĂ

STAMATE Mihai-Alin¹

Conducător științific: Prof.dr.ing. Adrian NICOLESCU

REZUMAT: Lucrarea de față prezintă studiul de fundamentare conceptuală a prototipului unei drone multirotor (hexarotor) și ulterior de realizare efectivă a acesteia, drona urmând a fi utilizată în aplicații de securizare perimetrală a instalațiilor industriale de interes strategic, a instituțiilor guvernamentale, a centrelor de detenție, a frontierelor unui stat etc.

CUVINTE CHEIE: hexarotor, controller electronic de turaj, GPS, turaj, motor electric.

1. Introducere

În lucrarea de față voi prezenta soluția adoptată pentru proiectare și realizare practică, așa cum am prezentat în articolul precedent, în cadrul sesiunii de comunicări științifice din luna Mai 2016.

În urma breviarului de calcul elaborat și luând în considerare datele experimentale obținute, am hotărât să adopt pentru lucrarea mea, un hexarotor în X, având în vedere că această soluție prezintă o stabilitate în aer mult mai mare datorită forței portante rezultante, dată de rotația celor șase rotoare.

Un vehicul aerian fără pilot uman la bord (UAV) de tip multirotor, este un sistem dinamic instabil, cu șase grade de libertate care constau în mișcări de translație și rotație pe 3 axe (3 dimensiuni). Mișcarea de translație se obține prin modificarea direcției și mărimii forței de tracțiune vertical.

Pentru pale fixe ale rotorului (conform cu cele existente pe dronă) mișcarea de rotație pentru înclinarea dronei se realizează prin variații individuale ale vitezei rotoarelor, pentru a crea cupluri de rotație în jurul centrului de rotație. Din însumarea vitezelor rotoarelor rezultă mărimea vectorului forță de tracțiune.

Mișcarea vehiculului multirotor în două dimensiuni este ilustrată în fig. 2-4.

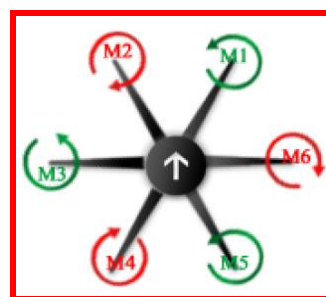


Fig. 1 Hexarotor în X, cu evidențierea sensului de rotație al motoarelor și al direcției de deplasare a dronei (săgeata albă)

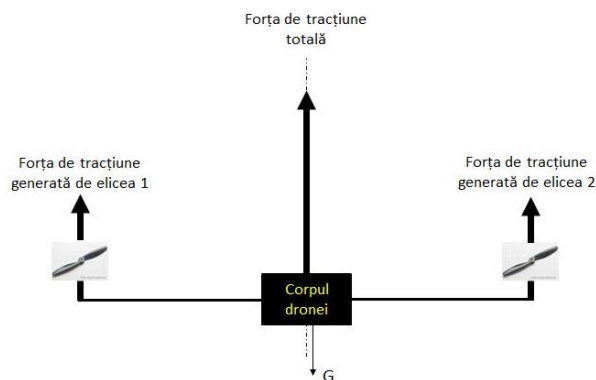


Fig. 2 Elicele se rotesc cu aceeași viteză unghiulară astfel încât vectorul forței de tracțiune totale are aceeași direcție cu vectorul forței de gravitație

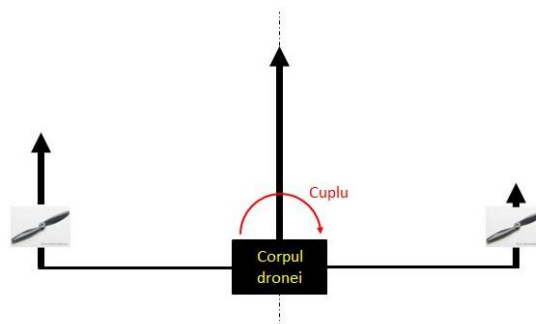


Fig. 3 Prin variația vitezei de rotație a elicelor rezultă un cuplu de rotație

¹ Specializarea Robotică, Facultatea IMST;
E-mail: stamyhay@yahoo.com;

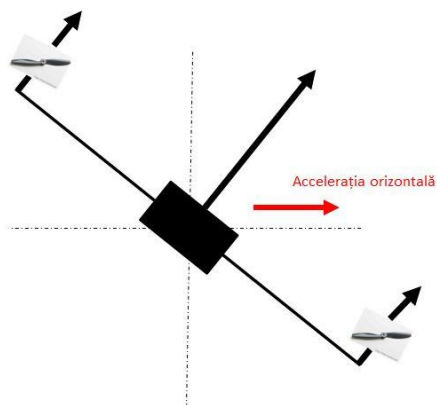


Fig. 4 Direcția vectorului forței de tracțiune totală nu mai coincide cu direcția forței de gravitație, rezultând astfel o accelerație orizontală

2. Sistemele de coordonate asociate dronei

Pentru a analiza comportarea dronei, se utilizează două sisteme de coordonate, pentru reprezentarea poziției și orientării hexacopterului pe cele 3 dimensiuni, și anume: sistemul de coordonate asociat solului și sistemul de coordonate asociat cadrului dronei.

Sistemul de coordonate asociat solului este un sistem de referință fixat, astfel încât, de exemplu, dacă se dorește definirea unui traseu pe care drona urmează să îl parcurgă, se va utiliza acest sistem de coordonate.

Sistemul de coordonate asociat cadrului dronei se alege ca fiind aliniat cu senzorii montați pe dronă, astfel că axa x va fi orientată pe direcția înainte (capetele roșii de montare a motoarelor), axa y orientată spre stânga și axa z orientată în sus, perpendiculară pe planul determinat de axele x și y . (a se vedea fig. 5)

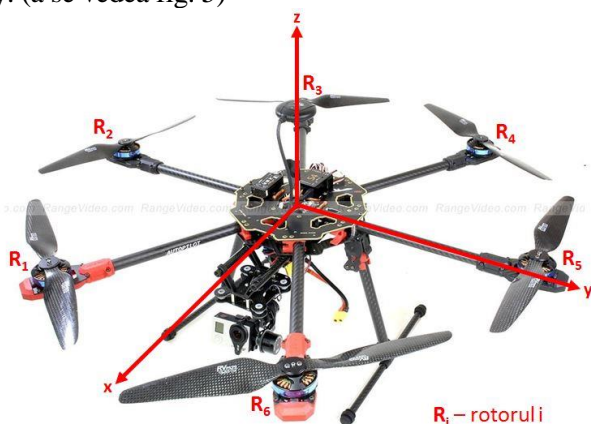


Fig. 5 Sistemul de coordonate asociat cadrului dronei și numerotarea rotoarelor

3. Axele de rotație

Atitudinea dronei se definește ca fiind orientarea sistemului de coordonate al dronei față de sistemul de coordonate al pământului. Aceasta reprezintă rotația dronei în jurul axelor sale x , y și z , în acest caz prin folosirea regulii mâinii drepte, și constă în trei mișcări: ruliu (rol), tangaj (pitch) și girație (yaw). (a se vedea fig. 6)

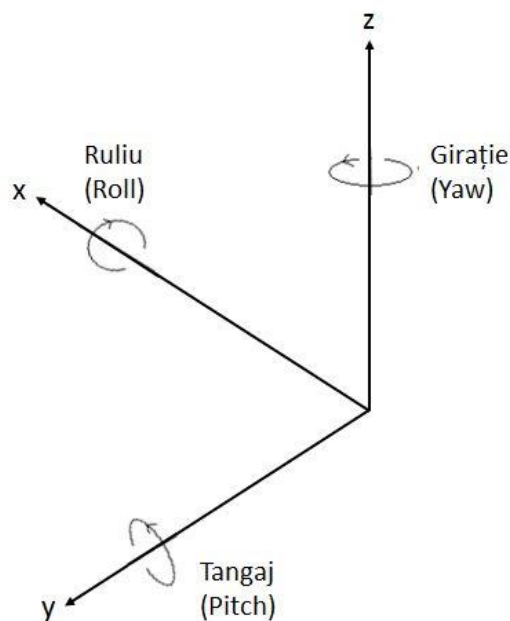


Fig. 6 Mișcările de rotație pe cele trei axe de coordonate: ruliu (rol – axa x), tangaj (pitch – axa y) și girație (yaw – axa z)

Atitudinea este controlată prin modificarea turației motoarelor, implicit a vitezei de rotației a elicelor, rotoarele fiind numerotate în sensul acelor de ceasornic, cu rotorul numărul 1 fiind în poziția față dreapta a hexacopterului. (a se vedea fig. 5)

Ruliul (roll) reprezintă mișcarea de rotație în jurul axei x , obținută prin creșterea/descreșterea turației 1, 2 și 3 și, concomitent, prin creșterea/descreșterea turației rotoarelor 4, 5 și 6. Pe timpul acestei manevre se creează un cuplu de rotație în jurul axei x și astfel apare o accelerație unghiulară. Unghiul de rotație pentru mișcarea de ruliu se notează cu φ și se măsoară în rad/s.

Tangajul (pitch) reprezintă mișcarea de rotație în jurul axei y și se obține prin creșterea/descreșterea turației rotoarelor 1 și 6 și, concomitent, prin creșterea/descreșterea turației rotoarelor 3 și 4. Deoarece direcția axei y coincide cu poziția rotoarelor 2 și 5, acestea nu afectează tangajul. Unghiul de tangaj se notează cu θ și se măsoară, de asemenea, în rad/s.

Girația (yaw) reprezintă mișcarea de rotație în jurul axei z. În cazul acestei mișcări fiecare elice creează un cuplu de rotație în jurul axei z atunci când se rotește. Astfel că acest cuplu este direcționat în sensul opus sensului de rotație al rotorului. Dacă elicea se rotește în sensul acelor de ceasornic, acesta va crea o rotație în sens trigonometric în jurul axei z.

Pentru a menține hexacopterul stabil este necesar ca rotoarele să fie rotite în direcții diferite, astfel încât trei rotoare să se rotească în sensul acelor de ceasornic iar celelalte trei în sens trigonometric. Mișcarea de girație este realizată prin descreșterea/ creșterea turației rotoarelor 1, 3 și 5 și, concomitent prin creșterea/descreșterea turației rotoarelor 2, 4 și 6. Unghiul de rotație pentru mișcarea de girație se notează cu ψ și se măsoară în rad/s.

4. Modelul virtual al hexarotorului ales

Modelul virtual 3D al hexarotorului a fost realizat cu ajutorul programului SolidWorks.

În fig. 7-9 este prezentat modelul 2D pentru a evidenția câteva cote de gabarit, iar în fig. 10-16 este prezentat modelul virtual al dronei, în vederi 3D.

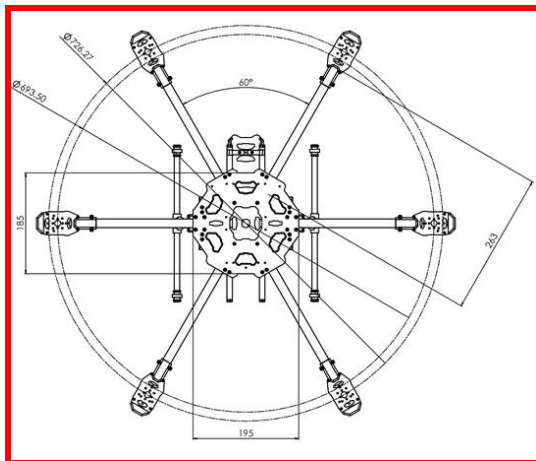


Fig. 7 Cote de gabarit

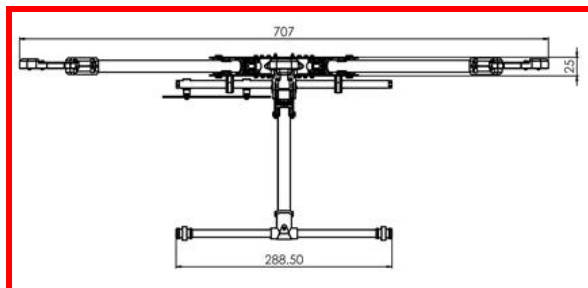


Fig. 8 Cote de gabarit
(continuare)

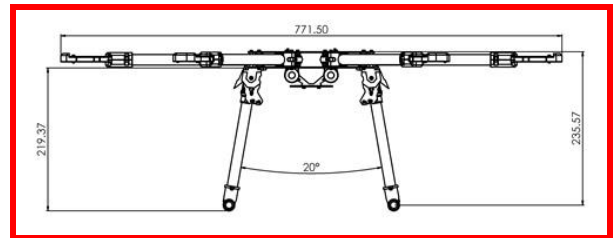


Fig. 9 Cote de gabarit
(continuare)

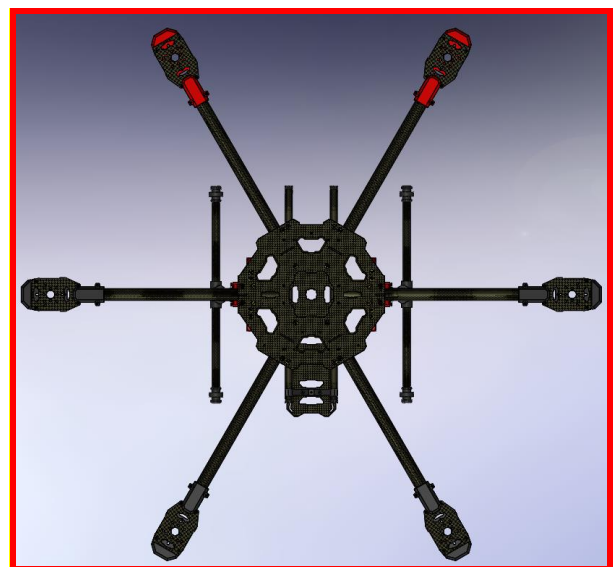


Fig. 10 Modelul CAD al hexarotorului
(vedere de deasupra)

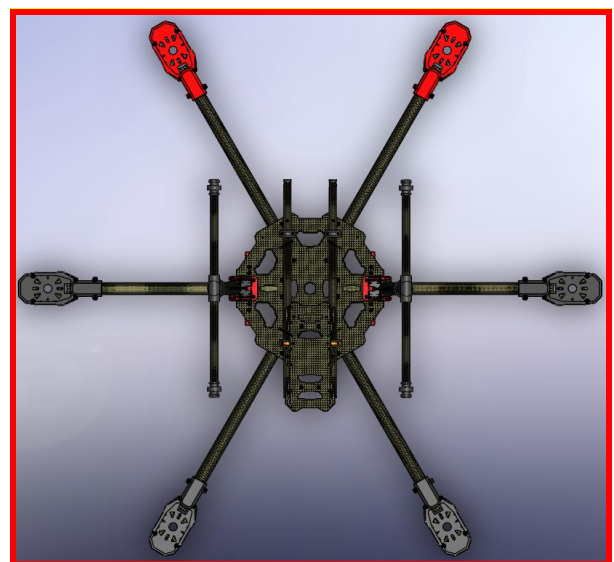


Fig. 11 Modelul CAD al hexarotorului
(vedere de dedesub)

În fig. 17-18 este prezentat modelul CAD 3D al hexarotorului, în varianta echipată cu motoare, elice, acumulator, gimbal și cameră, iar în fig. 19-21 am prezentat câteva imagini ale hexarotorului real echipat cu partea de avionică și motoare.



Fig. 12 Modelul CAD al hexarotorului
(vedere frontală)



Fig. 13 Modelul CAD al hexarotorului
(vedere din spate)

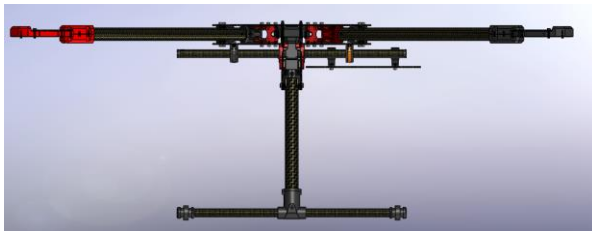


Fig. 14 Modelul CAD al hexarotorului
(vedere laterală-stânga)



Fig. 15 Modelul CAD al hexarotorului
(vedere laterală-dreapta)



Fig. 16 Modelul CAD al hexarotorului
varianta ne-echipată
(vedere izometrică)



Fig. 17 Modelul CAD al hexarotorului
(varianta echipată)

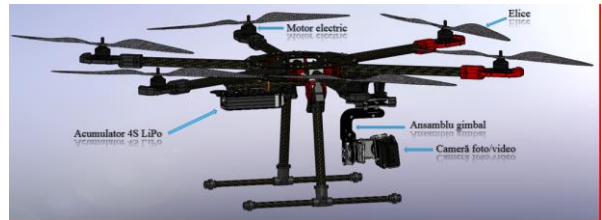


Fig. 18 Modelul CAD al hexarotorului
(varianta echipată - continuare)



Fig. 19 Hexarotorul realizat
(varianta echipată)



Fig. 20 Motoarele electrice fără perii montate pe
capetele suport



Fig. 21 Echipamentele de avionică

5. Aspecte constructiv-funcționale ale hexarotorului realizat

În cele ce urmează voi prezenta succint componentele utilizate la realizarea practică a acestei soluții de hexarotor.

Pentru partea de cadru am folosit, pentru brațele suport ale motoarelor, tuburi din fibră de carbon, similare cu brațele care alcătuiesc trenul de aterizare, datorită masei reduse a acestui material. Ca suport al brațelor mai sus menționate, al trenului de aterizare și al echipamentelor de avionică și cameră am utilizat două plăci din fibră de carbon (superioară și inferioară) ce se assemblează între ele cu șuruburi (vezi fig. 10-11, 17-19, 21).



Fig. 22 Braț suport motor
(de formă tubulară, realizat din fibră de carbon)

În urma breviarului de calcul efectuat și corelat cu datele obținute și verificate cu ajutorul platformei de pe site-ul www.ecalc.ch, am ales o variantă de echipare a dronei, variantă pe care o voi prezenta în continuare.

În fig. 25-29 am ilustrat datele obținute, în urma simulărilor efectuate pe platforma www.ecalc.ch, în varianta aleasă de echipare a

dronei, pentru a identifica eventuale neconcordanțe sau erori ce pot apărea în timpul funcționării hexarotorului.



Fig. 23 Brațele care compun trenul de aterizare și placa inferioară
(realizate din fibră de carbon)



Fig. 24 Asamblarea celor două plăci, a trenului de aterizare și a brațelor suport motor

După verificarea datelor obținute am procedat la echiparea dronei, în varianta prezentată în cele ce urmează. Pentru propulsie am folosit motoare electrice fără perii, model **Tarot 4006/620KV** (vezi fig. 30). Controlul pornirii/oprii

motoarelor, reglarea turației și stabilirea sensului de rotație se realizează cu ajutorul unor echipamente ESC (Electronic Speed Controller) – Controllere Electronice de Turație. Pentru acestea am ales modelul **Hobbywing XRotor 40A-OPTO** (vezi fig. 31).

Fig. 25 Platforma www.ecalc.ch (alegerea elicelor și motoarelor)

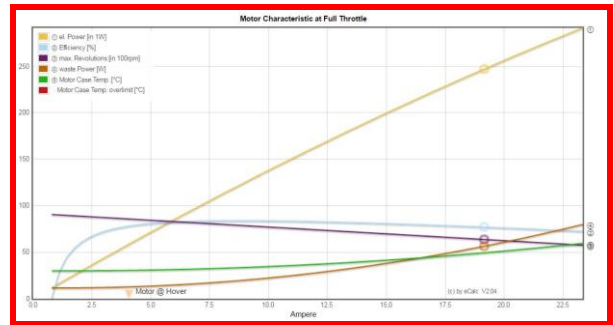


Fig. 29 Platforma www.ecalc.ch (caracteristicile motorului ales)



Fig. 30 Motor electric fără perii Tarot 4006/620KV

Fig. 26 Platforma www.ecalc.ch (selectarea componentelor și verificarea soluției adoptate)

Remarks	Motor @ Optimum Efficiency	Motor @ Maximum	Motor @ Hover	Total Drive	Multistar
Load	19.44 C	19.44 A	19.44 A	1400 g	2845 g
Voltage	13.05 V	13.05 V	13.05 V	704.0 V	100.4 ac
Rated Voltage	14.80 V	14.80 V	14.80 V	24.0 V	348.0 ac
Energy	88.9 Wh	7841 Wh	2903 Wh	24.5 Wh	122.9 Wh
Total Capacity	6000 mAh	6000 mAh	6000 mAh	6000 mAh	6000 mAh
Used Capacity	510 mAh	510 mAh	510 mAh	510 mAh	510 mAh
max Flight Time	2.6 min	2.6 min	2.6 min	2.6 min	2.6 min
Motor Flight Time	5.6 min	5.6 min	5.6 min	5.6 min	5.6 min
Hover Flight Time	12.5 min	12.5 min	12.5 min	12.5 min	12.5 min
Weight	20.0 g	20.0 g	20.0 g	20.0 g	20.0 g

Fig. 27 Platforma www.ecalc.ch (rularea simulării și identificarea rezultatului final – săgeata albă pe fundal verde indică corectitudinea soluției alese de echipare)



Fig. 31 Controller electronic de turație Hobbywing XRotor 40A-OPTO ESC

Elicele sunt model **Tarot 1355**, de dimensiune 13” (vezi fig. 32), iar ca sursă de alimentare am folosit un acumulator de 4 celule LiPo, capacitate 6600 mAh, model **Multistar 6600mAh Lipo** (vezi fig. 33).

Pentru partea de avionică am utilizat un controller (componenta centrală a dronei, îndeplinește și funcția de pilot automat, controlează modurile de zbor ale dronei) model **Tarot ZXY-M**, antenă GPS, un modul de distribuție a tensiunii de la acumulator la consumatori, modul de programare a dronei, și, bineînțeles echipamentul de transmisie-recepție model **Turnigy TGY 9x** (vezi fig. 34-39).

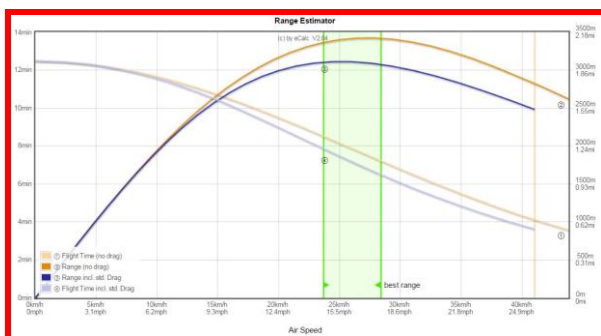


Fig.28 Platforma www.ecalc.ch (grafic pentru indicarea distanței de zbor)



Fig. 32 Elice din fibră de carbon Tarot 1355



Fig. 36 Unitate LED (stânga) pentru indicarea modului de funcționare și modul de programare (dreapta) prin USB



Fig. 33 Acumulator 4S LiPo 6600mAh Multistar



Fig. 37 Modul de distribuție a tensiunii



Fig. 34 Controller Tarot ZYX-M



Fig. 38 Cutie de comandă (Tx) Turnigy TGY 9x



Fig. 35 Antenă GPS



Fig. 39 Receptor pe 8 canale (Rx) Turnigy TGY 9x

În fig. 40 este prezentată diagrama de conexiuni pentru echipamentele de avionică și sistemul gimbal + cameră.

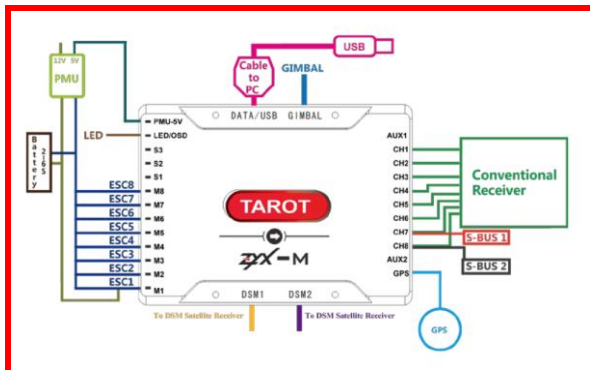


Fig. 40 Diagrama de conexiuni

Având în vedere scopul acestui hexarotor, și anume, supraveghere perimetrală, se impune, evident, și echiparea cu o cameră foto/video.

Pentru aceasta am folosit un sistem de poziționare și comandă a camerei (gimbal) cu rotire pe 3 axe comandate de la un controller integrat, model **Tarot T4-3D** (vezi fig. 41).



Fig. 41 Suport cameră (gimbal) **Tarot T4-3D**

Supravegherea este realizată cu ajutorul unei camere model **Turnigy Action Cam**, ce poate să filmeze la o rezoluție de 1080p, autonomia acestuia fiind asigurată cu ajutorul unui acumulator (vezi fig. 42).

Ca și variante auxiliare de echipare, pentru supravegherea în condiții dificile de vizibilitate (noaptea sau în condiții de ceață densă) drona se poate echipa cu cameră de supraveghere în

infraroșu (FLIR – Forward Looking Infrared) sau camera cu termoviziune (vezi fig. 43-44).



Fig. 42 Cameră foto/video **Turnigy Action Cam**



Fig. 43 Cameră FLIR



Fig. 44 Cameră cu termoviziune

6. Concluzii

Hexarotorul realizat constituie o soluție eficientă și relativ ieftină pentru utilizarea în aplicații de securizare perimetrală, pentru supravegherea instalațiilor industriale de interes strategic, a clădirilor guvernamentale, a centrelor de detenție, a frontierelor, pentru identificarea trecerii ilegale a acestora etc.

7. Bibliografie

- [1]. www.ecalc.ch
- [2] R. W. Beard, "Quadrotor dynamics and control," Brigham Young University, 2008.
- [3] R. C. Leishman, J. Macdonald, R. W. Beard, and T. W. McLain, "Quadrotors & Accelerometers," 2013.
- [4] S. Bouabdallah, "Design and control of quadrotors with application to autonomous flying," Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, 2007.
- [5] J. Gordon Leishman. Principles of Helicopter Aerodynamics. Cambridge University Press, 2000
- [6] P. Martin and E. Salaun, "The true role of accelerometer feedback in quadrotor control," in Robotics and Automation (ICRA)
- [7] V. Martínez. Modelling of the Flight Dynamics of a Quadrotor Helicopter. Department of Aerospace Sciences, Cranfield University, Cranfield, Bedfordshire, United Kingdom, 2007.
- [8] Gabriel M. Hoffmann, Haomiao Huang, Steven L. Waslander, and Claire J. Tomlin. Quadrotor helicopter flight dynamics and control: Theory and experiment. In Proc. of the AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference, 2007.
- [9] Niță M. M., Avioane și Rachete, concepte de proiectare, Ed. Militara, Bucuresti, 1985;
- [10] E. V. Laitone. Wind tunnel tests of wings at reynolds numbers below 70 000. Experiments in Fluids 23, pages 405–409, 1997.
- [11] Filipe M. S. Pedro. Projecto preliminar de um quadrirotor. Master's thesis, Instituto Superior Técnico, 2009.
- [12] Jim Cox, Electric Motors (Workshop Practice), 1988.
- [13] Christian Månsson, Daniel Stenberg, Model-based Design Development and Control of a Wind Resistant Multirotor UAV, Department of Automatic Control, Lund University, 2014.
- [14] V. Artale, C.L.R. Milazzo and A. Ricciardello, Mathematical Modeling of Hexacopter, Kore University of Enna Faculty of Engineering and Architecture, 2013.
- [15] J.M. Rico-Martinez, J. Gallardo-Alvarado (2000) A simple method for the determination of angular velocity and acceleration of a spherical motion through quaternions, Meccanica 35 111{118.
- [16] Wikipedia: Unmanned Aerial Vehicle. [Online]. Site: <http://en.wikipedia.org/wiki/UAV>
- [17] DIY Drones. [Online]. Site: <http://diydrones.com/>
- [18] Aeroquad: The open source quadcopter / multicopter. [Online]. Site: <http://aeroquad.com/>
- [19] R. W. Beard, "Quadrotor dynamics and control," Brigham Young University, 2008.
- [20] J. Macdonald, R. Leishman, R. Beard, and T. McLain, "Analysis of an Improved IMU-Based Observer for Multirotor Helicopters," Journal of Intelligent & Robotic Systems, pp. 1-13, 2013.
- [21] N. Guenard, T. Hamel, and R. Mahony, "A practical visual servo control for an unmanned aerial vehicle," Robotics, IEEE Transactions on, vol. 24, no. 2, pp. 331-340, 2008.
- [22] R. Leishman, J. Macdonald, T. McLain, and R. Beard, "Relative navigation and control of a hexacopter," in Robotics and Automation (ICRA), 2012 IEEE International Conference on, year = 2012, pages = 4937–4942, organization = IEEE.

MODELUL MATEMATIC PENTRU ROBOTUL DE TIP MECANISM PENTAGONAL CU ARHITECTURA PARALELA

CRISTEA George Viorel¹, IONIȚĂ Iris², CONSTANTIN Mihnea Adrian³

Conducator stiintific: Ș.l. dr. ing. **Andrei Mario IVAN**

REZUMAT: In acest articol va fi prezenta in ce a constat lucrarea, obiectivele ei, rezolvarea amanuntita a acesteia, robotul corespondent modelului matematic, de altfel , care este si tema proiectului, la ce ne ajuta aceasta rezolvare, precum si meritele exterioare pentru acesta. Am realizat aceasta lucrare la cererea de ajutor a domnului profesor Andrei Mario Ivan. Aceasta fiind reusita, am decis impreuna sa fie prezentata Sesiunea Stiintifica Studenteasca.

CUVINTE CHEIE: robotica, geometrie, matematica, numere complexe, model geometric.

1 INTRODUCERE

Aceasta lucrare are ca scop functionarea optima a unui robot de tip mecanism pentagonal cu arhitectura paralela, rezolvand matematic modelul direct si cel invers. Acest lucru este posibil cu ajutorul numerelor complexe (Craig 2005), diferite teoreme si functii trigonometrice (Nicolescu, 2005). Cea directa consta in determinarea coordonatelor unui punct stiind unghiurile α si β , precum si lungimile l_1 , respectiv l_2 , pe de alta parte la modelul invers fiind stiute coordonatele punctului si lungimile l_1 , l_2 trebuie aflate unghiurile α si β (Siciliano & Khatib, 2008) (Ivan, 2011).

Lucrarea a fost dezvoltată pentru a realiza controlul pozitiei si traiectoriei robotului de tip mecanism pentagonal existent in dotarea departamentului MSP. Dupa realizarea modelelor geometrice direct si invers, acestea vor fi implementate in controller-ul robotului. Utilitatea modelului geometric direct consta in faptul ca, odata implementat in controller, acesta permite calcularea si afisarea in timp real a coordonatelor efectorului. Totodata, utilitatea modelului geometric invers consta in faptul ca, odata implementat in controller, acesta permite comanda directa, prin instructiune de miscare in program, a pozitiei efectorului, robotul calculand pozitiile necesare pentru cele doua axe.

¹ Specializarea Robotică, Facultatea de Ingineria si Managementul Sistemelor Tehnologice;

E-mail: cristea.george.viorel@gmail.com;

² Specializarea Robotică, Facultatea de Ingineria si Managementul Sistemelor Tehnologice;

E-mail: iris_maria2007@yahoo.com;

³ Clasa a X-a, Colegiul National de Informatica „Tudor Vianu”;

E-mail: ama@ziwa.ro;

2 STADIUL ACTUAL

La momentul actual, modelul geometric direct și modelul geometric invers pentru mecanisme de tip pentagonal sunt formulate matematic la modul general in literatura de specialitate (Dorin & Dobrescu, 1998), însă pentru a putea controla în poziție robotul existent în dotarea departamentului MSP era necesară dezvoltarea unor modele particularizate pentru acesta (Campa s.a, 2006). Ulterior, aceste modele vor fi implementate in controller.

3 FORMULAREA PROBLEMEI

Modelul direct: Se da desenul din figura 1. Sa se afle coordonatele x si y ale punctului P stiind ca unghiurile α si β , precum si lungimile L_1 si L_2 sunt cunoscute. De asemenea, originea sistemului de coordonate XY se afla la jumatatea distantei L_2 . Cu alte cuvinte, coordonatele x si y ale punctului P trebuie exprimate matematic in functie de α , β , L_1 si L_2 (modelul geometric direct pentru mecanism de tip pentagonal) (Nof, 1999).

Modelul invers: Se da desenul din figura 1. Sa se afle unghiurile α si β stiind ca lungimile L_1 si L_2 , precum si coordonatele x si y ale punctului P sunt cunoscute. De asemenea, originea sistemului de coordonate XY se afla la jumatatea distantei L_2 . Cu alte cuvinte, unghiurile α si β trebuie exprimate matematic in functie de coordonatele x si y ale punctului P , L_1 si L_2 (modelul geometric invers pentru mecanism de tip pentagonal).

4 MODELUL GEOMETRIC DIRECT

Avem distanta t_3 intre C si D , plecand din aceste 2 puncte 2 tije de lungime l_1 ale caror varfuri trebuie sa coincida. Fie F mijlocul lui CD ; construim mediatoarea lui CD astfel incat P sa se afle pe aceasta iar $CP=l_1$, si implicit $PD=l_1$.

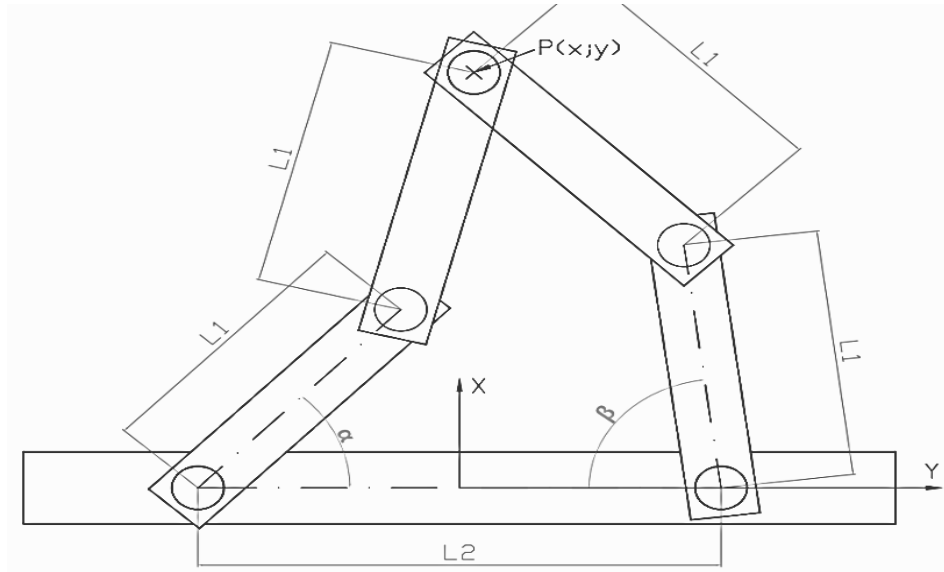


Fig. 1. Schema cinematică a robotului

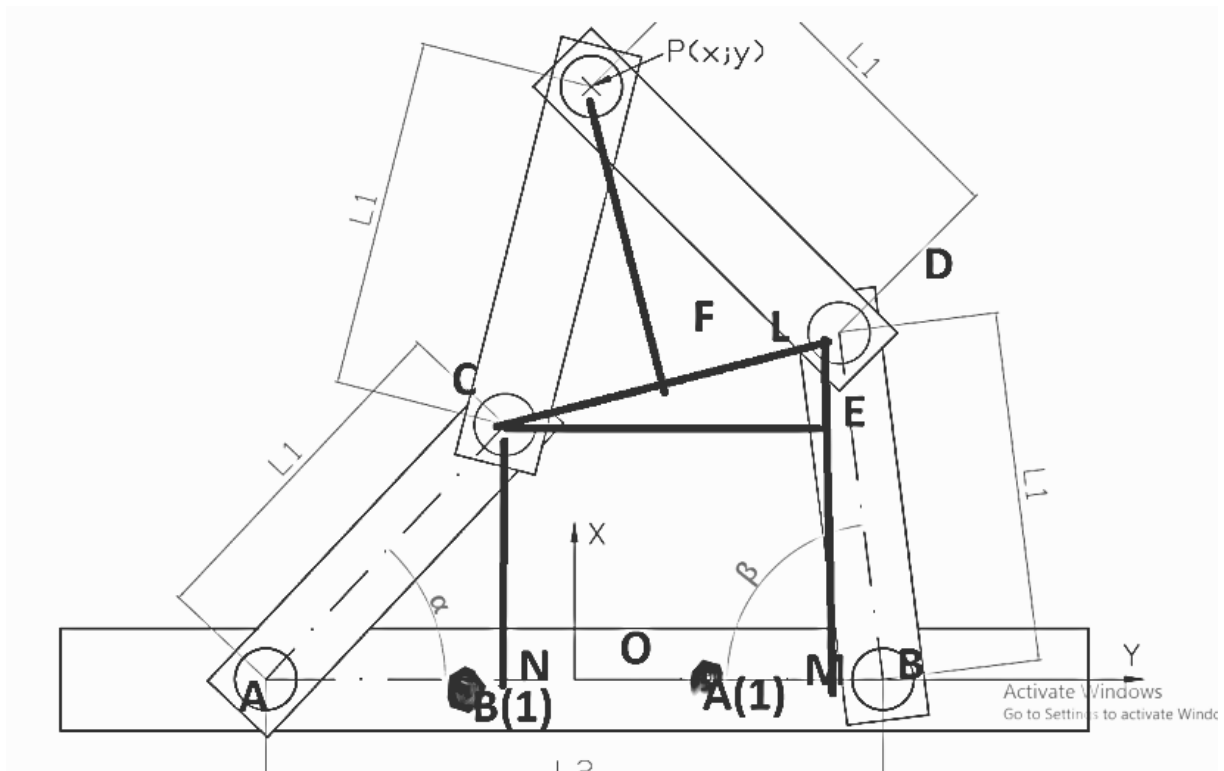


Fig. 2. Modelul geometric direct

$$AA(1) = l1 = BB(1) = AC = BD = CP = DP \quad (1)$$

$$AO = BO = \frac{l2}{2} \quad (2)$$

$$AN = l1 * \cos(\alpha); \quad BM = l1 * \cos(\beta) \quad (3)$$

$$CE = AB - AN - MB = l2 - l1 * (\cos(\alpha) + \cos(\beta)) = t1$$

(4)

$$DE = DM - CN = (\sin(\beta) - \sin(\alpha)) * l1 = t2 \quad (5)$$

$$CD^2 = t1^2 + t2^2 = t3^2 \quad (6)$$

$$PF^2 = l1^2 - \frac{t3^2}{4} = t4^2 \quad (7)$$

Fie L astfel incat $FL \parallel Ox$ si $FL = FP = t4$

Acum vom calcula coordonatele lui P prin numere complexe.

$$k1 = \cos(\alpha) + \sin(\alpha) * i \quad (8)$$

$$k2 = \cos(2\pi - \beta) + \sin(2\pi - \beta) * i \quad (9)$$

$$z_A = -\frac{l_2}{2} \quad z_B = \frac{l_2}{2} \quad (10)$$

Folosind rotatia lui L fata de F cu $(r + \frac{\pi}{4})$ fiind P
(11)

$$z_P - z_F = (z_L - z_F)(\cos(r + \frac{\pi}{4}) + i * \sin(r + \frac{\pi}{4}))$$

(12)

$$z_L - z_F = t_4 \quad (13)$$

$$r = m(PFL) - \pi/4 = M(DCE) = \arctg(t_2/t_1)$$

(14)

$$z_P = z_P - z_F + z_F = t_4(\cos(r + \frac{\pi}{4}) + i * \sin(r + \frac{\pi}{4})) + \frac{z_C}{2} + \frac{z_D}{2}$$

(15)

$$z_C + z_D = (z_A + (z_{A1} - z_A) * k_1) + (z_B + (z_{B1} - z_B) * k_2)$$

(16)

$$z_P = t_4(\cos(r + \frac{\pi}{4}) + i * \sin(r + \frac{\pi}{4})) + \frac{(z_A + z_B + l_1(k_1 - k_2))}{2}$$

(17)

$$t_4 = \sqrt{l_1^2 - \frac{t_3^2}{4}} = \sqrt{l_1^2 - \frac{t_1^2 + t_2^2}{4}} \quad (18)$$

$$t_4 = \sqrt{l_1^2 - \frac{(l_2 - l_1 * (\cos(\alpha) + \cos(\beta)))^2 + l_1^2 * (\sin(\beta) - \sin(\alpha))^2}{4}}$$

(19)

$$z_P = t_4(\cos(\arctg(\frac{l_1 * (\sin(\beta) - \sin(\alpha))}{l_2 - l_1 * (\cos(\alpha) + \cos(\beta))}) + \frac{\pi}{4}) + i * \sin(r + \frac{\pi}{4})) + \frac{l_1(k_1 - k_2)}{2}$$

(20)

$$\text{Re}(z_P) = x$$

$$= \sqrt{l_1^2 - \frac{l_2 - l_1 * (\cos(\beta) + \cos(\alpha))}{4} + l_1^2 * (\sin(\beta) - \sin(\alpha))^2} * \cos(\arctg(\frac{l_1 * (\sin(\beta) - \sin(\alpha))}{l_2 - l_1 * (\cos(\alpha) + \cos(\beta))}) + \frac{\pi}{4}) + l_1 * \frac{\cos(\alpha) - \cos(2\pi - \beta)}{2}$$

(21)

$$\text{Im}(z_P) = y$$

$$= \sqrt{l_1^2 - \frac{l_2 - l_1 * (\cos(\beta) + \cos(\alpha))}{4} + l_1^2 * (\sin(\beta) - \sin(\alpha))^2} * \sin(\arctg(\frac{l_1 * (\sin(\beta) - \sin(\alpha))}{l_2 - l_1 * (\cos(\alpha) + \cos(\beta))}) + \frac{\pi}{4}) + l_1 * \frac{\sin(\alpha) - \sin(2\pi - \beta)}{2}$$

(7)

5 MODELUL GEOMETRIC INVERS

Cum ne sunt date coordonatele punctului P si stim si coordonatele punctelor A si B vor exista mereu doua puncte C si D si respectiv F si G care vor determina unghiurile α si β , exceptand cazul in care cele doua cercuri cu raza in A si P si latura l_1 sunt tangente si respectiv daca cele doua cercuri cu centru E si P si latura l_1 sunt tangente.

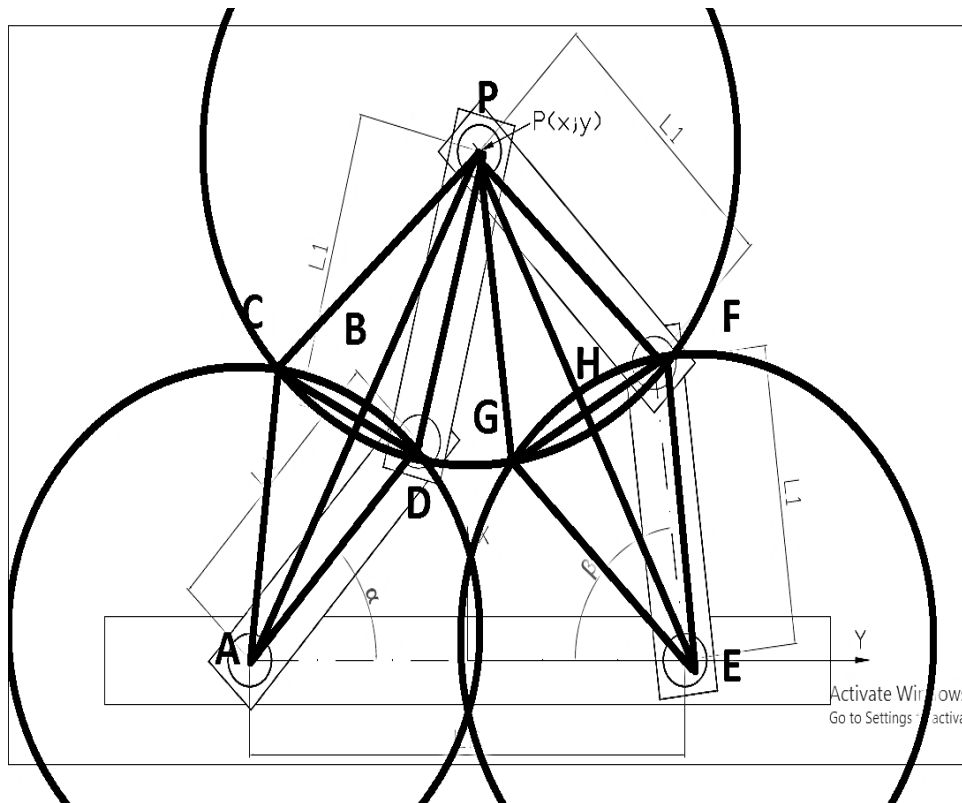


Fig. 2. Modelul geometric invers

Luam mijloacele celor doua laturi AP si EP in B si respectiv H.

Ducem mediatoarele acestora si vom lua C, D, G si F unde ACPD si EGPF sunt romburi.

Pentru a calcula unghiul α vom lua prima oara originea sistemului in punctul A iar coordonatele punctului P vor fi modificate $(x+l2/2; y)$.

ADPC romb, B interectia diagonalelor

$$AP = \sqrt{x^2 + y^2 + x * l2 + \frac{l2^2}{4}} \quad (22)$$

$$m(\angle DAP) = r = m(\angle CAP) = \arccos\left(\frac{AP}{2 * l1}\right) \quad (23)$$

$$q = m(\angle OAB) = \arctg\left(\frac{y}{x + \frac{l2}{2}}\right) \quad (24)$$

$$\alpha = q \pm r \quad (25)$$

$$\alpha = \arctg\left(\frac{y}{x + \frac{l2}{2}}\right) \pm \arccos\left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2 + x * l2 + \frac{l2^2}{4}}}{2 * l1}\right) \quad (26)$$

Pentru a calcula maura unghiului β vom folosi aceeasi metoda de calcul ca la aflarea unghiului α , dar fixam originea in punctul E iar coordonatele punctului vor fi modificate $(x-l2/2; y)$

$$EP = \sqrt{x^2 + y^2 - x * l2 + \frac{l2^2}{4}} \quad (27)$$

$$m(\angle GEP) = m = m(\angle FEP) = \arccos\left(\frac{EP}{2 * l1}\right) \quad (28)$$

$$n = m(\angle OEP) = \arctg\left(\frac{y}{x - \frac{l2}{2}}\right) \quad (29)$$

$$\beta = n \pm m \quad (30)$$

$$\beta = \arctg\left(\frac{y}{x - \frac{l2}{2}}\right) \pm \arccos\left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2 - x * l2 + \frac{l2^2}{4}}}{2 * l1}\right) \quad (31)$$

6 CONCLUZII:

Rezolvarea corecta a modelului geometric invers presupune utilizarea elementelor de geometrie analitica, pe cand rezolvarea modelului geometric direct foloseste notiuni de trigonometrie, geometric clasica si numere complexe. O rezolvare completa a modelului geometric invers ar presupune obtinerea unui set de ecuatii care, pentru o anume pozitie a punctului P sa genereze mai multe solutii (mai multe seturi de valori

posibile pentru α si β). In acest sens, obiectivele viitoare ale lucrarii constau in dezvoltarea modelului geometric invers pana la aducerea sa la o forma ce poate fi implementata in automatul programabil al robotului.

7 MULTUMIRI:

Vreau sa ii multumesc colegei mele de la Colegiul National de Informatica „Tudor Vianu”, Miruna Mitu, pentru suportul acordat in vederea rezolvării modelului geometric invers. De asemenea, as dori sa ii multumesc si domnului sef de lucrari Andrei Mario Ivan care mi-a oferit sansa de a prezenta acest proiect la sesiunea de comunicari stiintifice din cadrul facultatii de Ingineria si Managementul Sistemelor Tehnologice, specializarea Robotica, o oportunitate foarte mare pentru mine.

8 BIBLIOGRAFIE:

- [1] Craig, J.J., *Introduction to Robotics: Mechanics and Control (Third Edition)*, Pearson Education, USA, 2005.
- [2] Nicolescu, A. F., *Roboti Industriali*, Editura Didactica si Pedagogica, Bucuresti, 2005.
- [3] Siciliano, B., Khatib, O., *Handbook of Robotics*, Springer, ISBN: 978-3-540-23957-4, Stanford, 2008.
- [4] Ivan, A., *Cercetari privind optimizarea robotilor industriali pentru prelucrari prin aschiere*, teza de doctorat, Universitatea Politehnica din Bucuresti, 2011
- [5] Dorin, A., Dobrescu, T., *Bazele cinematicii robotilor industriali*, Editura BREN, ISBN 973-9427-02-2, Bucuresti, Romania, 1998
- [6] Campa, R., Camarillo, K., Arias, L., *Kinematic Modeling and Control of Robot Manipulators via Unit Quaternions: Application to a Spherical Wrist*, 45th IEEE Conference on Decision and Control, pag. 6474 - 6479, San Diego, CA, USA, ISBN 1-4244-0171-2, March 2006
- [7] Nof, S. Y., *Handbook of industrial robotics*, John Wiley & Sons, Inc., ISBN 0-471-17783-0, SUA, 1999

REALIZAREA UNUI ROBOT MOBIL PENTRU COMPETITIA FIRST TECH CHALLENGE

CRISTEA George-Viorel¹, IONITA Iris Maria², DUMITRESCU Dragoș³, CONSTANTIN Alexandru⁴, ENE Dragoș⁵, GRIGORE Matei⁶, BUCUR Matei⁷, GALIN Stefan⁸, NEAGU Alexandra⁹, MUSLEDIN Selma¹⁰, CONSTANTIN Mihnea¹¹, EPURE Anda¹², PRICOPE Andrei¹³, CĂLIN Elena¹⁴, PRODESCU Evelyne¹⁵, METEHĂU Luca¹⁶

Conducator stiintific: Ș.l. dr. ing. **Andrei Mario IVAN**

REZUMAT: Concursul international First Tech Challenge a venit cu o provocare anul acesta pentru elevii cu varste intre 15-18 ani. Acestea au avut ca sarcina construirea un robot cu ajutorul pieselor TETRIX care sa indeplineasca cateva sarcini pe un teren special amenajat. Robotii trebuie sa colecteze bilele de pe teren si sa le arunce intr-un vortex central aflat la o inaltime de 120 de cm, sa activeze beacon-urile situate pe peretii terenului (dispozitive ce reprezinta culoarea echipei ce il apasa), sa se parcheze pe rampa centrala, dar si sa ridice o minge cu diametrul de 53 de cm pe vortexul central. Toate aceste sarcini se executa de robot in doua perioade: una autonoma(30 secunde) si una teleghidata (2 minute).

CUVINTE CHEIE: robot mobil, competitie, adunare bile

1 INTRODUCERE

Concursul international First Tech Challenge a venit cu o provocare anul acesta pentru elevii cu varste intre 15-18 ani. Acestia au avut ca sarcina construirea un robot cu ajutorul pieselor TETRIX care sa indeplineasca cateva sarcini pe un teren special amenajat. Robotii trebuie sa colecteze bilele de pe teren si sa le arunce intr-un vortex central aflat la o inaltime de 120 de cm, sa activeze beacon-urile situate pe peretii terenului ,sa se parcheze pe rampa centrala, dar si sa ridice o minge cu diametrul de 53 de cm pe vortexul central. Toate aceste sarcini se executa de robot in doua perioade: una autonoma(30 secunde) si una teleghidata(2 minute). Robotul nu trebuie sa depaseasca volumul unui cub cu latura 45cm, sa contina elemente pneumatice, sau hidraulice.

¹ Specializarea Robotică, Facultatea IMST;

E-mail: cristea.george.viorel@gmail.com;

² Specializarea Robotică, Facultatea IMST;

E-mail: iris_maria2007@yahoo.com;

³ Clasa a X-a, Colegiul National de Informatica „Tudor Vianu”;

E-mail: dragos_du@yahoo.com;

⁴ Clasa a IX-a, Colegiul National de Informatica „Tudor Vianu”;

E-mail: alex.constantin432@gmail.com;

⁵ Clasa a X-a, Colegiul National de Informatica „Tudor Vianu”;

E-mail: ene.dragos21@yahoo.com;

⁶ Clasa a IX-a, Colegiul National de Informatica „Tudor Vianu”;

E-mail: matei.grigore@gmail.com;

⁷ Clasa a IX-a, Colegiul National de Informatica „Tudor Vianu”;

E-mail: bucur.matei@yahoo.com;

⁸ Clasa a IX-a, Colegiul National de Informatica „Tudor Vianu”;

E-mail: dragos_du@yahoo.com;

⁹ Clasa a IX-a, Colegiul National de Informatica „Tudor Vianu”;

E-mail: acalina@gmail.com;

¹⁰ Clasa a IX-a, Colegiul National de Informatica „Tudor Vianu”;

E-mail: musledin@yahoo.com;

¹¹ Clasa a X-a, Colegiul National de Informatica „Tudor Vianu”;

E-mail: ama@ziwa.ro;

¹² Clasa a IX-a, Colegiul National de Informatica „Tudor Vianu”;

E-mail: andaraluca76@yahoo.com;

¹³ Clasa a X-a, Colegiul National de Informatica „Tudor Vianu”;

E-mail: pkandrei5@gmail.com;

¹⁴ Clasa a IX-a, Colegiul National de Informatica „Tudor Vianu”;

E-mail: elenacalin10@yahoo.com;

³ Clasa a X-a, Colegiul National de Informatica „Tudor Vianu”;

E-mail: evelyne.elisa@gmail.com;

³ Clasa a VI-a, Colegiul National de Informatica „Tudor Vianu”;

E-mail: lucamihnea.metehau@yahoo.ro;

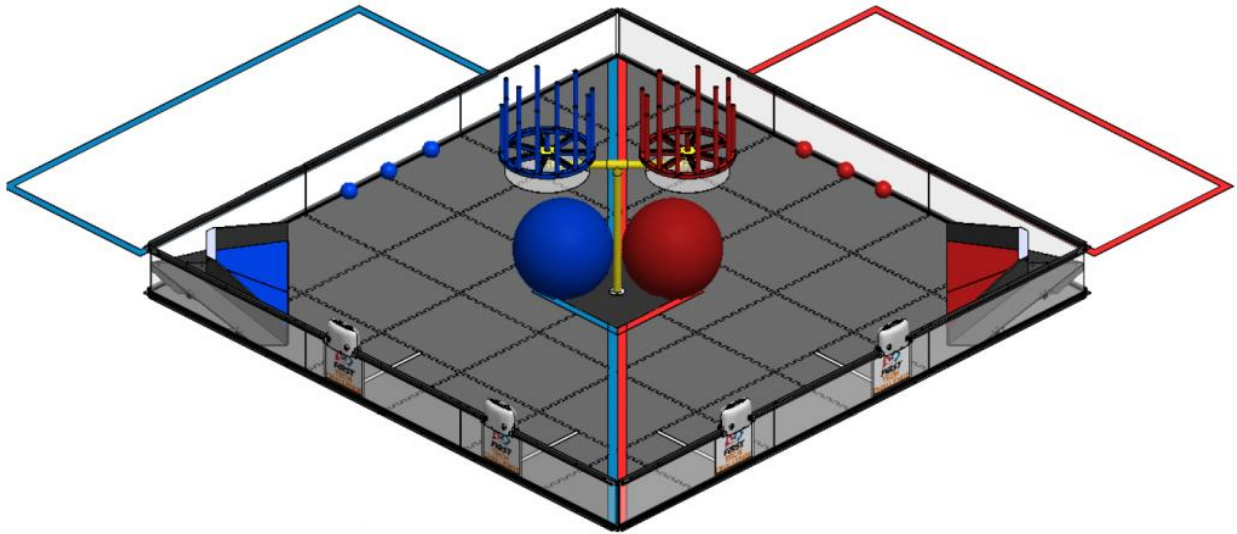


Fig. 1. Terenul competitiei First Tech Challenge

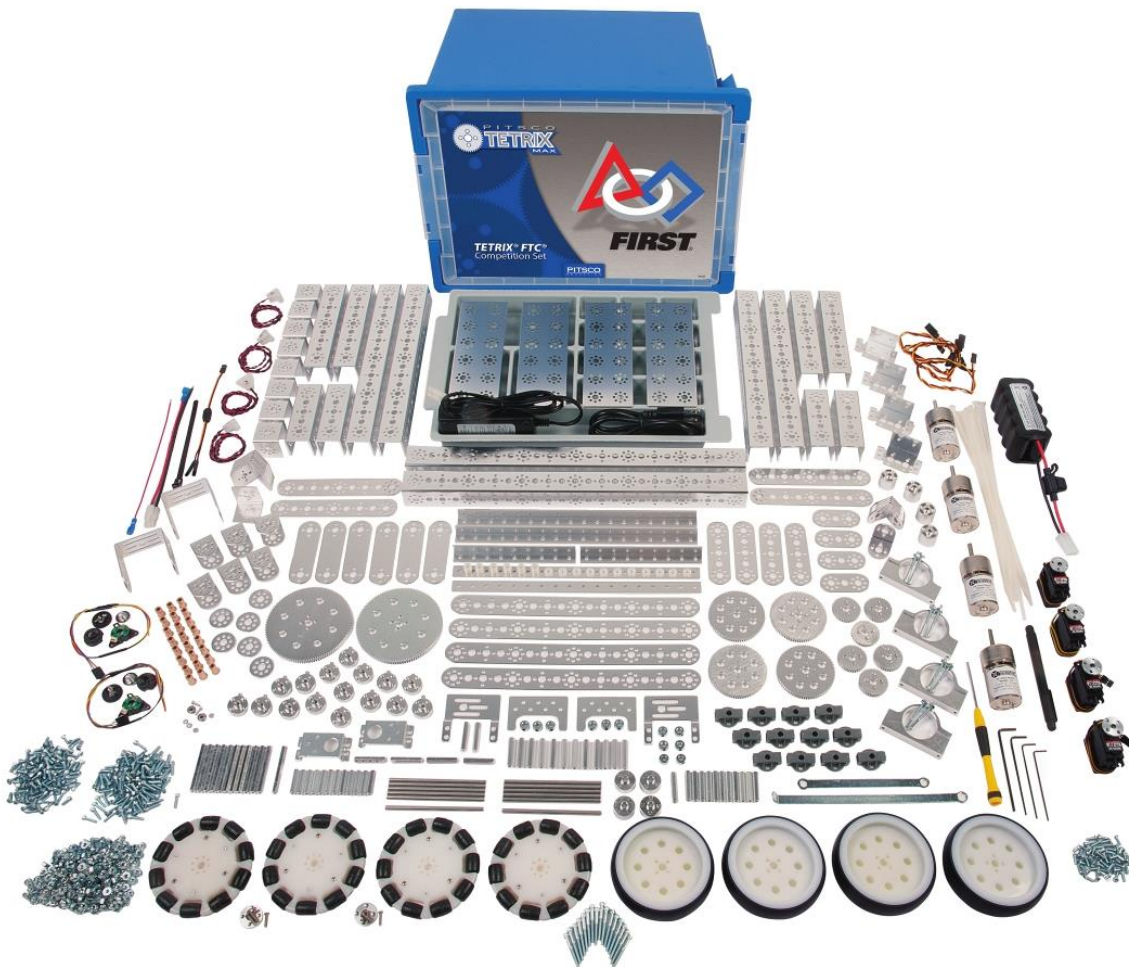


Fig. 2. Kit-ul utilizat pentru realizarea robotului

2 STADIUL ACTUAL

La momentul actual, competitia First Tech Challenge se desfasoara la nivel global. Echipele

castigatoare din fiecare competitie nationala participa la concursul ce desemneaza cea mai buna echipa din lume. In fiecare an, competitia First Tech Challenge propune o alta tematica a concursului. Cei mai multi

roboti nu se limiteaza la a utiliza doar componente ale kit-ului de baza, ci se folosesc si de elemente particularizate, cum ar fi roti omnidirectionale, transmisii prin lant, curele dintate sau componente printate 3D.

3 REALIZAREA ROBOTULUI

Kit-ul utilizat pentru realizarea robotului contine:

- Profile de aluminiu
- Roti omnidirectionale si roti normale
- Roti dintate
- Suruburi, piulite si distantiere
- Baterie, motoare, hub-uri de conectare si cabluri
- unelte

Robotul poate realiza inscrierea bilelor in vortexul central printr-un sistem de colectare a bilelor de pe teren cu ajutorul unui cilindru ce se roteste acesta conducand bilele intr-un tub cu o senila atasata ce ridica bilele pe verticala spre spatiul de lansare. Acestea sunt lansate de un arc comprimat de un motor si tinut sub tensiune de o piedica. La eliberarea acesteia, arcul se comprima iar bila este aruncata la 120-160cm in aer. Bila mare este ridicata de la sol cu ajutorul unui ansamblu de glisiera actionate de un motor cu angrenaj pentru amplificarea cuplului.

Sistemul de adunare a bilelor de pe podea este realizat printr-un element de tip matura, compus dintr-un tub de PVC in care au fost introduse segmente de furtun. Tubul de PVC a fost conectat la un motor pentru a putea fi rotit si astfel, prin intermediul segmentelor de furtun, sa adune bilele si sa le introduca in interiorul robotului.

Aruncarea bilelor catre vortex se face printr-un sistem de tip „pistol” pe baza de arc. Arcul trebuie comprimat pentru a acumula tensiune, si este fixat cu ajutorul unei piedici. Atunci cand piedica este trasa, arcul este eliberat si loveste bila, care este aruncata catre vortex, daca robotul este orientat corect in teren. Pentru ca sistemul de tip „pistol” sa poata arunca bila, aceasta trebuie amplasata la captul unui tub inclinat, care joaca rol de tun de lansare.

Pentru ca bila sa ajunga de la sistemul de colectare la tunul de lansare, este folosit un sistem de ridicare format dintr-o curea dintata pe care au fost montati soriceii. Pentru ca bila sa fie ghidata catre gura tunului de lansare, ridicarea acesteia se face prin interiorul unui alt tub.

4 PROGRAMAREA ROBOTULUI

Robotul este programat in Blockly, un program vizual. Acesta functioneaza cu ajutorul a doua telefoane, unul amplasat pe robot si conectat la acesta actionand ca un sistem de comanda si unul conectat la controlere. Cele doua telefoane comunica prin Wi-fi direct prin intermediul aplicatiei FTC. In perioada autonoma robotul este programat cu un traseu prestabil ce il urmeaza pe teren folosind senzori de culoare, de distanta si un giroscop. In perioada teleghidata, robotul este controlat de doua persoane ce il actioneaza prin intermediul joystick-urilor.

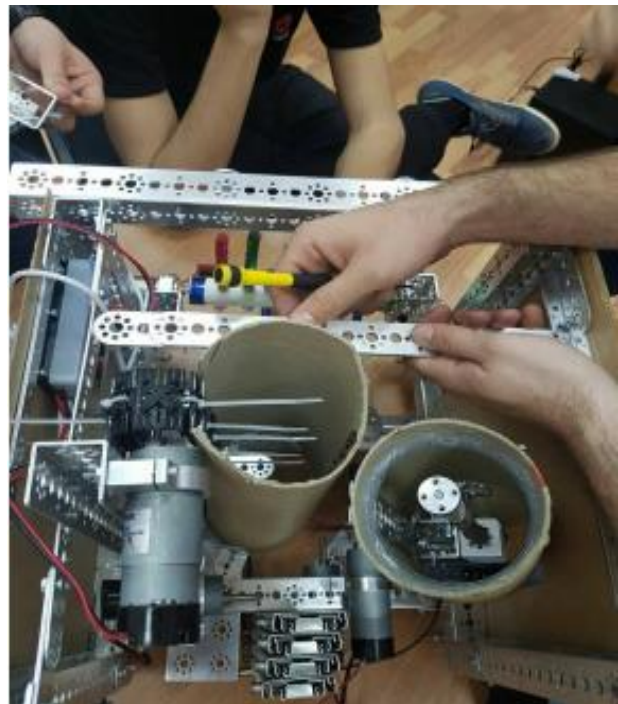


Fig. 3. Sistemul de aruncare a bilelor

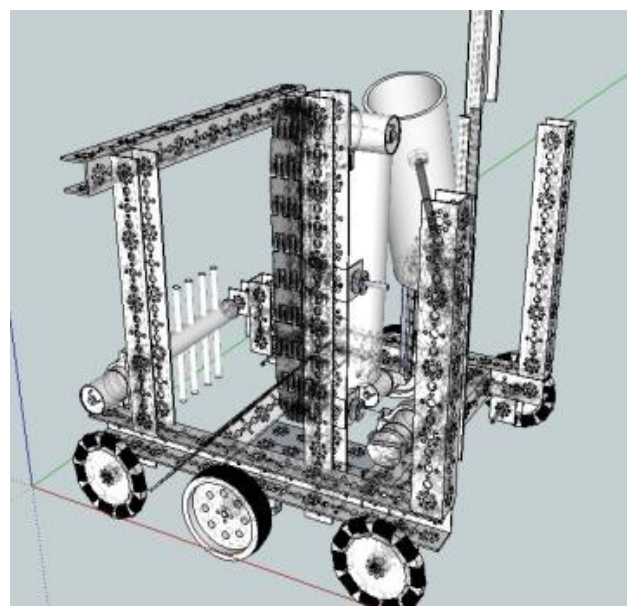


Fig. 4. Modelul 3D al robotului

5 STRUCTURA SI ACTIONAREA ROBOTULUI

Motoarele folosite pe robot sunt fabricate de Andymark, avand 4 tipuri de reductoare: 60:1 cu 105 rpm, 40:1 cu 160 rpm, 20:1 cu 315 rpm si 50:1 152 rpm. Toate motoarele sunt de 12V, curent continuu, fiind alimentate de un acumulator de 12V 3000mAh LiIon.

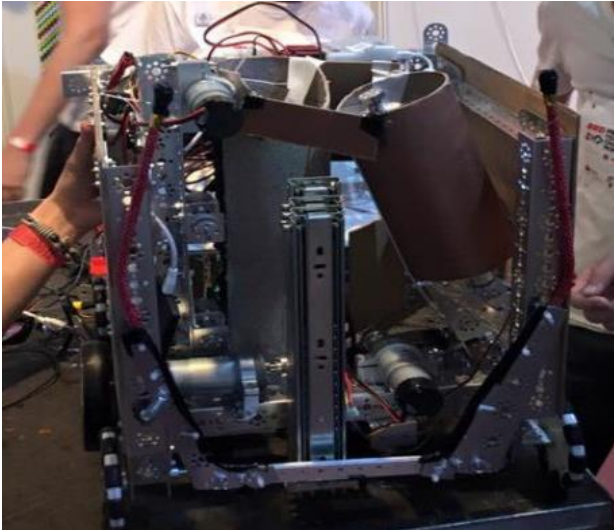


Fig. 5. Sistemul de ridicare a mingei

Robotul a fost modelat initial 3D folosind Sketchup. In schita este reprezentat sasiul si sistem de colectare si inscriere a bilelor. Sasiul robotului contine sase roti, dintre care patru roti omnidirectionale si doua roti normale, actionate de servo-motoare. De asemenea, cadrul robotului este completat de profile pe care au fost montate lateralele din placaj alb si segmente transversale de rigidizare.

6 CONCLUZII

In cadrul acestui proiect a fost realizata dezvoltarea completa a unui robot pentru competitia First Tech Challenge ce poate indeplini toate sarcinile solicitate.

Cea mai dificila sarcina de realizat a fost sistemul de aruncare a bilelor. Au fost incercate mai multe solutii, insa problema principala era de a obtine distanta necesara de aruncare a bilei. De asemenea, dimensiunile si greutatea mingei ce trebuia ridicata pe vortex au reprezentat probleme ce au trebuit depasite.

Pe viitor dorim sa mai participam la concursurile organizate de FTC, dar si sa realizam un robot mai performat din punct de vedere al timpului de executare al sarcinilor.

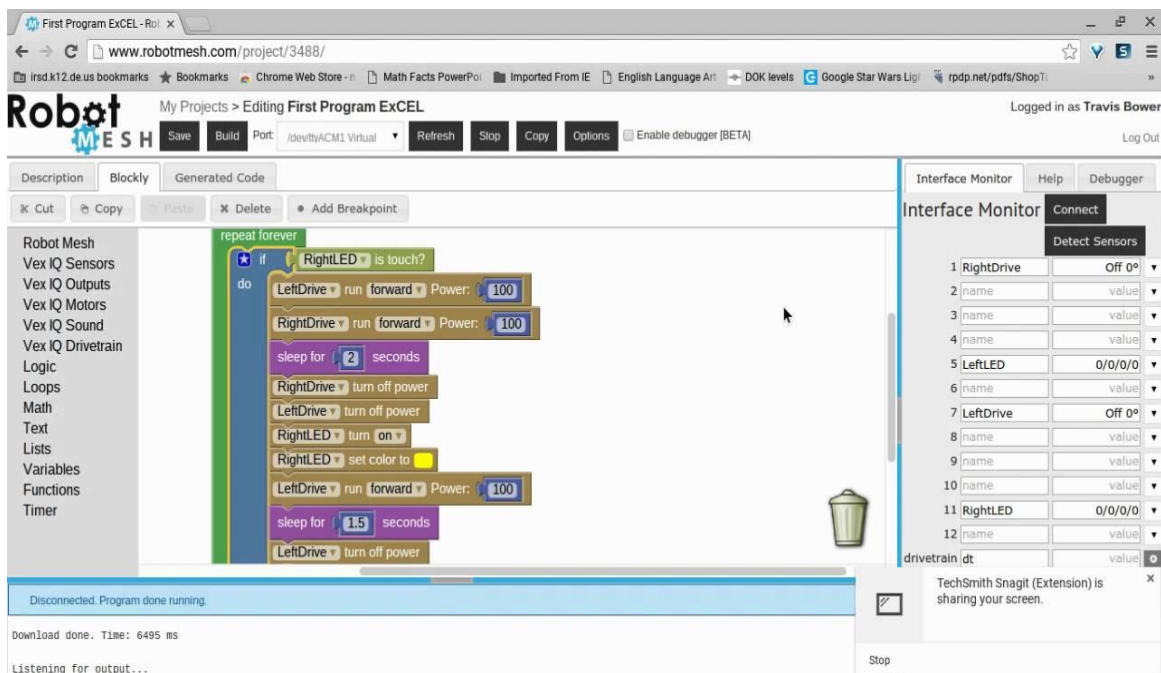


Fig. 6. Programarea robotului

7 BIBLIOGRAFIE

- [1]. <http://www.firstromania.com/> , Accesat la data: 11.02.2017.
- [2]. <https://www.firstinspires.org/robotics/ftc> , Accesat la data: 04.02.2017.
- [3]. <https://www.tetrixrobotics.com/> , Accesat la data: 04.02.2017.

- [4]. <https://www.youtube.com/watch?v=FqhtXVklEzM> , Accesat la data: 08.02.2017.
- [5]. <https://www.youtube.com/watch?v=mbSP4dkfD2g> , Accesat la data: 08.02.2011

STUP INTELIGENT. SISTEME CARE FACILITEAZA DEZVOLTAREA FAMILIEI DE ALBINE SI CRESTEREA PRODUCTIEI DE MIERE

NECȘULESCU Robert Emanuel¹, STANCIU Cornel Răzvan¹

Conducător științific: Prof.Dr.Ing. Adrian Florin NICOLESCU

REZUMAT: Stupul inteligent este un ansamblu de sisteme create special să ușureze muncă apicultorilor, să faciliteze dezvoltarea rapidă a coloniei de albine și să mărească producția de miere. Proiectul „STUP INTELIGENT” este primul proiect care își propune să aducă apicultura la același nivel cu celelalte industrii, acestea fiind automatizate, ușurând astfel munca depusă de către apicultor pentru a obține un produs. De asemenea, proiectul va avea un impact major asupra coloniilor de albine ce urmează să își desfășoare activitatea în cadrul stupului, acestea interacționând cu apicultorul de mult mai puține ori decât într-un stup clasic, astfel reducându-se nivelul de stres pe care acestea trebuie să-l suporte.

CUVINTE CHEIE: apicultură, automatizare, stup inteligent.

1 INTRODUCERE

Navigând pe internet, de-a lungul timpului am observat tot mai multe anunțuri în care se aducea la cunoștință faptul că dispar tot mai multe specii de albine. La un moment dat am luat decizia să ne folosim cunoștințele acumulate în facultate pentru a promova apicultura, astfel sporind interesul față de albine.

¹Specializarea Robotică, Facultatea IMST;

E-mail:

robertemanuel_necsulescu@yahoo.com;

²Specializarea Robotică, Facultatea IMST;

Acum apare întrebarea ce este un stup inteligent ? Un răspuns simplu pentru această întrebare este: „un stup automatizat, proiectat atât pentru a reduce stresul albinelor, cât și stresul apicultorului, dar după realizarea cercetărilor inițiale am descoperit că acesta ajută și la mărirea producției stupului”. Pentru realizarea proiectului, acesta a fost dotat cu un sistem de hrănire, câte 2 cântare pentru fiecare ramă (care detectează greutatea ramelor), un sistem de încidere/deschidere a urdinișului în funcție de temperatura stupului, sau de prezența unui eventual pericol și un sistem de alarmă în cazul deschiderii neautorizate a capacului, toate aceste sisteme fiind conectate la un modul GSM astfel asigurând comunicarea stup-apicultor.

2 STADIUL ACTUAL

Până în momentul actual nu am găsit informații privind un astfel de proiect, sau orice altă inovație, în ceea ce privește automatizarea unui stup, stupii

rămânând la un nivel rudimentar în comparație cu industria din momentul actual.

3 REALIZĂRI

În acest moment proiectul se află încă în stadiul de prototip, existând numai câteva sisteme funcționale, din cele pe care ne-am propus să le implementăm.

Proiectul a demarat cu realizarea modelului virtual al stupului utilizând un mediu software CAD. Prototipul virtual este prezentat în figura 1.

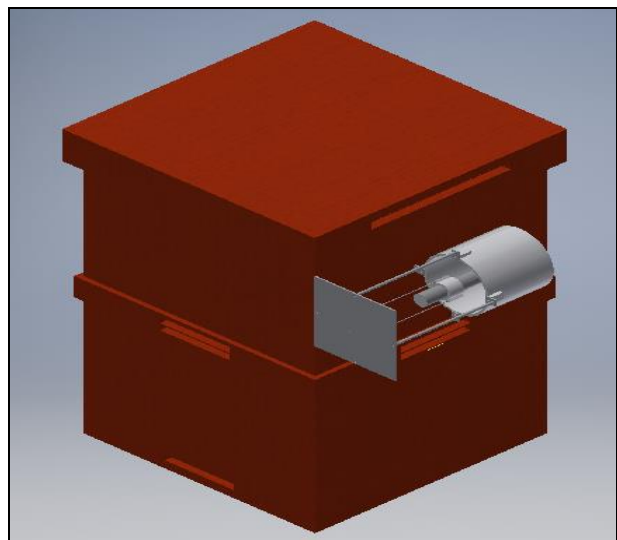


Fig. 1. Modelul virtual al stupului

3.1 Sistemul de Hrănire/Dozatorul

Sistemul de hrănire este complet și funcțional, acesta fiind format din mai multe componente realizate cu ajutorul imprimantei 3D și acționat de un

motor pas-cu-pas. Dozatorul funcționează pe baza unui sistem de tip surub-piuliță, care crează presiune în interiorul cilindrului. La capătul dozatorului se afla două supape de sens, cu ajutorul cărora, lichidul este încărcat în sistemul de hrănire dintr-un rezervor și apoi evacuat, în hrănitul din stup. Sistemul este acționat automat la anumite intervale programate, sau de către apicultor cu ajutorul modulului GSM. Pe lungimea cilindrului se află doi senzori de proximitate cu ajutorul cărora se poate stabili volumul de lichid evacuat în hrănitul stupului.

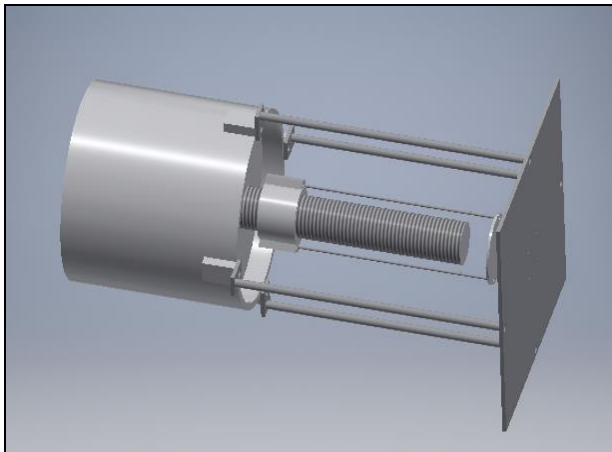


Fig 2. Sistem de Hrănire

3.2 Sistemul de închidere/Deschidere a urdinișului

Acest sistem este similar cu cel de hrănire, componentele fiind realizate și în mod identic. Sistemul este funcțional, fiind cuplat la un senzor de temperatură/umiditate și la unul de sunet, astfel acționând urdinișul cu ajutorul unui mecanism de tip pinion-cremalieră, în cazul în care temperatura este prea mare/mică sau în cazul unui posibil atacator, aceste situații fiind trimise către apicultor cu ajutorul modulului GSM. La capetele urdinișului se află senzori de proximitate care determină dacă urdinișul este închis complet.



Fig 3. Sistem Închidere/Deschidere urdiniș

3.3 Alarma

Alarma este alcătuită din patru butoane / senzori de presiune care în momentul deschiderii capacului vor trimite un semnal către microcontroller, iar acesta va trimite mesaj către modulul GSM, destinația finală fiind telefonul posesorului stupului, acesta fiind anunțat la ce stup a fost activată alarma.

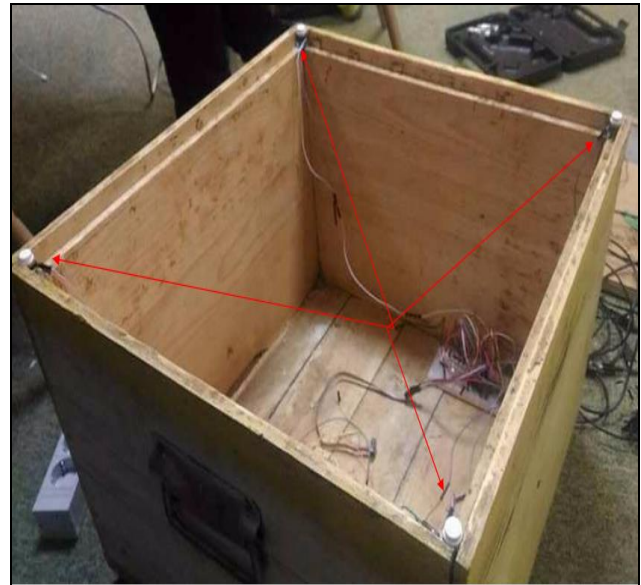


Fig 4. Alarmă

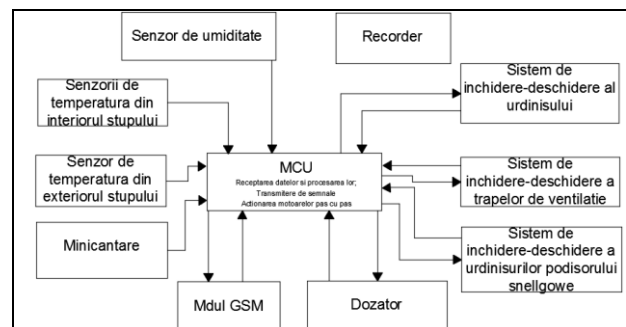


Fig 5. Schema bloc

3.4 Mini-cântarul pentru rame

Mini-cântarul este realizat cu ajutorul unui potențiomtru liniar și al unui resort, suportul acestuia fiind obținut cu ajutorul imprimantei 3D. Scopul mini-cântarului este de a-l informa pe apicultor în legătură cu greutatea ramelor, moment în care acesta poate sa recolteze mierea. De asemenea cu ajutorul mini-cântarelor, putem determina dacă în stup se mai află rame goale gata să fie umplute de albine.

3.5 Alimentarea

Fiind amplasați în mijlocul naturii, stupii nu dispun de o sursă convențională de energie, din acest motiv alimentarea stupilor inteligenți este realizată cu ajutorul unei celule solare. Energia în exces este stocată într-un acumulator pentru a menține stupul în funcțiune atât ziua cât și noaptea, dar și în momentele în care din diverse motive celula solară nu poate produce energie.

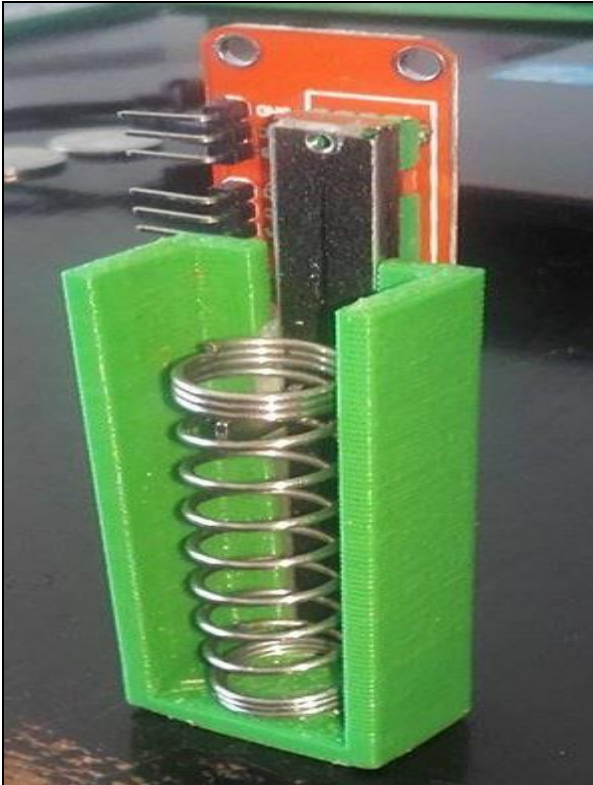


Fig 6. Mini-Cantar pentru rame



Fig 7. Panou Solar

4 ACTIVITĂȚI ÎNDEPLINITE CU SMART HIVE

4.1 Supravegherea stupului

Una din cele mai importante activități ale stuparului este aceea de supraveghere a stupilor. Majoritatea lucrărilor din prisacă se leagă de această activitate, deoarece în funcție de ceea ce se observă apicultorul este nevoit să ia decizii și să acționeze. Vă vom prezenta zonele de interes în care stupul inteligent este foarte util atât pentru prisăcar cât și coloniei în șine:

4.1.1 Determinarea puterii coloniei de albine

care se măsoară în numărul de albine din interiorul unui stup. Metoda tradițională pentru a determina această caracteristică este de a număra rame cu larve (albinele aflate în stadiul de dezvoltare) din stup și de a observa cu ochiul liber dacă aceste rame sunt acoperite îndeajuns cu albine doici. Această metodă cauzează un stres enorm coloniei de albine și răcește ramele cu puiet, riscând ca acesta să fie afectat atunci când temperatura de afară este scăzută. De asemenea există riscul de a orfaniza coloni datorită căderii accidentale de pe rama aflată în observație, a mătcii,

Cu ajutorul stupului inteligent ne putem da seama în legătură cu puterea coloniei de albine cu ajutorul senzorului de temperatură, recorderului și al minicantarelor de pe fiecare ramă, astfel eliminând aceste riscuri. Cu ajutorul minicantarului și al senzorilor de temperatură ne putem da seama ușor unde se află localizat cuibul în interiorul stupului și pe câte rame este întins. În funcție de temperatura de pe fiecare ramă ne putem da seama dacă există îndeajuns de multă albină acoperitoare (doici) astfel încât stupul să fie considerat puternic, mediu sau slab. Totodată, prin ciocanirea ușoară în peretele frontal al stupului ne putem da seama de puterea acestuia după intensitatea bazaitului înregistrată de recorder.

4.1.2 Determinarea prezenței mătcii

Actualmente absența mătcii se determină prin lipsa ramelor pline cu ouă și prezența botcilor (celulă în care crește matcă). Cu ajutorul sistemelor pe care le avem acum, putem determina locația și mărimea cuibului coloniei, însă nu avem nici un sistem care să detecteze absența mătcii imediat după ce aceasta dispăre din stup.

Presupunem că după ce matca lipsește, stupul dă anumite semnale audio de o frecvență și amplitudine diferite față de semnalele date atunci când stupul are matcă. Ne propunem să realizăm cercetări pentru a determina dacă putem stabili prezența sau absența mătcii după acest parametru.

4.1.3 Alerta de roire

Prin același principiu menționat anterior vrem să determinăm dacă un stup se află în perioadă de roire.

4.1.4 Hrănirea de stimulare și administrarea de tratamente naturale sau medicamentoase

În perioada de primăvară apicultorul trebuie să facă hrăniri succesive de stimulare pentru a împuternici stupul pentru marile culesuri. Aceste hrăniri se fac la 2 zile cu o cantitate fixă pentru ca albinele să nu transforme hrană de stimulare în

miere și să o bage în faguri, astfel afectând calitatea mierii. Această activitate necesită multă muncă și timp din partea apicultorului. Cu ajutorul stupului inteligent, apicultorul își ușurează munca, această sarcină fiind preluată de stup. Dozatorul se poate folosi cu succes și în administrarea de tratamente naturale și medicamentoase datorită posibilității de a regla volumul de lichid și timpul la care acesta se administrează.

4.1.5 Folosirea stupului inteligent pentru producții mari de miere.

Folosind metoda marilor apicultori cum ar fi C. L. Farrar sau Leonard E. Snelgrove se pot obține mari producții de miere prin mărirea numărului de albine culegătoare dintr-un stup. Această metodă se practică la coloniile cu două măci și constă în deschiderea și închiderea urdinisurilor din podisorul snelgrove într-o anumită ordine și la un anumit timp. Această lucrare se poate face cu ajutorul stupului inteligent prin acționarea motoarelor care închid și deschid urdinisurile acestui podișor. Ordinea de deschidere și timpul dintre aceste acționari se găsește în programul microcontrolerului și va putea fi selectată din aplicația android, sau prin apăsarea unui buton care declanșează acest mod.

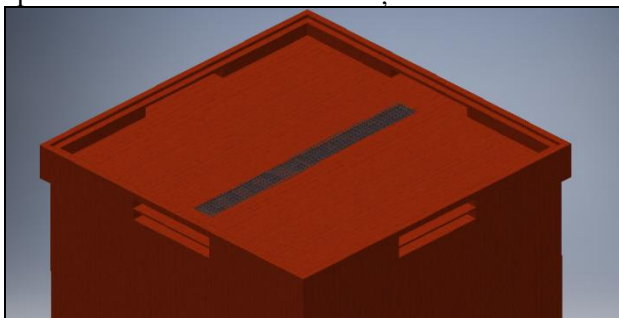


Fig 8. Podișor Snelgrove

5 MOBILE APP

Pentru a folosi modulul GSM la capacitate maximă, ne-am gândit că acesta poate să funcționeze atât ca transmițător cât și ca receptor. Din acest motiv vom crea o aplicație cu ajutorul căreia apicultorul va avea control total asupra stupului prin trimiterea unor mesaje prestabilite.

Pentru a nu afecta familia de albine, modulul GSM trebuie amplasat la o distanță cel puțin egală cu raza de acționare a acestuia. Acționarea GSMului se face cu ajutorul firelor, acesta fiind legat direc la microcontroller.

6 CONCLUZII

În urma cercetărilor noastre, am descoperit că proiectul „Stup Inteligent” este primul stup automatizat. În perioada următoare vom efectua testele propriu-zise prin studierea comportamentului

unei colonii de albine ce urmează să își desfășoare activitatea în stupul prototip, astfel obținându-se date pentru sistemul de închidere/deschidere, cantitatea de hrană necesară și productivitatea coloniei din stupul prototip în comparație cu o colonie dintr-un stup clasic. De asemenea prin intermediul cercetării semnalelor audio date de albine ne putem da seama dacă stupul se află în perioada de roit sau nu, dacă stupul are lipsă de hrană sau de apă, dacă stupul este atacat de către diferiți atacatori cum ar fi viespiile sau prigoariile și diferite alte informații deosebit de importante pentru un apicultor.

7 MULȚUMIRI

Am vrea să le mulțumim lui Sorin și Mariei „Mya” Țărmure co-fondatorii Small Academy pentru ajutorul acordat și sprijinul acordat pe toată perioada proiectului.

8 BIBLIOGRAFIE

[1.] Const. I. Hristea, An 1976, Stuparitul Nou, Editura Asociația Crescătorilor De Albine Din Republica Socialistă România, București

ANALIZA ASISTATĂ ÎN REGIM STATIC ȘI TRANZITORIU A UNUI MOTOR CU ARDERE INTERNĂ

PĂTRU Andrei-Gabriel

Conducător științific: Prof. dr. ing. Cristina PUPĂZĂ

REZUMAT: Lucrarea prezintă metodologia și rezultatele unui studiu cinematic al unui motor cu ardere internă folosind programul ANSYS 16.1. Modulele folosite sunt: Rigid Dynamics pentru analiza cinematică și Transient Structural pentru verificările de rezistență (dinamica arborelui cotit, bielei, pistoanelor, deformațiile și tensiunile în timpul funcționării).

CUVINTE CHEIE: cinematică, dinamică, tranzitoriu, motor, ANSYS.

1 INTRODUCERE

Analiza cinematică în ANSYS (modulul Rigid Dynamics) este folosită pentru stabilirea solicitărilor în cuplele cinematice. Este o analiză recomandată pentru roboți, precede orice analiză statică sau dinamică și dispune de un solver dedicat: ANSYS Rigid Dynamics solver. Deoarece în industrie acest tip de analiză se face cu programul ADAMS, ANSYS are funcționalități extinse pentru conexiunea cu acest program [1].

Analiza tranzitorie (Transient analysis) determină răspunsul dinamic al structurii la o forță variabilă în timp (răspuns în timp). Rezultatele sunt: deplasări, deformații specifice, tensiuni – toate variabile în timp. Se observă evoluția mărimilor de răspuns pe durata funcționării, durata pe care se face simularea [1].

Motorul cu ardere internă a fost asamblat cu ajutorul unei celule robotizate de asamblare/montaj integrând roboți industriali de tip braț articulat.

Celula robotizată a fost modelată și asamblată în programul Siemens NX 11.0.

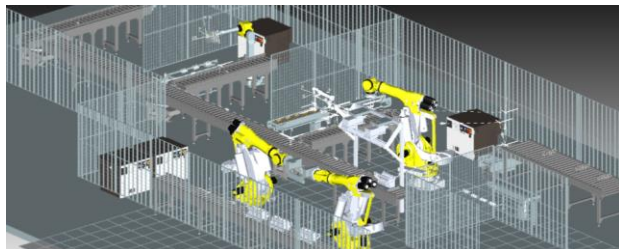


Fig. 1. Ansamblul celulei robotizate

Simularea virtuală a celulei a fost realizată în programul Tecnomatix Process Simulate 12/RobotExpert 13.0.

2 STADIUL ACTUAL

Utilizând programul ANSYS s-a realizat analiza cinematică statică și tranzitorie a unui motor cu ardere internă.

Toate calculele au fost realizate pe un laptop, neavând la dispoziție o stație grafică sau posibilitatea de procesare paralelă.

Datorită duratei mari de rezolvare a programului (peste 15 ore) s-au introdus viteze și timpi relativi mici, dar pe viitor se va încerca analiza motorului la parametrii mai mari.

S-a obținut variația tensiunilor și a deformațiilor în timpul funcționării motorului, solicitările maxime apărute fiind detectate la contactul dintre arborele cotit și bielă.

¹ Specializarea Robotică Industrială, Facultatea IMST;
E-mail: patrugabriel94@gmail.com;

3 ALTE CERCETĂRI REFERITOARE LA MOTOARELE CU ARDERE INTERNĂ

Cu toate că există pe web animații și studii de cinematică și simulări prin metoda elementelor finite [2], [3], [4], acestea nu conțin indicații privind modul de rezolvare, au discretizări grosiere și rezultate discutabile privind calitatea și valorile obținute.

Inginerii de la ExpertFEA [4] au realizat o analiză în regim tranzitoriu a unui motor cu ardere internă, dar nu furnizează informațiile privind rezolvarea și rezultatele nu sunt conform așteptărilor proiectantului.

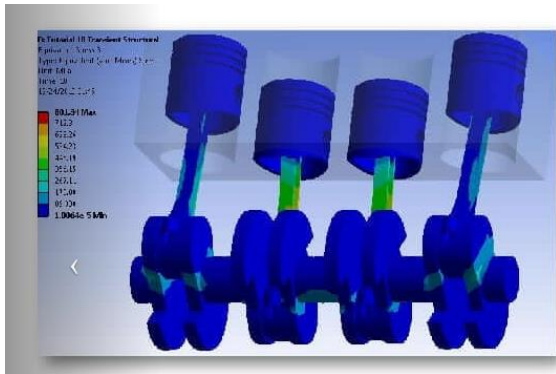


Fig. 1. Rezultate tensiuni echivalente [2]

Deformațiile totale și tensiunile echivalente cele mai mari au apărut la nivelul bielei, acestea fiind de maxim 1,3 mm și respectiv 800 MPa.

4 ANALIZA CINEMATICĂ A MOTORULUI CU ARDERE INTERNĂ

4.1 Etapele analizei

Analiza cinematică în ANSYS (modulul Rigid Dynamics) este folosită pentru stabilirea solicitărilor în cuplurile cinematice [5]. Este o analiză recomandată pentru roboți, precede orice analiză statică sau dinamică și dispune de un solver dedicat: ANSYS Rigid Dynamics solver. Deoarece în industrie acest tip de analiză se face cu programul ADAMS, ANSYS are funcționalități extinse pentru conexiunea cu acest program. Datele de intrare în analiză sunt: forțe, momente, deplasări, viteze și accelerații. Toate componentele ansamblului sunt considerate rigide, iar programul nu calculează tensiuni sau deformații, ci numai forțe, momente, deplasări, viteze și accelerații - ca rezultate. Programul incrementează automat timpul, făcând calculele iterativ [5]. Acest tip de analiză dispune de o documentație extinsă, în manualul dedicat: Multibody Analysis Guide, din ANSYS Help. Pentru analiza cinematică legătura dintre componente se realizează prin cupluri cinematice. În primul rând modelul motorului este importat din programul de proiectare asistată de calculator, Siemens NX. În modulul de analiză cinematică fiecare corp trebuie să fie definit ca și "rigid" [5].

În modulul de analiză cinematică gradele de libertate sunt deplasările relative din cuplurile cinematice. Atunci când se citește geometria, programul creează automat sisteme de referință locale, în centrul de greutate pentru fiecare piesă (Inertial Coordinate System) [5]. De asemenea, fiecărei cupluri cinematice i se asociază un sistem de referință propriu, în centrul cuplei - Reference Coordinate System.

Definirea cuplurilor cinematice prin selectarea suprafețelor care formează cuplurile se face foarte ușor folosind modul de vizualizare Body-View [5].

În ANSYS se poate defini orice cuplă cinematică între componente (Body-Body), precum și o legătură specială de rezemare, de tip Body-Ground. Fiecare cuplă cinematică poate fi caracterizată prin rigiditatea de răsucire și/sau coeficientul de amortizare. În figura de jos este exemplificată definirea unei cupluri de rotație [5]. Programul constrânge automat gradele de libertate necesare pentru funcționarea cuplei.

La definirea cuplurilor cinematice trebuie precizate [5]:

1. Suprafețele de pe cele două corpuri care formează cupla: Reference> Scope și Mobile>Scope
2. Tipul legăturii: Fixă, Rotație, Translație, Ghidaj, Cilindrică, Universală, Sferică, Plană, Generală, Bucșă
3. Orientarea sistemului de axe al cuplei
4. Poziția inițială a pieselor (dacă este cazul)
5. Întreruperi sau blocarea mișcării - dacă este cazul.

Pentru modelul motorului s-au definit cupluri (Body-to-Body) de revoluție sau cilindrice, cupluri (Fix-to-Body) de revoluție și cupluri fixe. După definirea tuturor componentelor ca fiind rigide se definesc cuplurile.

Definirea încărcărilor pe motor:

Încărcările acceptate pentru analiza cinematică sunt: accelerații, forțe și deplasări, încărcări specifice cuplurilor considerate, sau, mai general, ecuații impuse pentru funcționarea ansamblurilor cu o geometrie mai deosebită [5]. În figura 2 sunt reprezentate încărcările de tip viteze unghiulare pentru motor. La fel ca și încărcările, restricțiile impuse pot fi de același tip, adică viteze, deplasări, accelerații, forțe, momente sau ecuații de constrângere.

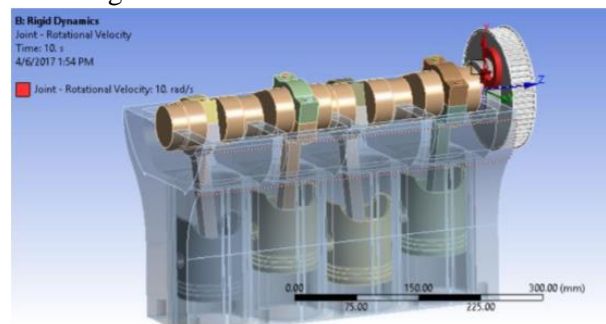


Fig. 2. Încărcări pe motor

Rezultatele analizei cinematice sunt: deplasările totale sau după o direcție specificată, poziția momentană a unei componente, viteze, accelerații, energia totală în sistem în timpul simulării, sau forțele și momentele în cuplele cinematice pe toată durata simulării [5].

4.2 Rezultate

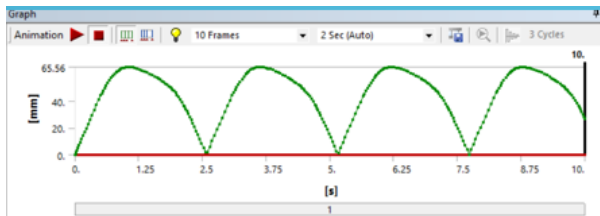


Fig. 3. Graficul deplasărilor totale

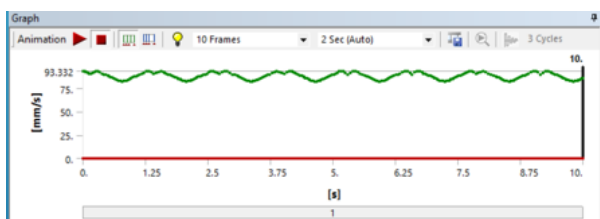


Fig. 4. Graficul vitezei

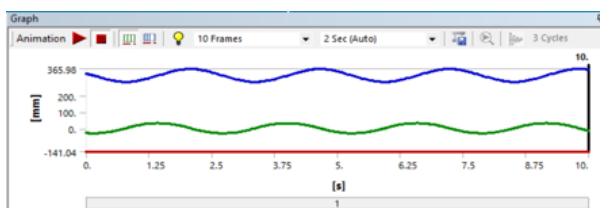


Fig. 5. Graficul poziției bielei

S-au inclus în lucrare graficele deplasărilor totale, vitezei și pozițiilor unei bielei în timpul funcționării motorului.

5 ANALIZA ÎN REGIM TRANZITORIU

În următoarea etapă s-a analizat comportarea motorului, acesta fiind considerat flexibil. De asemenea, toate celelalte componente: arborele, biela, pistoanele au fost considerate flexibile.

Analiza tranzitorie (Transient analysis) determină răspunsul dinamic al structurii la o forță variabilă în timp (răspuns în timp) [5]. Rezultatele sunt: deplasări, deformații specifice, tensiuni – toate variabile în timp. Se observă evoluția mărimilor de răspuns pe durata funcționării, durată pe care se face simularea.

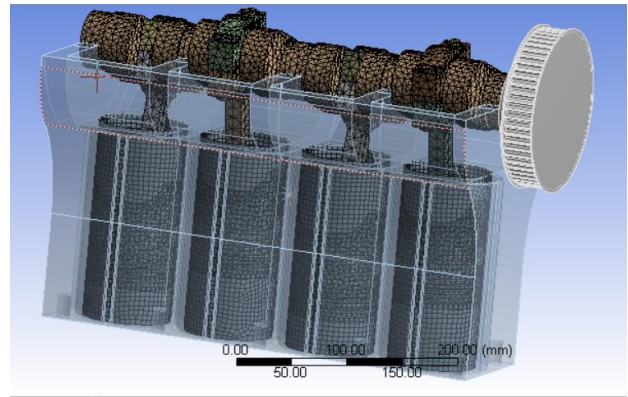


Fig. 6. Discretizare cu elemente de 5 mm

Cuplele cinematice sunt definite cu forțele și momentele calculate în analiza cinematică - rigid dynamics. Rezultatele procesate au fost deformațiile totale și tensiunile echivalente, marimile care interesează direct [5].

Datorită complexității structurii, solver-ul programului calculează un timp considerabil (peste 15 ore) pentru a putea ajunge la convergența rezultatelor.

Pentru o viteză de 10 rad/sec a arborelui cotit s-au obținut următoarele rezultate:

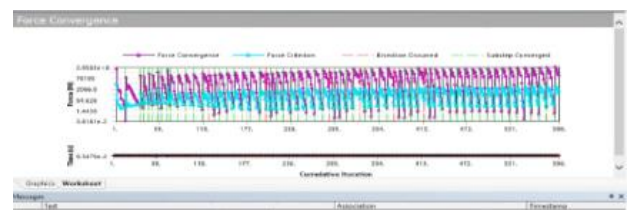


Fig. 7. Rezolvarea - 580 de iterații

Rezultate

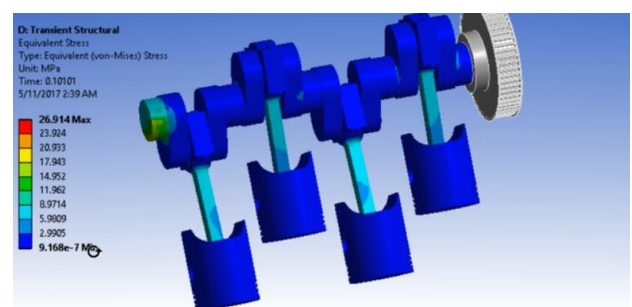


Fig. 8. Tensiuni echivalente.

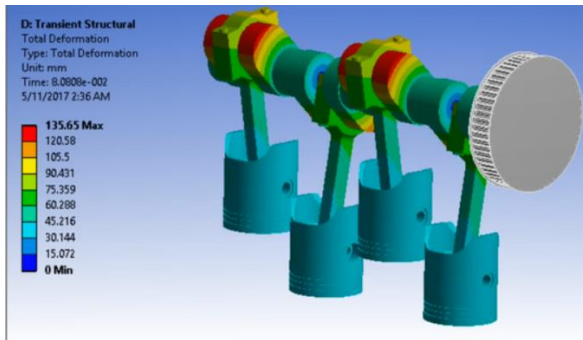


Fig. 9. Rezultate deplasări.

S-a obținut variația tensiunilor și a deformațiilor în timpul funcționării motorului.

Solicitările maxime apărute au fost detectate la contactul dintre arborele cotit și bielă.

Tensiunile echivalente (Maxim 26 MPa) și deformațiile totale maxime (Maxim 150 mm) apar la nivelul arborelui cotit, în punctul de contact cu bielă.

6 CONCLUZII

- ▶ Utilizând programul ANSYS s-a realizat analiza cinematică statică și tranzitorie a unui motor cu ardere internă folosind modulul de analiză cinematică Rigid Dynamics. S-au stabilit solicitările în cuplele cinematice și s-a realizat analiza în regim tranzitoriu - Transient Structural .
- ▶ S-a obținut variația tensiunilor și a deformațiilor în timpul funcționării motorului.
- ▶ Solicitățile maxime apărute au fost detectate la contactul dintre arborele cotit și bielă.
- ▶ Toate calculele au fost realizate pe un LAPTOP, neavând la dispoziție o stație grafică sau posibilitatea de procesare paralelă.
- ▶ Datorită duratei mari de rezolvare (peste 15 ore) s-au introdus viteze și timpi relativi mici iar pe viitor se va încerca analiza motorului la parametri mai mari.

7 MULȚUMIRI

Mulțumiri doamnei Prof. Dr. Ing. Cristina PUPĂZĂ pentru coordonarea în realizarea acestei lucrări.

8 BIBLIOGRAFIE

- [1]. Pupăză, C, Curs “Ingineria asistată de calculator 1”, anul universitar 2016-2017
- [2]. ANSYS Inc, Finite Element Analysis of a 4-Cylinder Engine, disponibil la:
https://www.youtube.com/watch?v=ICtB_duoWf0
Accesat la data: 18.04.2017
- [3]. ANSYS Workbench, Tutorials, disponibil la:
<http://expertfea.com/tutorial18.html>
Accesat la data:18.04.2017
- [4]. ExpertFEA, disponibila la:
<http://expertfea.com/>
Accesat la data: 18.04.2017
- [5]. Pupăză, C., Curs “Ingineria asistată de calculator 2”, 2016-2017

SINCRONIZAREA SIMULĂRILOR DE DINAMICA SOLIDULUI RIGID CU ANALIZĂ STATICĂ ȘI ÎN REGIM TRANZITORIU PENTRU STRUCTURI DE ROBOȚI

BOȚU Claudiu George¹, FRANGU Vlad² și TURCU Teodor³

Conducător științific: Prof. dr. ing. **Cristina PUPĂZĂ**, Prof. dr. ing. **Adrian NICOLESCU**

Robotul industrial reprezintă un sistem fizic, programabil, ce este capabil să realizeze diferite operații și secvențe de operații de manipulare a unor scule, piese sau subansamble.

Pentru a proiecta un robot industrial cu sarcină portantă mare, trebuie testată și evaluată structura de ansamblu. Procedura de testare și evaluare poate fi urmată după ce configurarea componentelor a fost realizată din analiza cinematică și dinamică a structurii robotizate.

Acest material prezintă metodologia și rezultatele unui studiu cinematic, static, și tranzitoriu a trei roboți cu 6 grade de libertate de rotație, cu programul ANSYS 16.1, folosind interfața grafică Workbench. Modulele folosite sunt: Rigid Dynamics pentru analiza cinematică, Transient Structural pentru analiza tranzitorie și Static Structural pentru analiza statică.

CUVINTE CHEIE: robot industrial, analiza, cinematica, tranzitorie, statica

1 INTRODUCERE

Analiza cinematică în ANSYS (modulul Rigid Dynamics) este folosită pentru stabilirea solicitărilor în cuplurile cinematice. Este o analiză recomandată pentru roboți, precede orice analiză statică sau dinamică și dispune de un solver dedicat: ANSYS Rigid Dynamics solver. Deoarece în industrie acest tip de analiză se face cu programul ADAMS, ANSYS are funcționalități extinse pentru conexiunea cu acest program.

Analiza tranzitorie este răspunsul dinamic al structurii la o forță variabilă în timp (răspuns în timp). Pentru acest tip de analiză este important efectul inerției și al amortizării.

Structurile de roboți pe care s-a lucrat sunt următoarele : ABB IRB 6620, ABB IRB 7600 340/2.8, KUKA KR 16-3.

Tabelul 1. Specificații tehnice roboți

Model Robot	ABB IRB 6620	ABB IRB 7600 340/2.8	KUKA KR 16-3
Sarcina portantă maxima	150 [kg]	340 [kg]	16 [kg]
Dimensiune spatiu de lucru	2.2 [m]	2.8 [m]	1.6
Repetabilitate	0.03 [mm]	0.12 [mm]	±0.05 [mm]
Nr. Axe	6	6	6
Greutate RI	900 [kg]	2425 [kg]	235 [kg]
Viteza de deplasare maxima			
Axa 1	100 %/s	75 %/s	156 %/s
Axa 2	90 %/s	60 %/s	156 %/s
Axa 3	90 %/s	60 %/s	156 %/s
Axa 4	150 %/s	100 %/s	330 %/s

Axa 5	120 %/s	100 %/s	330 %/s
Axa 6	190 %/s	160 %/s	615 %/s
Limitele de deplasare pe fiecare axa			
Axa 1	+170 ° / - 170 °	+180 ° / - 180 °	±145 °
Axa 2	+140 ° / -65 °	+85 ° / -60 °	+35 ° / - 155 °
Axa 3	+70 ° / - 180 °	+60 ° / - 180 °	+154 ° / - 130 °
Axa 4	+300 ° / - 300 °	+300 ° / - 300 °	±350 °
Axa 5	+130 ° / - 130 °	+100 ° / - 100 °	±130 °
Axa 6	+300 ° / - 300 °	+360 ° / - 360 °	±350 °

În continuare este prezentat spațiul de lucru pentru fiecare robot în parte.

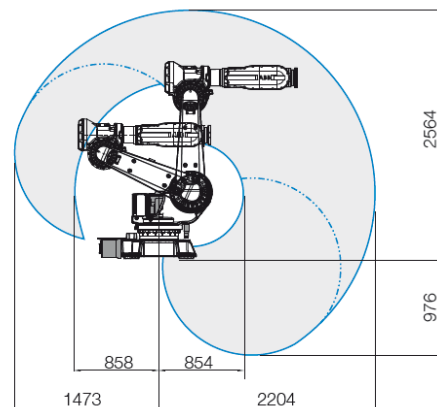


Fig.1. Spațiul de lucru ABB IRB 6620

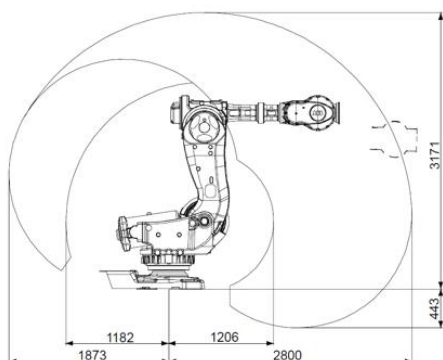


Fig.2.Spațiu de lucru ABB IRB 7600 340/2.8

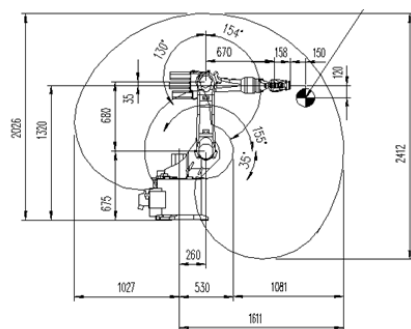


Fig.3.Spațiu de lucru KUKA KR 16-3

2 STADIUL ACTUAL

Până în prezent s-a realizat analiza cinematică completă a celor trei roboți. Deoarece nu am putut importa ciclograma de mișcare din programul CATIA V5 am fost nevoiți să realizăm diagrama în programul ANSYS Workbench V16.1. În ceea ce privește analiza tranzitorie s-a realizat mișcarea pentru o anumită secvență. De asemenea la robotul ABB IRB 7600 340/2.8 s-a realizat o analiză static structurală pentru baza acestuia în scopul verificării rezistenței acestuia.

¹ Specializarea Robotică, Facultatea IMST;

² Specializarea Robotică, Facultatea IMST;

³ Specializarea Robotică, Facultatea IMST;

E-mail: teodor.turcu94@gmail.com;

2.1 DINAMICA SOLIDULUI RIGID

Rigid body dynamics (RBD) reprezintă studiul deplasării ansamblurilor în timpul funcționării, considerând toate componentele rigide. Toate restricțiile sunt definite în cuplurile cinematice, în care se blochează automat deplasările și rotațiile pe anumite axe. Fiecare cuplă cinematică asigură legătura dintre două componente. Cuplurile

cinematice sunt caracterizate de deplasările relative pe care le permit corpurilor pe care le conectează. Astfel, necunoscutele primare într-o analiză RBD sunt translațiile și rotațiile centrelor de greutate ale componentelor rigide și deplasările în cuplurile cinematice. Alte mărimi care se calculează în analiza RBD sunt forțele care se dezvoltă în cuple și se transmit între componente, spre deosebire de analiza structurală, unde se calculează deformațiile specifice și tensiunile.

Metoda Runge-Kutta este o procedură iterativă, aproximativă pentru rezolvarea numerică a ecuațiilor diferențiale. Metoda este precisă și se folosește pentru multe probleme practice. Aproximarea este mai bună decât cea oferită de metoda Euler. Ideea metodei este ca pentru rezolvare (găsirea soluției) să se aproximeze panta secantei, de la un increment de timp la altul. Panta secantei este aproximată ca media ponderată a tangențelor calculate pentru diferite puncte din incrementul de timp considerat, folosind aproximări succesive, cu precizie din ce în ce mai bună.

2.1.1 Importul geometriei și selectarea analizei „Rigid Dynamics”

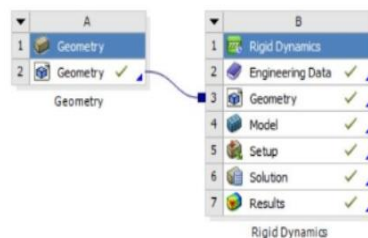


Fig.4.Alegere analiză

2.1.2 Definirea cuplurilor de rotație

S-a utilizat comanda “Body-Ground” pentru a fixa baza robotului de sol și comanda “Revolute” pentru cele 6 cupluri de rotație.

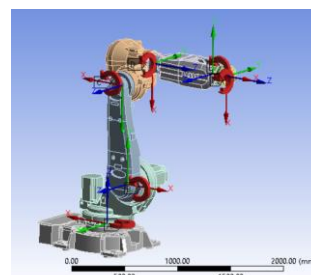


Fig.5.Definire Cuple - Robot ABB IRB 6620

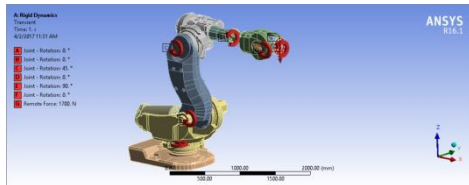


Fig.6.Definire Cuple - Robot 7600 340/2.8

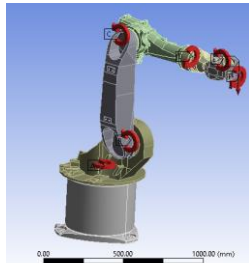


Fig.7.Definire Cuple - Robot KUKA KR 16-3

2.1.3 Realizarea ciclogramei de funcționare pentru fiecare cuplă

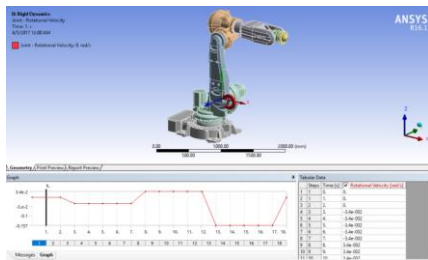


Fig.8.Ciclograma de funcționare - Robot ABB IRB 6620

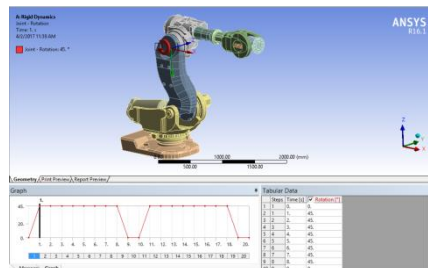


Fig.9. Ciclograma de funcționare - Robot 7600 340/2.8

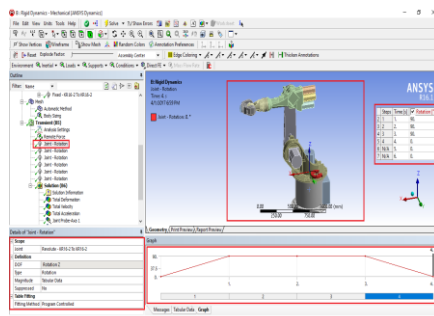


Fig.10. Ciclograma de funcționare - Robot KUKA KR 16-3

2.1.4 Rezultate Analiză Cinematică

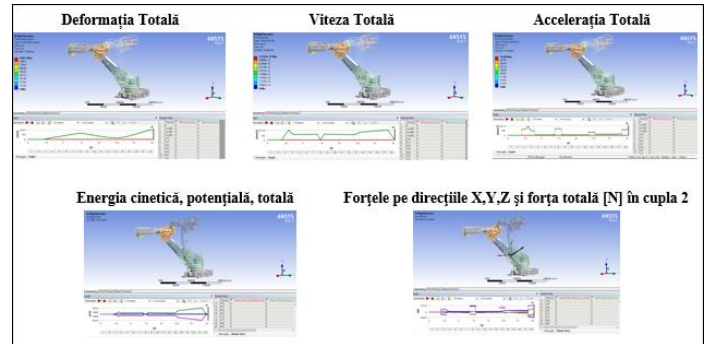


Fig.11.Rezultate - Robot ABB IRB 6620

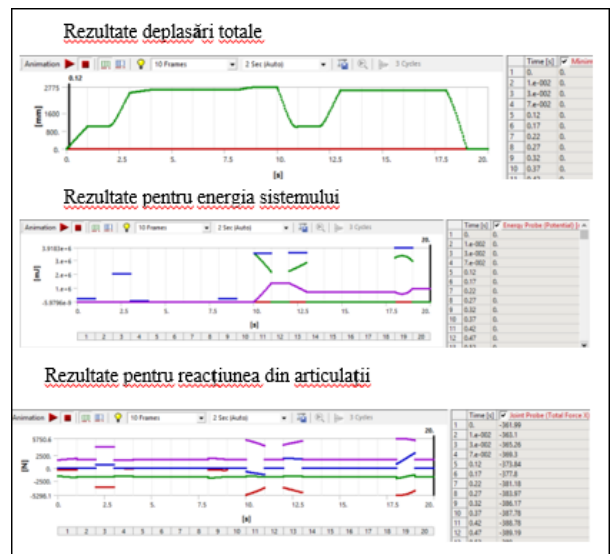


Fig.12.Rezultate - Robot 7600 340/2.8

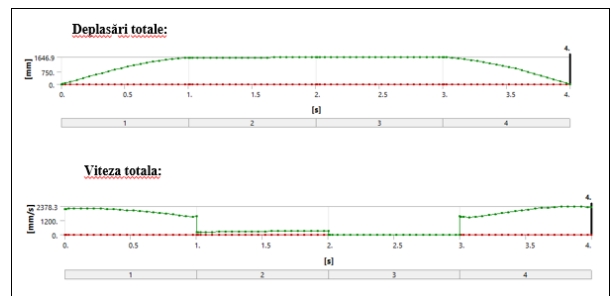


Fig.13.Rezultate - Robot KUKA KR 16-3

2.2 ANALIZA TRANZITORIE

Analiza tranzitorie este răspunsul dinamic al structurii la o forță variabilă în timp (răspuns în timp). Pentru acest tip de analiză este important efectul inerției și al amortizării.

Cazul în care aceste efecte trebuie considerate este când forța aplicată este de tip semnal treaptă sau impuls, adică atunci când variația forței în timp este bruscă, abruptă.

Un semnal ideal de tip impuls activează toate modurile de vibrație ale structurii

Semnalul ideal, aplicat instantaneu, de tip impuls nu este posibil de realizat numeric. De aceea, se aplică semnalul pe un interval de timp foarte scurt, dt, ca în Fig1,a.

După aplicarea acestui semnal se analizează răspunsul structurii pe intervalul de timp dorit. Mărimea duratei dt(2) pe care se aplică semnalul depinde de frecvența proprie fa structurii pe care dorim să o includem în răspunsul structural. Forța se aplică în trei etape, sau trei cazuri de încărcare succesive notate cu LS1 ÷LS3, ca în Fig.1,b. dt=1/20f

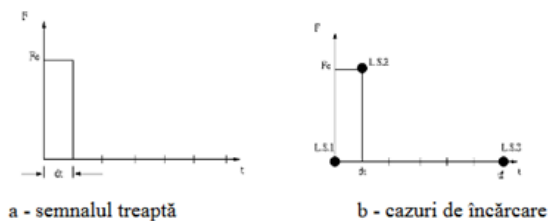


Fig.14. Aplicarea forței în analiza tranzitorie

Analiză tranzitorie (Transient analysis) determină răspunsul dinamic al structurii la o forță variabilă în timp (răspuns în timp). Rezultatele sunt: deplasări, deformații specifice, tensiuni – toate variabile în timp. Se observa evoluția mărimilor de răspuns pe durata funcționării, durată pe care se face simularea.

Ecuțiile diferențiale de mișcare, scrise pe baza principiului lui d'Alembert sunt:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F(t)\} \quad (1)$$

unde termenul $[M]\{\ddot{u}\}$ reprezintă forțele de inerție, $[C]\{\dot{u}\}$ - forțele de frecare, care sunt proporționale cu vitezele, $[K]\{u\}$ - forțele elastice, iar $\{F(t)\}$ - forțele exterioare, variabile în timp. $[M]$ reprezintă matricea maselor, sau matricea de inerție a întregii structuri, iar $[C]$ este matricea de amortizare. Matricile $[C]$, $[M]$ și $[K]$ se *assemblează* din matricile elementare.

2.2.1 Importul geometriei și selectarea analizei „Transient analysis”

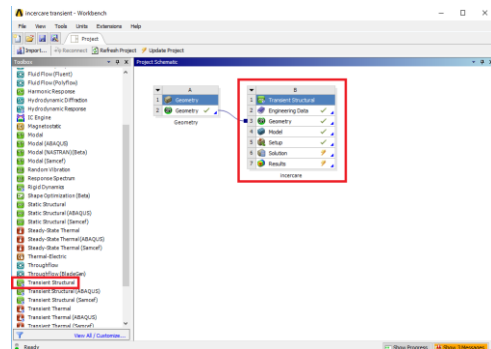


Fig.15. Alegere analiza

2.2.2 Definierea celor două structuri folosite pentru analiză



Fig.16. Definiere structuri - Robot KUKA KR 16-3



Fig.17. Definiere structuri - Robot ABB IRB 6620

2.2.3 Definierea contactelor

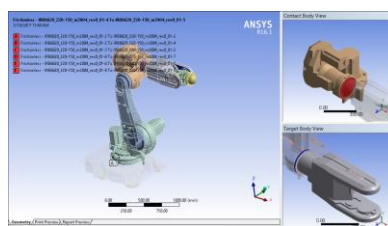


Fig.18. Definiere contacte - Robot ABB IRB 6620

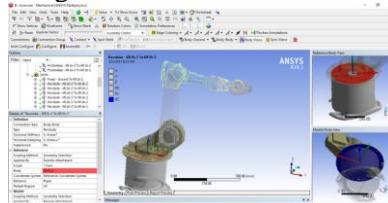


Fig.19. Definiere contacte - Robot KUKA KR 16-3

2.2.4 Definierea vitezelor de rotație ale cuplurilor, parametrilor de rezolvare și forțelor

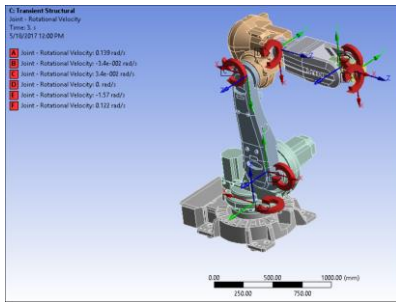


Fig.20. Definiere parametri - Robot ABB IRB 6620

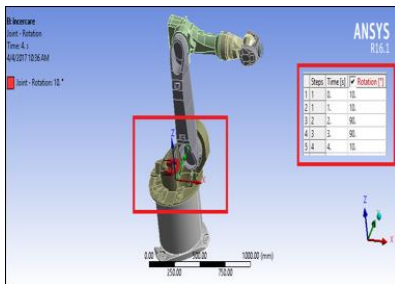


Fig.21. Definiere parametri - Robot KUKA KR 16-3

2.2.5 Rezultate Analiză Tranzitorie

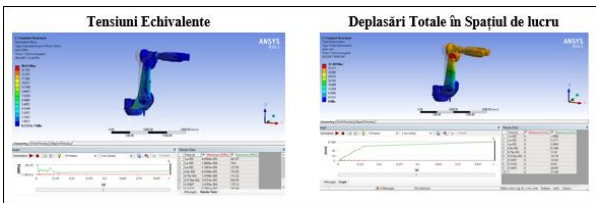


Fig.22. Rezultate - Robot ABB IRB 6620



Fig.23. Rezultate - Robot KUKA KR 16-3

2.3 ANALIZA STATIC STRUCTURALĂ

2.3.1 Importul geometriei și selectarea analizei „Static Structural”

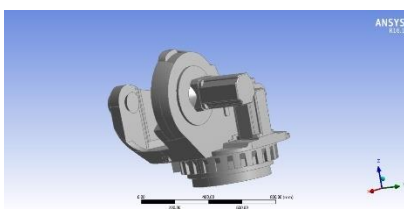


Fig.24. Geometrie - Robot 7600 340/2.8

2.3.2 Curățarea geometriei

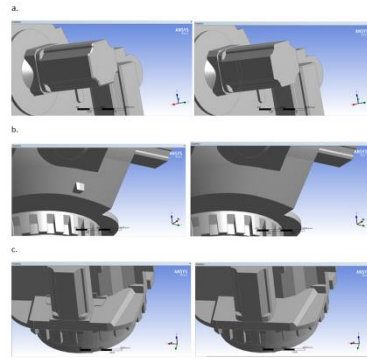


Fig.25. Curățarea geometriei - Robot 7600 340/2.8

2.3.3 Modelul curățat

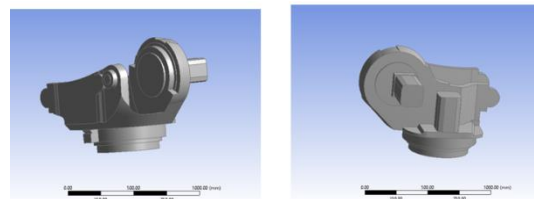


Fig.26. Model curățat - Robot 7600 340/2.8

2.3.4 Discretizarea modelului

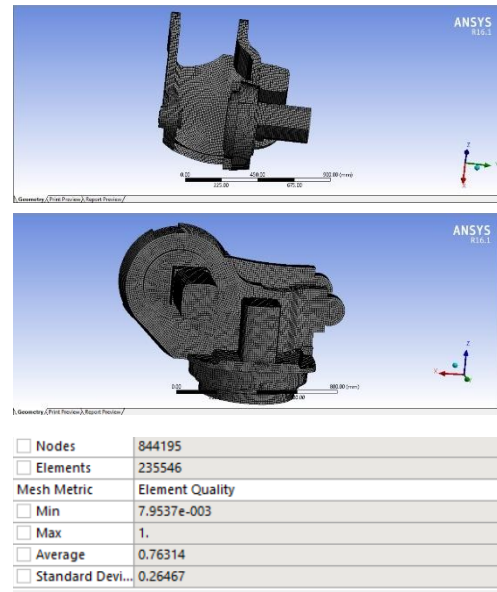


Fig.27. Discretizare model - Robot 7600 340/2.8

2.3.5 Realizare încărcări



Fig.28. Realizare încărcări - Robot 7600 340/2.8

2.3.6 Rezultate

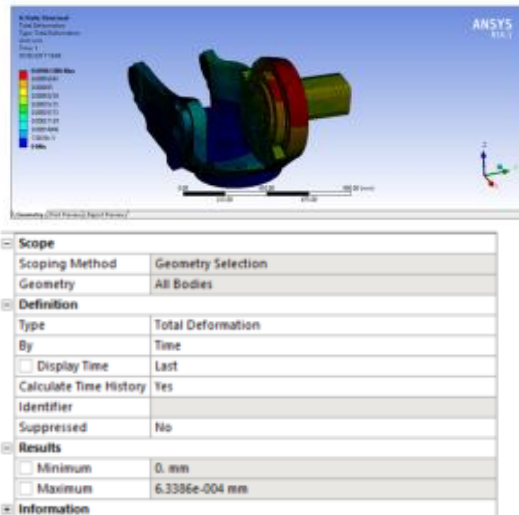


Fig.29.Deformații totale - Robot 7600 340/2.8

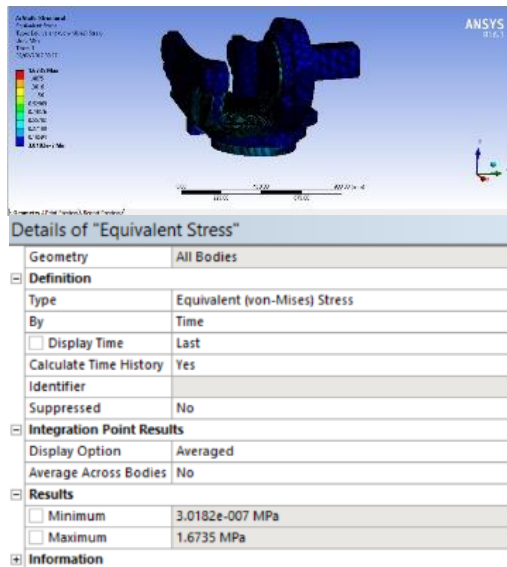


Fig.30.Tensiuni echivalente - Robot 7600 340/2.8

3 CONCLUZII

Avantajul analizei cinematice pentru structuri de roboți cu ANSYS Workbench constă în calculul caracteristicilor cinematice ale robotului și evaluarea comportării statice sau dinamice în condiții reale de solicitare și în timpul funcționării robotului la parametri dorți de proiectant.

Vizualizarea și animarea rezultatelor permite nu numai observarea comportării în timpul funcționării, evitarea coliziunilor și obținerea unor informații utile proiectantului în fazele de început ale proiectării, dar și faptul că toate rezultatele pot fi folosite pentru analize specifice cu programe specializate, cum ar fi ADAMS, TOSCA, sau alte solvere preferate de compania care dezvoltă produsul.

Noutate : În programul ANSYS a fost introdusă de curând analiza în regim tranzitoriu, astfel nimeni nu a mai făcut o astfel de analiză care să conțină și contacte.

Originalitate: Pe roboții aleși de noi pentru proiectul de licență nu a mai fost realizată niciun fel de analiză cu element finit.

În final putem afirma faptul că este un domeniu care ne interesează în robotică și care ne poate ajuta să determinăm corectitudinea alegerii robotilor pentru diversele operații pe care dorim să le realizăm.

Nu am reușit din păcate să ducem calculele până la sfârșit din cauza resurselor laptop-urilor care nu sunt îndeajuns de performante.

4 MULȚUMIRI

Prof. dr. ing. **Cristina PUPĂZĂ**
Prof. dr. ing. **Adrian NICOLESCU**

5 BIBLIOGRAFIE

- [1] Prof. Dr. Ing. Adrian Nicolescu - Note de curs
- [2]. Prof. Dr. Ing. Cristina Pupăză - Inginerie Asistată de Calculator 1 și 2, anul universitar 2016-2017
- [3]. Gwang-Jo Chung, Doo-Hyung Kim - Structural Analysis of 600Kg Heavy Duty Handling Robot
- [4]. www.wikipedia.org

STUDII PRELIMINARE PRIVIND FUNDAMENTAREA UNOR SOLUȚII DE COMANDĂ DIRECTĂ ȘI PROGRAMAREA PRIN INSTRUIRE A ROBOTULUI INDUSTRIAL, UTILIZÂND REȚELE DE COMUNICAȚII WIRELESS ȘI DISPOZITIVE DE COMUNICAȚII MOBILE DE TIP TELEFON INTELIGENT SAU TABLETĂ

DINCĂ Anton-Alexandru¹, MIRON Valentin², HRIȘCANU Damian³

Conducător științific: Prof. dr. ing. Adrian NICOLESCU, As. drd. ing. CRISTOIU Cozmin

REZUMAT În cadrul acestei teme am avut ca obiectiv realizarea unei aplicații de comandă directă și programare prin instruire a robotului industrial KAWASAKI FS10E, utilizând rețele de comunicații wireless și dispozitive de comunicații mobile de tip telefon inteligent sau tabletă. Principala comandă pe care o va executa robotul industrial este cea de “gohome”, adică din orice poziție în care se află robotul industrial, acesta se va deplasa către un punct “home”, stabilit.

CUVINTE CHEIE: aplicație, tabletă, programare, robot

1 INTRODUCERE. SCURTĂ PREZENTARE A LUCRĂRII DE FAȚĂ

În lucrarea de față s-a realizat o aplicație de comandă directă și programare prin instruire a robotului industrial KAWASAKI FS10E, utilizând rețele de comunicații wireless și dispozitive de comunicații mobile de tip telefon inteligent sau tabletă. Principala comandă pe care o va executa robotul industrial este cea de “gohome”, adică din orice poziție în care se află robotul industrial, acesta se va deplasa către un punct “home”, stabilit. Acest punct reprezintă o poziție sigură, în care robotul formează unghiuri de 90° între cuplele acționate.



Fig. 1. Vedere de ansamblu robot KAWASAKI FS10E, controller, masă de lucru și panou de comandă

¹ Specializarea Robotică, Facultatea IMST, anul III;

E-mail: alextdin@yahoo.com;

² Specializarea Robotică, Facultatea IMST, anul III;

E-mail: valentin.miron33@yahoo.com;

³ Specializarea Robotică, Facultatea IMST, anul III;

2 STADIUL ACTUAL

Kawasaki Robotics este unul dintre liderii mondiali ai producătorilor de roboți industriali de pe piața actuală, alături de ABB, KUKA, Fanuc și alții. Robotul industrial KAWASAKI FS10E poate fi încadrat într-o varietate largă de aplicații, deoarece este capabil să manipuleze sarcini portante medii de până la 10 kilograme și datorită flexibilității sale ridicate.

Flexibilitatea ridicată este oferită de brațul robotului, ce are un design modern și este conceput foarte îngust, pentru a putea fi personalizat în diverse aplicații.

Robotul este poziționat și fixat pe un suport supraînălțat față de sol. Astfel, este necesar un spațiu mai mic de prindere la sol și totodată crește aria de lucru a robotului.

KAWASAKI FS10E are o masă totală de 170 de kilograme și este acționat de servomotoare de curent alternativ, fără perii. Acestea sunt concepute cu o structură ușoară, de aluminiu, ce oferă cu ușurință robotului accelerări rapide și pot genera agilitate și acuratețe în orice aplicație.

Astfel, robotul industrial KAWASAKI FS10E poate fi integrat în aplicații precum: sudare cu arc electric, manipulare de materiale, îndepărtare de material (atunci când este echipat cu un end-efector de tip freză), asamblare, inspecție a calității produsului final, realizarea lipiturilor și a etanșeității. [1]



Fig. 2. Robot industrial KAWASAKI FS10E

3 PREZENTAREA GENERALĂ A APLICAȚIEI

3.1 Prezentarea aplicației “TCP/UDP Terminal”

Aplicația TCP UDP Terminal este dezvoltată de firma „NextPrototypes” și este utilizată în cadrul aplicației noastre pe post de client, serverul fiind reprezentat de către robotul industrial.

Aplicația are rol de a primi informații de la server și de a transmite mai departe comenzile către robot, utilizând protocolul TCP. Transmiterea de date se face prin intermediul conexiunii wireless de la tabletă la router-ul conectat la robot, prin cablu Ethernet.

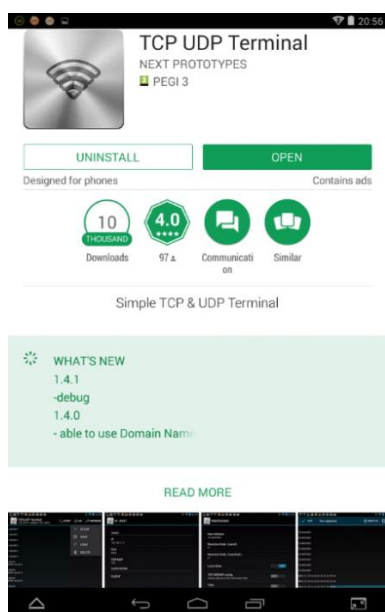


Fig. 3. Aplicația TCP/UDP Terminal în Play Store Android

3.2 Prezentarea aplicației de scriere

Am ales să integrăm o rutină de scriere în cadrul programului robotului pentru a evidenția potențialul

aplicației. Operatorul poate accesa de pe tabletă orice programe predefinite din memoria robotului industrial.

Pentru realizarea rutinei de scriere am programat traiectoriile necesare fiecărei litere în parte.

Am dorit să realizăm scrierea inițialelor facultății “Ingenieria Managementului și a Sistemelor Tehnologice” în scopul de a putea fundamenta cercetarea în continuare a aplicației sub forma unei celule demonstrative.



Fig. 4. Secvență din programul de scriere

4 REALIZAREA STRUCTURALĂ ȘI FIZICĂ A PARȚILOR COMPONENTE DIN LUCRARE

4.1 Realizarea efectorului robotului

Realizarea efectorului a fost făcută la stadiul de prototip în cadrul studiului preliminar.

Astfel, am luat un marker de culoare neagră și l-am atașat utilizând bandă adezivă de scula din cadrul efectorului special conceput pentru aplicații de debavurare, ce era deja integrat în echiparea robotului industrial, aflat în dotarea laboratorului de Robotică, din cadrul Facultății.

Complianța sculei, neputând fi utilizată la momentul realizării aplicației, fixarea marker-ului a fost întărită cu un sistem auxiliar, compus din două fire textile.



Fig. 4. Efectorul aplicației de scriere

4.2 Realizarea suportului pentru scris

Suportul unde s-a realizat operațiunea de scriere face parte dintr-un conveior, existent în dotarea facultății, în laboratorul menționat mai sus, la momentul desfășurării studiului preliminar.



Fig. 5. Hârtie aflată pe platoul din cadrul conveiorului

5 REALIZAREA PRACTICĂ

5.1 Elementele de comandă directă către robotul industrial

5.1.1 Panoul principal de comandă

Panoul de comandă are integrate semnalele principale de comandă directă către robotul industrial.

Astfel, se regăsesc următoarele butoane și LED-uri de avertizare sau informare:

- comandă manuală cu ajutorul cheii, din modul “Teach” în cel de “Repeat” și vice-versa;

- LED de informare “Power Control”, ce ne anunță atunci când, atât robotul industrial cât și controller-ul sunt alimentate;

- LED de avertizare “ERROR”, ce ne semnalează o eroare în funcționarea programului curent;

- butonul “MOTOR POWER”: apăsarea acestuia realizează alimentarea motoarelor robotului;

- butonul “ERROR RESET”: după ce s-a identificat eroarea semnalată, prin apăsarea butonului, se restabilește funcționarea programului curent;

- butonul “CYCLE START”: se apasă pentru a asigura începerea unui ciclu de lucru;

- butonul de comutare dintre comenzile “HOLD”, ce permite blocarea robotului într-o anumită poziție și “RUN”, ce permite programului curent să se desfășoare;

- butonul de oprire de urgență se apasă atunci când apare o funcționare anormală a

robotului sau atunci când apare orice proces de natură perturbatoare sau de pericol pentru elementele periferice sau operator.



Fig. 6. Panou de comandă

5.1.2 Controller de tip D

Robotul KAWASAKI și controller-ul acestuia sunt realizați astfel încât să fie integrați cu ușurință într-o varietate largă de aplicații. Firma Kawasaki consideră că inima oricărei aplicații o reprezintă controller-ul și că succesul unui proiect este deseori notat după felul în care celula a fost concepută, integrată, programată și menținută la parametrii optimi. Controller-ul de tip D a fost conceput pentru a face față acestor probleme, oferind un design foarte ergonomic și o interfață simplă ce permite configurarea aplicațiilor, urmărind exact standardele pe care trebuie să le îndeplinească. [2]



Fig. 7. Controller de tip D

5.1.3 Conector ethernet cu opt contacte

Cu ajutorul unui cablu torsadat ce conține conductori răsuciți, pentru a anula fenomenul de interferență electromagnetică, ce cauzează diafonie, s-a realizat conectarea router-ului cu robotul industrial. Cablul conține la capete mufe ethernet, cu opt contacte, ce asigură conexiunea cablului cu placa.



Fig. 8. Conector ethernet cu opt contacte

5.2 Realizarea setărilor de conectare în cadrul aplicației

Pentru a realiza conexiunea între client și controller-ul robotului industrial a fost necesară setarea IP-ului și al portului clientului în raport cu cel al robotului.

Crearea conexiunii se realizează în programul robotului prin utilizarea comenzii TCP-LISTEN ce așteaptă informații de la tabletă. După aceea, se realizează convertirea informației în comenzi pentru controller-ul robotului. Dacă informația decodată este recunoscută în vreuna dintre structurile logice ale programului de lucru acesta va executa ca atare comenzi de mișcare, orientare sau de trimitere a unor informații specifice.

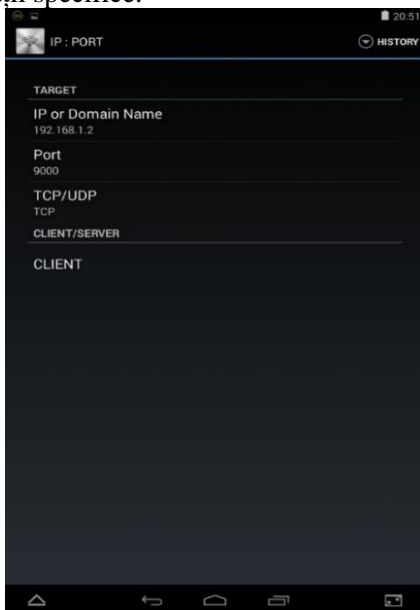


Fig. 9. Sincronizare IP

5.3 Trimiterea comenzilor de la terminalul client la robotul industrial

Pentru a putea opera robotul prin intermediul tabletei, robotul trebuie să ruleze în modul ciclu continuu programul conceput special în limbajul de programare caracteristic roboților Kawasaki, “AS”.

Programul robotului așteaptă stabilirea conexiunii cu clientul, acest lucru se realizându-se prin apăsarea butonului “connect” de către operator. Imediat ce conexiunea a fost stabilită, controller-ul va anunța clientul prin transmiterea unui mesaj de întâmpinare, de tipul: “Bună ziua! Conexiunea a fost stabilită cu succes! Puteți începe operarea robotului FS 10 E”.

Operatorul poate acum trimite comenzi pentru a afla informații despre starea robotului sau pentru a începe manevrarea acestuia.

Mișcările au fost liniare de tip “MoveL” și sub formă de arc de cerc, de tip “MoveJ”.

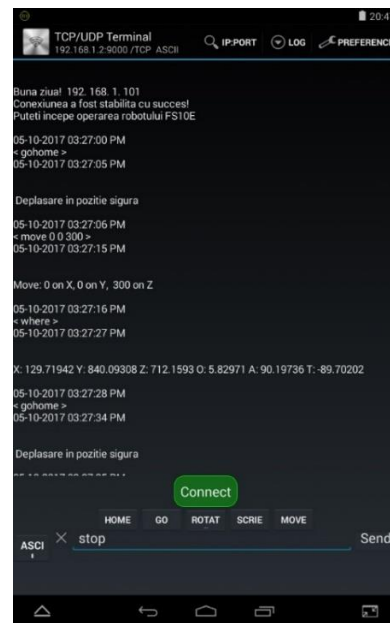


Fig. 10. Cod 2

6 DIRECȚII DE DEZVOLTARE A LUCRĂRII

În viitor ne propunem să optimizăm acest studiu preliminar, ajustând câteva detalii și adăugarea altor proceduri pentru a o duce la un alt nivel de rulare.

În primul rând, ne propunem să dezvoltăm propria aplicație, astfel încât să o putem personaliza în orice fel dorim. În acest mod putem integra comenzi predefinite pentru a comanda robotul, dar și de a putea crea programe independente de lucru. Adăugând mai mult de cinci butoane, cât ne permite aplicația actuală, putem programa diverse semnale către robotul industrial, scriind linii de cod în spatele interfeței fizice a butonului.

În al doilea rând, dorim să stabilim o rețea de terminale prin care să putem utiliza robotul din mai multe locuri, astfel simulând o utilizare reală în cadrul unei linii de producție.

De asemenea, dorim să ducem aplicația de scriere la un alt nivel. Vom face o interfață a aplicației asemănătoare tastaturii de la telefonul inteligent, atunci când se tastează un mesaj. Astfel, vor exista butoane pentru fiecare literă a alfabetului, cifre și cele mai utilizate semne de punctuație. Robotul va fi programat ca atunci când va primi semnal de la tabletă, după apăsarea unei litere, să realizeze scrierea pe o suprafață cartonată, de mărimea formatului A3. Literele vor avea 100 mm înălțime, 50 mm lățime și 10 mm spațiu între litere. Aceste dimensiuni vor putea fi scalate în funcție de preferințele utilizatorului.

Prin muncă susținută și perseverență am reușit să concepem o aplicație ce aduce mai aproape de operatorul uman manevrarea în siguranță a robotilor industriali.

7 CONCLUZII

În cadrul acestei teme am avut ca obiectiv realizarea unei aplicații de comandă directă și programare prin instruire a robotului industrial KAWASAKI FS10E, utilizând rețele de comunicații wireless și dispozitive de comunicații mobile de tip telefon inteligent sau tabletă.

Aplicația a fost realizată cu succes, în urma orelor petrecute în laborator și a numeroaselor încercări preliminare și de pe parcursul etapelor de realizare a aplicației finale.

Eventualele probleme minore apărute, legate de codul programului, au fost rezolvate în scurt timp, utilizând anumite instrucțiuni din manualul programului "AS KAWASKI".

8 MULȚUMIRI

În această secțiune ținem să mulțumim Administrației facultății IMST pentru sprijinul acordat în asigurarea accesoriilor de birou necesare pentru aplicația de scriere: marker de culoare neagră, bandă adezivă și foarfecă.

9 BIBLIOGRAFIE

[1]<http://www.globalrobots.com/product.aspx?product=24918>

Accesat la data: 08.05.2017, ora 19:30

[2]<http://pdf.directindustry.com/pdf/kawasaki-robotics-gmbh/d-controller/18836-24989-2.html>

Accesat la data: 08.05.2017, ora 21:30

STUDIUL PRIN SIMULARE A ADERENȚEI MODULELOR VACUUMATICE LA PRINDEREA ȘI MANIPULAREA MATERIALELOR CU PROPRIETĂȚI ORTOTROPE

NICULAE Valentin

Conducător științific: Prof. dr. ing. **Cristina PUPĂZĂ**, prof. dr. ing. **Diana POPESCU**

REZUMAT: Lucrarea cuprinde un studiu tehnico-economic privind aderența părții active a modulelor vacuumatice de prindere ce sunt montate pe efectori de manipulare a obiectelor, pentru diferite materiale (carton, sticlă etc). Rezultatele au arătat că cea mai mare problemă în industrie este aderența la prindere și mularea pe suprafețe neregulate sau lucioase a obiectelor.

CUVINTE CHEIE: MEF, efector, vacuum, aderență, carton, sticlă

1 INTRODUCERE

Costul pentru fiecare modul vacuumatic, confecționat cu partea activă de prindere pentru elementele de tip carton, sticlă etc. este foarte mare.

O soluție eficientă este nu reproiectarea întregului modul de prindere, ci doar înlocuirea părții active. În această variantă s-au realizat simulări CAE în programul ANSYS Workbench pentru a putea vedea comportarea statică a ansamblului de prindere și forțele care acționează asupra materialului (silicon, cauciuc) din care este confecționată partea activă a modului de prindere, atunci când intră în contact cu unul din materialele transportate (carton, sticlă).

Pentru a face o analiză corectă tehnico-economică și o simulare cât mai exactă trebuie cunoscute caracteristicile materialelor folosite în simulare.

2 STADIUL ACTUAL

Analiza statică s-a desfășurat în mai multe etape Pentru realizarea analizei static structurale s-a discretizat modelul 3D.

Discretizarea modelului 3D s-a făcut cu metoda Multizone cu o mărime de element de 5 mm. Rezultate sunt prezente în continuare.

Domeniul de interes este focalizat pe partea activă și pe suprafață.

Materiale: în acest studiu, o variantă folosită în literatură constă în înlocuirea cartonului ondulat printr-un strat ortotrop echivalent [1].

Această abordare permite omogenizarea echivalentă a proprietăților de material, care simplifică simulările numerice.

O altă simplificare a fost utilizarea unui model 2D a cartonului ondulat, în locul modelului 3D utilizat pe scară largă în literatura de specialitate. Acest lucru a făcut posibilă obținerea rezultatelor simulării printr-un număr mai mic de iterații, modelul fiind mai puțin costisitor și permițând realizarea studiilor de caz.

Cartonul este un material ortotrop. Prin definiție, un material ortotrop are cel puțin 2 planuri ortogonale de simetrie, unde proprietățile materialului sunt independente de direcție în cadrul fiecărui plan. Astfel de materiale necesită 9 variabile independente (adică constantele elastice) în matricile lor constitutive. În contrast, un material fără nici unul dintre planurile de simetrie este complet anizotrop și necesită 21 de constante elastice

Legea lui Hooke

Prin convenție, cele 9 constantele elastice din ecuațiile constitutive ortotrope sunt formate din 3 module Young E_x, E_y, E_z , 3 coeficienți Poisson $\nu_{yz}, \nu_{zx}, \nu_{xy}$ și 3 module de forfecare G_{yz}, G_{zx}, G_{xy} [2].

$$\begin{bmatrix} \epsilon_{xx} \\ \epsilon_{yy} \\ \epsilon_{zz} \\ \epsilon_{yz} \\ \epsilon_{zx} \\ \epsilon_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_x} & -\frac{\nu_{yx}}{E_y} & -\frac{\nu_{zx}}{E_z} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{xy}}{E_x} & \frac{1}{E_y} & -\frac{\nu_{zy}}{E_z} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{xz}}{E_x} & -\frac{\nu_{yz}}{E_y} & \frac{1}{E_z} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2G_{yz}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2G_{zx}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2G_{xy}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{zz} \\ \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} \\ \sigma_{xy} \end{bmatrix}$$

(1)

Figura.1. Matricea de conformitate

Siliconul este, de asemenea, cunoscut sub prescurtarea de SI și a fost produs în masă din 1943. Acest material este un policondensat termorigid.

¹ Specializarea Robotica, Facultatea IMST;

E-mail: nvalentin92@yahoo.com;

Proprietăți generale

Menține stabilitatea dimensională și are proprietăți electrice și dielectrice bune pe o gamă largă de frecvență și temperatură. Alte proprietăți utile includ o bună rezistență la flacără, absorbție redusă de apă, rezistență moderată la șoc termic și proprietăți medii polimerice și mecanice.

Denumirile comerciale ale siliconului sunt: Baysilon, Blu-Sil, Commex, Fiberite, Lamitex, Siltemp, Tekstolit.

Cauciucul

- Elastomerii de cauciuc sunt frecvent utilizați pentru o gamă de temperaturi extreme (de la -50 °C până la + 230 °C / -58 °F și până la + 446°F) și oferă flexibilitate bună la temperaturi scăzute.
- Compușii de cauciuc oferă proprietăți dielectrice superioare și o bună rezistență la radiații UV, oxigen și ozon.

Cauciucul este potrivit pentru aplicațiile non-dinamice, deoarece acest tip de elastomer posedă rezistență relativ mică la rupere și rezistență la abraziune, Materialul este, de asemenea, compatibil cu uleiurile de motor și de transmisie, grăsimi și lichide.

Sticla

Sticla este numele dat tuturor organismelor amorfe care sunt obținute prin scăderea temperaturii unei topituri independente de compoziția sa chimică și intervalul de temperatură de solidificare, care, ca urmare a creșterii treptate a viscozității, adoptă proprietățile mecanice ale unui corp solid [1].

Sticla se topește la o temperatură cuprinsă între 1000 și 2000 °C

Structura microscopică a sticlei este comparabilă cu cea a unui lichid în care constituenții individuali formează o rețea neregulată, fără o ordine cu rază lungă. Sticla este, de asemenea, numele dat unei topituri răcite [1].

Soluția industrială

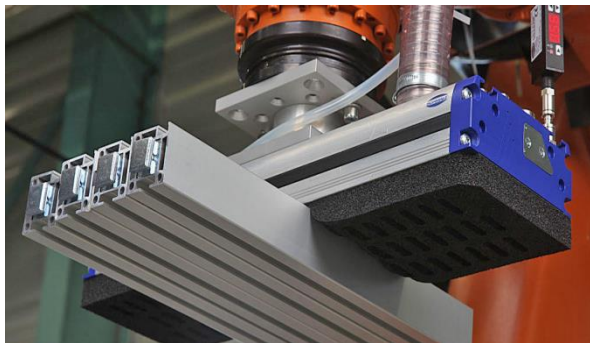


Figura 1. Prinderea și etansarea

Proprietăți mecanice ale sticlei

Tabelul1. Proprietăți

Densitate	2500 kg / m ³
Duritate	470 HK Duritatea sticlei se stabilește în conformitate cu Knoop. Baza este metoda de testarea stabilită DIN 52333 (ISO 9385)
Rezistența la compresiune	800 - 1000 MPa Rezistența la compresiune definește capacitatea unui material de a rezista la o sarcină aplicată vertical pe suprafața sa
Modul de elasticitate	70 000 MPa Modulul de elasticitate este determinat de alungirea elastică a unei structuri subțiri.
Rezistență la îndoit	45 MPa Rezistența la încovoiere a unui material este o măsură a rezistenței sale în timpul deformării. Aceasta este determinată prin teste pe o placă de sticlă, folosind metoda cu inel dublu, conform DIN EN 1288-5.

Analiza static-structurală

Pentru simularea prim MEF s-a folosit o analiză static structurală, cu luarea în considerare a mai multor materiale. Acestea au fost definite în biblioteca ANSYS Workbench [5].

Această simulare a fost făcută pe o geometrie definită în programul CATIA V5 de modelare 3D și importată în ANSYS printr-un fișier step (STP). În modulul Design Modeler din ANSYS s-a verificat și curățat geometria importată.

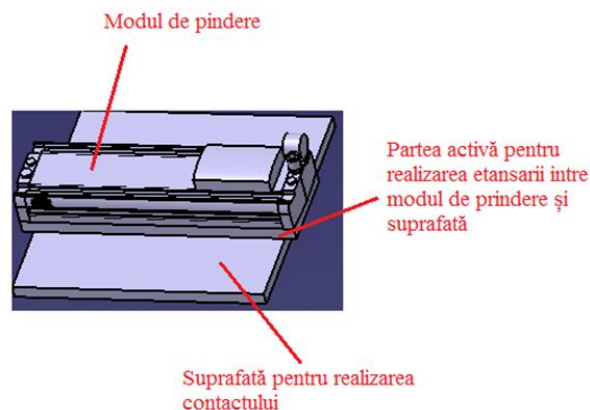


Figura 2. Modelul 3D în CATIA

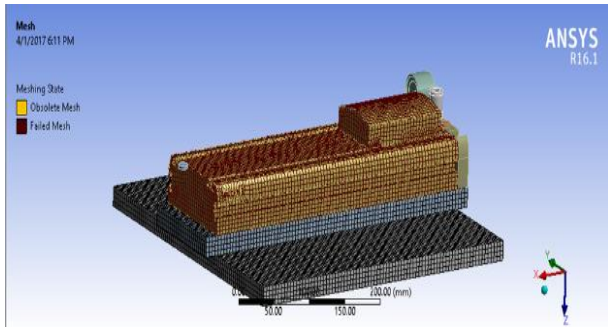


Figura 3. Discretizarea

Simularea 1

S-a realizat între partea activă de etanșare, confecționată din silicon și suprafața manipulată, confecționată din carton, rezultatele sunt prezente în figurile ce urmează:

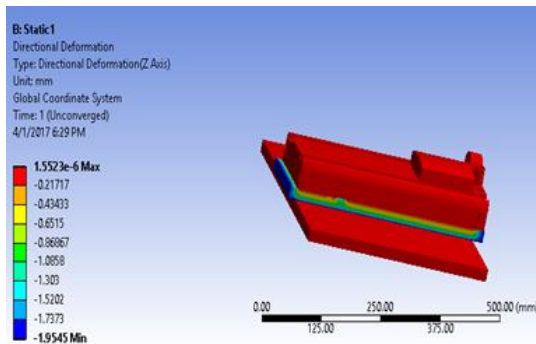


Figura 4. Deformațiile totale

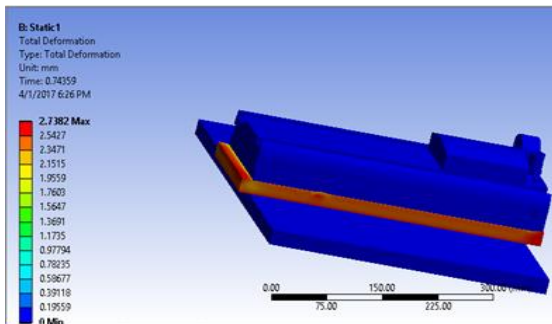


Figura 5. Deformațiile după axa z

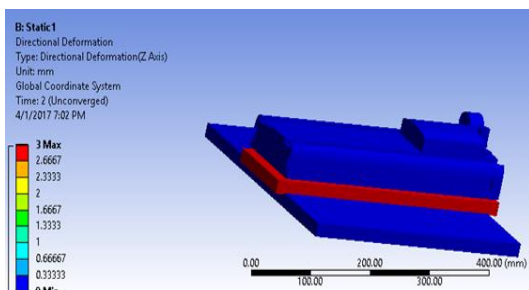


Figura 6. Deformații specifice

Simularea 2

S-a realizat între partea activă de etanșare confecționată din silicon și suprafața manipulată, confecționată din sticlă. Rezultatele sunt prezente în figurile ce urmează:

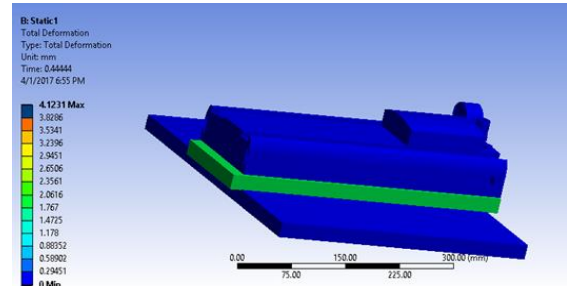


Figura 7. Deformații totale

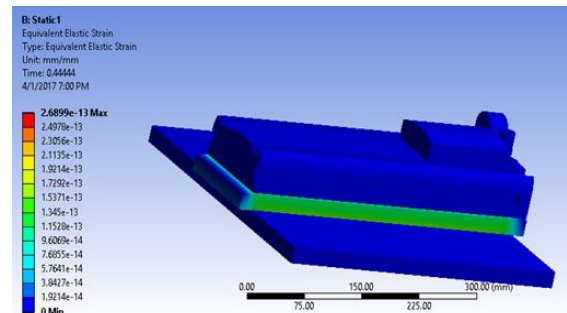


Figura 8. Deformații specifice

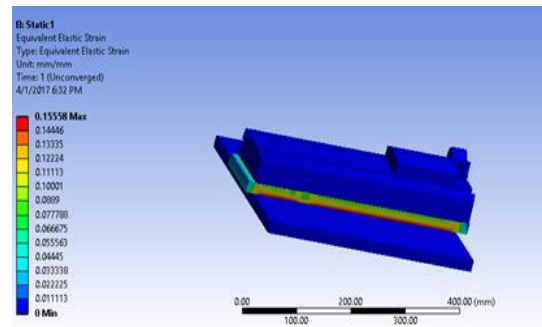


Figura 9. Deformațiile după axa z

Simularea 3

S-a realizat între partea activă de etanșare, confecționată din cuciuș și suprafața manipulată, confecționată din sticlă. Rezultatele sunt prezente în figurile ce urmează:

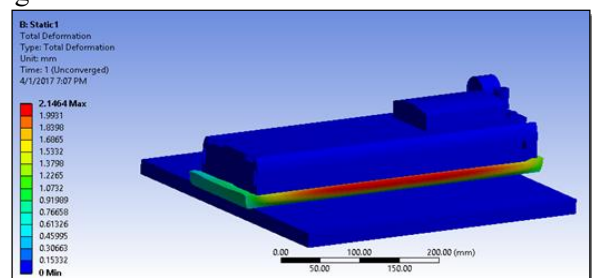


Figura 10. Deformațiile totale

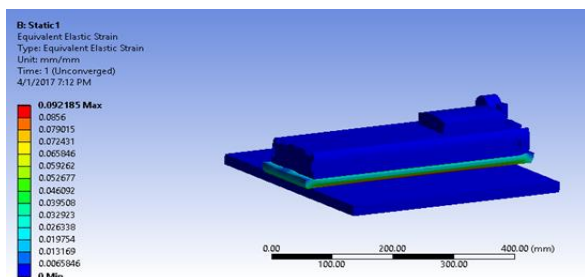


Figura11. Deformațiile specifice

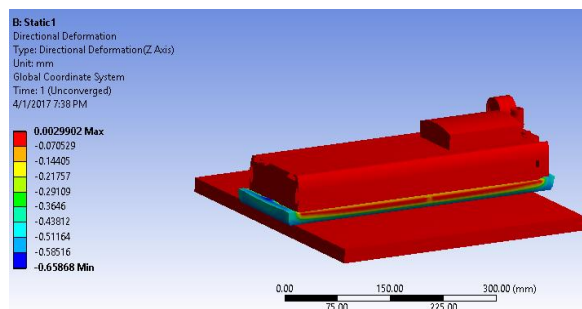


Figura 15. Deformații după axa z

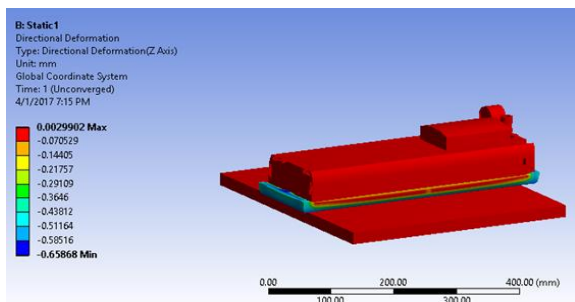


Figura12. Deformațiile după axa Z

Simularea 4

S-a realizat între partea activă de etanșare, confecționată din cauciuc și suprafața manipulată, confecționată din carton. Rezultatele sunt prezente în figurile ce urmează:

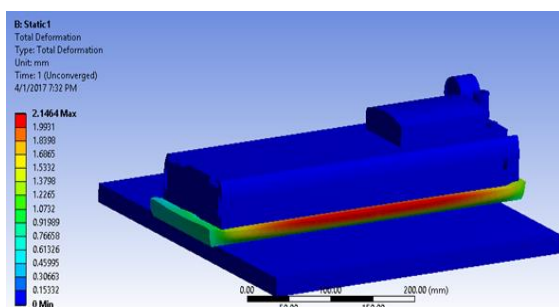


Figura13.Deformațiile totale

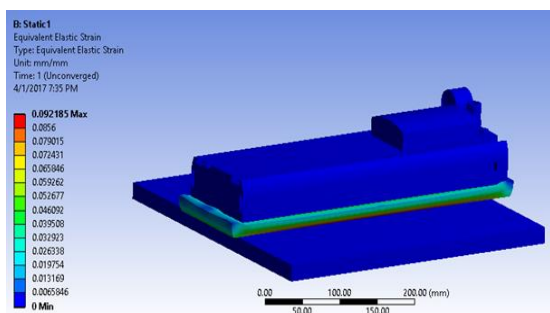


Figura 14. Deformații specifice

Rezultate complete și concluzii

Tabelul 2. Rezulate

	Materialul	Deformați a totală	Deformația eastică	Def. pe z
1	Silicon- Carton	2,78 mm	0,15 mm	0,25 mm
2	Silicon- Sticlă	4.12 mm	0,41 mm	3 mm
3	Cauciuc- Carton	2 mm	0,091 mm	0,029 mm
4	Cauciuc- sticlă	2 mm	0,091 mm	0,029 mm

Tabelul 3 conține o sinteză a rezultatelor studiilor de caz.

În concluzie, la manipularea cutiilor cu suprafața de prindere din materiale de tip carton, este bine să folosim partea activă a modulului de prindere din silicon, iar pentru sticlă este bine să folosim partea activă din cauciuc.

3 MULȚUMIRI

Mulțumesc profesorilor coordonatori pentru sprijinul acordat la realizarea acestei lucrări de cercetare.

4 BIBLIOGRAFIE

- [1]. <http://www.lustic.ro/about/istoric/9-romanian-ro/alte/114-proprietati-ale-sticlei>
- [2]. Hooke's Law for Orthotropic Materials – efunda, http://www.efunda.com/formulae/solid_mechanics/mat_mechanics/hooke_orthotropic.cfm, accesat:
- [3]. [http://www.tsocm.pub.ro/educatie/cepa/Ambalaj e% 20-% 20CEPA% 20-% 20Curs% 202. pdf](http://www.tsocm.pub.ro/educatie/cepa/Ambalaj_e%20-%20CEPA%20-%20Curs%202.pdf)
- [5]. Pupăză, C. - Inginerie Asistată de Calculator 1 și 2, anul univ. 2016-2017
- [6]. ANSYS User's Manual, Orthotropic model

SINTEZA ASISTATA 3D SI REALIZAREA PRACTICA A DOUA POSTURI DE LUCRU, SISTEMULUI DE PRINDERE PNEUMATICA A PIESELOR IN POSTUL DE PRELUCRARE, MAGAZIEI DE EFECTORI SI A UNUI EFECTOR VACUUMATIC PENTRU MANIPULAREA REPERELOR, INTEGRATE INTR-O CELULA ROBOTIZATA CU SCHIMBARE AUTOMATA A EFECTORILOR CARE ECHIPEAZA ROBOTUL KAWASAKI FS 10 E

FIREȚEANU Horia¹, ANDREI N. Alexandru², DINCĂ Anton Alexandru³, MIRON Valentin⁴

Conducător științific: Prof. dr. ing. Adrian NICOLESCU

REZUMATÎn cadrul acestei teme am avut ca obiectiv realizarea unei aplicații practice de simulare a unei celule de manipulare, frezare și schimbare de efectori, folosind robotul industrial KAWASAKI FS 10 E. Operațiile mai sus menționate sunt acționate pneumatic și asigură un ciclu complet și rapid.

CUVINTE CHEIE: manipulare, pneumatic, programare, ejector, robot.

1 INTRODUCERE. SCURTĂ PREZENTARE A LUCRĂRII DE FAȚĂ

În lucrarea de față s-a realizat o aplicație practice de simulare a unei celule de manipulare, frezare și schimbare de efectori, folosind robotul industrial KAWASAKI FS 10 E.

Robotul, plecând din poziția de “home”, ajunge la magazia de efectori, de unde preia primul efector, vacuumatic. Cu acesta manipulează semifabricatul aflat pe masa de lucru unu, ducându-l în poziția programată de pe masa de lucru doi, pentru a fi prelucrat. Robotul schimbă efectorul vacuumatic cu cel de frezare, urmând să teșească doua muchii ale semifabricatului. După operația de frezare, robotul revine la efectorul vacuumatic, cu care preia piesa finită de pe masa de lucru doi și o depune pe conveyer. Astfel, ciclul este complet și după depunerea efectorului în magazia de scule, robotul revine în poziția inițială “home”.

2 STADIUL ACTUAL

Kawasaki Robotics este unul dintre liderii mondiali ai producătorilor de roboți industriali de pe piața actuală, alături de ABB, KUKA, Fanuc și alții. Robotul industrial KAWASAKI FS10E poate fi încadrat într-o varietate largă de aplicații, deoarece este capabil să manipuleze sarcini portante medii de până la 10 kilograme și datorită flexibilității sale ridicate.

¹ Specializarea Robotică, Facultatea IMST, anul III;

E-mail: horia@intermecaserv.com;

^{2,3,4} Specializarea Robotică, Facultatea IMST, anul III;



Fig. 1. Vedere de ansamblu celulă, robot KAWASAKI FS10E, controller, mese de lucru și conveyer

Flexibilitatea ridicată este oferită de brațul robotului, ce are un design modern și este conceput foarte îngust, pentru a putea fi personalizat în diverse aplicații.

Robotul este poziționat și fixat pe un suport supraînălțat față de sol. Astfel, este necesar un spațiu mai mic de prindere la sol și totodată crește aria de lucru a robotului.

KAWASAKI FS10E are o masă totală de 170 de kilograme și este acționat de servomotoare de curent alternativ, fără perii. Acestea sunt concepute cu o structură ușoară, de aluminiu, ce oferă cu ușurință robotului accelerări rapide și pot genera agilitate și acuratețe în orice aplicație.

Astfel, robotul industrial KAWASAKI FS10E poate fi integrat în aplicații precum: sudare cu arc electric, manipulare de materiale, îndepărtare de material (atunci când este echipat cu un end-efector de tip freză), asamblare, inspecție a calității produsului final, realizarea lipiturilor și a etanșeității.



Fig. 2. Robot industrial KAWASAKI FS 10 E

3 PREZENTAREA GENERALĂ A APLICAȚIEI

3.1 Prezentare generală

În primă fază, robotul se află în poziția de “home” și își urmează ciclul în următorii pași:

1. Robotul se duce și preia efectorul vacuumatic de manipulare a obiectului, aflat în poziție, la punctul de lucru unu;
2. Obiectul este preluat de efectorul vacuumatic prin intermediul ejectorului, cuplat la compresor;
3. Obiectul este adus la masa de lucru numărul doi și este așezat între cilindrul pneumatic liniar cu ghidaj și opritorul mecanic;
4. Sistemul de bridare aflat pe masa numărul doi este acționat manual, de către operator, cu ajutorul distribuitorului mecanic;
5. Robotul se întoarce către standul de schimbare efectori, pentru a face schimbarea de efectori;
6. Cu efectorul de tip freză, robotul revine la masa de lucru doi pentru a prelucra semifabricatul, aflat în poziție;
7. Se realizează operația de teșire a muchiiilor superioare ale semifabricatului;

8. După terminarea operației de frezare, robotul revine la magazia de scule, pentru a prelua efectorul vacuumatic;
9. Odată preluat efectorul vacuumatic, robotul se întoarce la masa de lucru doi și după acționarea manuală a distribuitorului mecanic, preia piesa și o poziționează pe conveior în punctul programat;
10. Robotul lasă efectorul vacuumatic la magazie și revine în poziția inițială de “home”.

3.2 Prezentare controller



Fig. 3. Controller de tip D

4 REALIZAREA MECANICĂ, STRUCTURALĂ ȘI FIZICĂ A PARȚILOR COMPONENTE DIN LUCRARE

4.1 Realizarea efectorilor robotului

4.1.1 Efectorul vacuumatic

Figura patru prezintă imaginea de ansamblu a efectorului vacuumatic. Ansamblul acestui efector este format din două piese: piesa cilindrică ce se conectează cu flanșa slave a robotului are două alezaje prin care se fixează de flanșa mai sus menționată și o frezare ce are rol de ghidare și fixare pentru cea de-a doua piesă.

Pe a doua piesă se găsesc două găuri de trecere prin care sunt inserate cele două ventuze. Prinderea lor este realizată prin câte un șurub de strângere. Ansamblul este creat din aluminiu pentru a micșora greutatea totală a efectorului.



Fig. 4. Efector vacuumatic cu două ventuze

4.1.2 Efectorul de frezare

Efectorul de frezare este atașat direct de flanșa slave a robotului, scula utilizată este de tip deget, are șase extremități, iar precizia acesteia este dată de complianța pneumatică comandată de robot.



Fig. 5. Efector de frezare cu complianță

4.2 Realizarea magaziei de efectori

Magazia de efectori este compusă din două picioare, cu profil dreptunghiular, cu relgaj pe înălțime, care sunt unite cu două profile de aluminiu, ce prezintă canale "T". Aceste canale ne permit fixarea celor două elemente de susținere ale efecturilor. Susținerea se face cu ajutorul a patruștifturi de centrare.



Fig. 6. Magazie de efectori

4.3 Realizarea meselor (punctelor) de lucru

4.3.1 Masă preluare obiect

Masa de lucru unu este creată din țevi rectangulare cu posibilitate de reglare pe înălțime. Conține mai multe structuri de rigidizare. Pe suprafața superioară se află o placă rectificată pe ambele fețe cu canale "T" pe o față. Acestea sunt create pentru a ajuta la posibila dezvoltare de noi aplicații pe această masă. În acest moment se află atașate de suprafața superioară a plăcii două sisteme de poziționare a piesei, sisteme ce sunt prinse și blocate pe masă prin două șuruburi cu piulite "T". Masa este prinsă în sol cu ajutorul a patru conexpanduri, iar planeitatea acesteia a fost creată cu ajutorul unui ceas comparator cu talpă magnetică prinsă de flanșa robotului.



Fig. 7. Masă prelucrare obiect

4.3.2 Masă bridare

Masa de bridare este realizată asemănător cu masa de preluare a obiectului. Diferența majoră este echiparea de pe aceasta. Pe placa rectificată pe ambele fețe cu canale "T" este fixat sistemul de bridare. În laterale sunt fixate: grupul de preparare aer, comutatorul sistemului de bridare și comutatorul ejectorului.

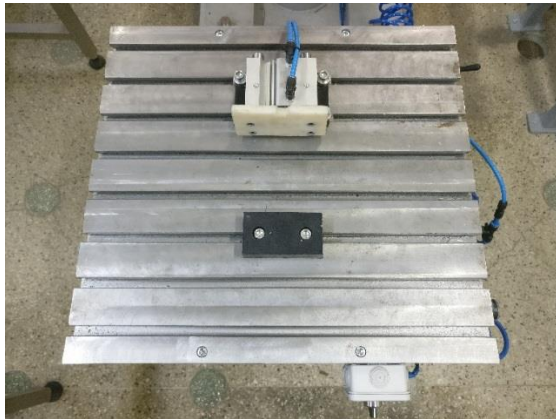


Fig. 8. Masă bridare

4.4 Realizarea sistemului de bridare

4.4.1 Prezentare sistem bridare, plus manetă de acționare

Sistemul de bridare este alcătuit dintr-un cilindru dublu liniar, cu ghidare și un opritor mecanic. Odată acționat distribuitorul, cilindrul se deschide sau se închide.

Cursa sistemului de bridare între modurile "închis-deschis" este de 50 mm.

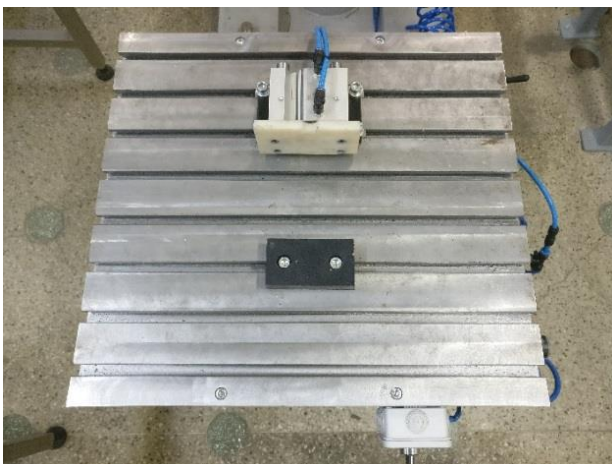


Fig. 9. Sistem bridare – deschis

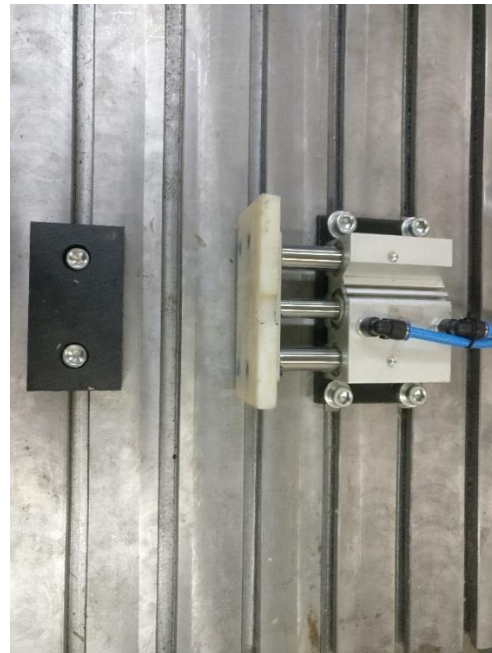


Fig. 10. Sistem bridare - închis



Fig. 11. Distribuitor sistem bridare

4.4.2 Prezentarea grupului de preparare aer

Grupul de preparare aer este alcătuit dintr-un filtru regulator-lubrificant, de la firma Camozzi, model MC202-L00.



Fig. 12. Sistem bridare – deschis

4.4.3 Comutator ejector

Comutatorul ejectorului are două poziții: vacuum și presiune. Acesta este folosit pentru efectorul de tip vacuumatic, pentru a prelua/lăsa semifabricatul/piesa prelucrată pe/de pe masele de lucru sau conveyor.



Fig. 13. Comutator ejector

5 REALIZAREA PRACTICĂ

5.1 Despre operațiile din cadrul aplicației

Operațiile folosite în cadrul aplicației sunt manipularea, frezarea și schimbarea efecturului. Acestea vor fi detaliate mai jos:

5.1.1 Manipularea

În această parte, robotul va prelua cu efectorul vacuumatic semifabricatul pentru a fi prelucrat în operația următoare:

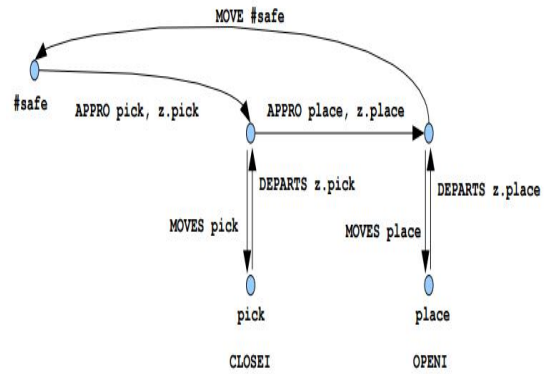


Fig. 14. Schema de manipulare

5.1.2 Frezarea

În pasul al doilea al aplicației semifabricatul este supus operației de frezare. Se vor freza muchiile superioare, cu o teșitură de 0.5 mm X 45°.



Fig. 14. Operația de frezare

5.1.3 Schimbarea efecturului

Între operația de manipulare și frezare este necesar acest pas de schimbare a efecturului. Prin cuplarea și decuplarea efecturului din semnalul programat în robot, acesta realizează schimbarea efecturului.

5.2 Realizarea desenelor CAD

Modelul 3D al celulei robotizate a fost creat de la zero. Fiecare componentă a celulei a fost făcută după cele fizice, după ce acestea au fost măsurate.

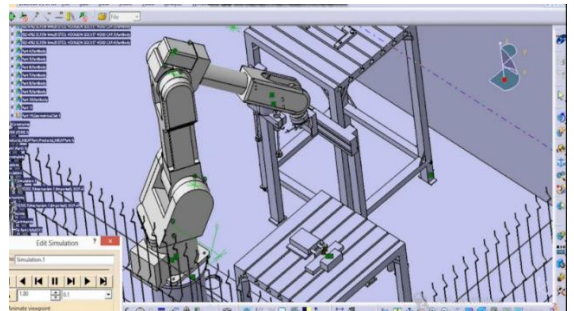


Fig. 15. Modelul 3D al celulei

5.3 Programarea robotului industrial

Programarea robotului KAWASAKI FS 10 E a fost realizată în limbajul specific „AS”. Inițial au fost memorate punctele specifice pentru schimbarea efectorilor, apoi punctele necesare prelucrării semifabricatului.

După aceea au fost realizate traiectoriile de mișcare pentru schimbarea efectorilor, prelucrarea semifabricatului, preluarea și depunerea piesei.

```
|accuracy fine always
|speed 60
|jmove home
|signal 9,10
|signal 11,-11
|signal 12,-12
|jappro magazine1,150
|speed 250mm/s
|lmove magazine1
|twait 1.5
|signal 10,9
|twait 1.5
|ldepart 500
|speed 20
|jappro pick,150
|speed 250mm/s
|lmove pick
|twait 1.5
|-----aer vacuum
```

Fig. 16. Secvența cod aplicație

6 DIRECȚII DE DEZVOLTARE A LUCRĂRII

În viitor ne propunem să optimizăm această aplicație prin automatizarea completă a celulei, adăugarea unui sistem de transfer de piese, adăugarea unui sistem de paletizare și optimizarea celulei pentru cicluri repetate și rapide.

În primul rând, automatizarea completă va asigura funcționarea tuturor elementelor electronice într-un ciclu logic.

În al doilea rând, implementarea sistemului de transfer de piese asigură un ciclu mai rapid și o poziționare mai bună a pieselor.

În al treilea rând, sistemul de paletizare asigură o continuitate mai bună a fluxului, fără a fi oprit de necesitatea descărcării pieselor.

Astfel celula va fi mult mai optimizată față de starea actuală, fiind mult mai rapidă și precisă.

7 CONCLUZII

În cadrul acestei teme am avut ca obiectiv realizarea unei aplicații practice de simulare a unei celule de manipulare, frezare și schimbare de efectori, folosind robotul industrial KAWASAKI FS 10 E.

Prin muncă susținută și perseverență am reușit să concepem o aplicație nouă și unică în cadrul facultății, pentru robotul KAWASAKI.

8 MULȚUMIRI

În această secțiune ținem să mulțumim firmei “S.C. Inter Meca Serv SRL” pentru tot suportul și ajutorul tehnic acordat pe tot parcursul.

9 BIBLIOGRAFIE

[1]. Adrian Florin NICOLESCU, suport curs Implementare roboților în sisteme de producție

MODELAREA GEOMETRICĂ ȘI CINEMATICA ASISTATĂ A RI CU ARHITECTURĂ DE TIP BRAȚ ARTICULAT UTILIZÂND O FORMALIZARE MATEMATICĂ ORIGINALĂ (DIFERITĂ DE CONVENȚIILE HARTENBERG - DENAVIT) ȘI VALIDAREA MODELELOR PROPUSE UTILIZÂND PRODUSUL SOFTWARE ABB ROBOTSTUDIO

MARIN Ionuț Gabriel

Conducători științifici: As.drd.ing. **Cozmin CRISTOIU**
Prof.dr.ing. **Adrian NICOLESCU**, Departamentul MSP

REZUMAT: În cadrul acestei teme s-a urmărit fundamentarea unui formalizări matematice originale pentru modelarea geometrică directă pentru roboți industriali cu arhiectura generală de tip braț articulată. Modelul matematic a fost aplicat cu succes pe 2 arhitecturi de RI, ABB IRB 6700 cu lanț cinematic deschis, respectiv ABB IRB 460 cu lanț cinematic închis. Validarea datelor a fost făcută prin intermediul ABB Robot Studio, respectiv Catia V5 R21.

CUVINTE CHEIE: model geometric direct ,formalizare matematică

1 INTRODUCERE

Lucrarea de față își propune fundamentarea unei formalizări matematice originale pentru cinematica directă a roboților industriali de tip braț articulată.

În obținerea poziției punctului caracteristic al RI, s-au folosit matrici de rotație și de translație, după X,Y sau Z, în funcție de necesitate. Modelul își propune, ca pornind de la sistemul de axe de referință de la baza RI și până la cel al punctului caracteristic să nu se schimbe orientarea sistemelor de axe, ca în convențiile Hartenberg-Denavit, pentru lucrul mai ușor și mai logic.

De asemenea, modelul își propune să țină cont de parametrii constructivi ai RI, precum dezaxări și dependențe unghiulare între cuple.

2 STADIUL ACTUAL

În prezent modelarea geometrică a cinematicii directe, pune la dispoziție mai mulți algoritmi matematici de rezolvare, precum modelarea geometrică trigonometrică, care nu ține cont de toți parametrii constructivi ai RI, cât și convențiile Hartenberg-Denavit, care sunt destul de greu de aplicat în unele cazuri.

Modelarea geometrică și cinematica directă, reprezintă modul general de a ajunge pornind de la baza RI de coordonate (0,0,0), prin transformări succesive, de rotație sau translație, ținând cont de lungimile segmentelor RI, până la coordonatele punctului caracteristic al efectorului de coordonate (X_i,Y_i,Z_i).

2.1 Alcătuirea matricelor de trecere de la un sistem de coordonate la altul

Pentru a face trecerea de la un sistem de coordonate la altul, am alcătuit 2 tipuri de treceri, fie prin rotație, fie prin translație de la un sistem la altul. Așadar, vom avea în total 6 posibilități de mișcare: 3 rotații, după X, Y,Z sau 3 translații în lungul lui X,Y sau Z.

Prin urmare au fost definite 3 matrici de rotație, după cum urmează:

$$R_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & X_i - X_{i-1} \\ 0 & \cos \theta_i & -\sin \theta_i & Y_i - Y_{i-1} \\ 0 & \sin \theta_i & \cos \theta_i & Z_i - Z_{i-1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$R_y = \begin{pmatrix} \cos \theta_i & 0 & \sin \theta_i & X_i - X_{i-1} \\ 0 & 1 & 0 & Y_i - Y_{i-1} \\ -\sin \theta_i & 0 & \cos \theta_i & Z_i - Z_{i-1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Specializarea Robotică, Facultatea IMST, anul III;

E-mail : gaby.exel23@gmail.com ;

$$R_z = \begin{pmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i & 0 & X_i - X_{i-1} \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i & 0 & Y_i - Y_{i-1} \\ 0 & 0 & 1 & Z_i - Z_{i-1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Unde θ_i reprezintă parametrul unghiular cu care se rotește un segment al RI, față de segmentul anterior, iar $X_i - X_{i-1}$, $Y_i - Y_{i-1}$, $Z_i - Z_{i-1}$ reprezintă distanțele pe X, Y și Z dintre vechiul sistem de axe și noul sistem de axe.

Matricele de translație sunt derivate din cele de rotație, atunci când sunt eliminați parametrii unghiulari θ_i , iar distanțele $X_i - X_{i-1}$, $Y_i - Y_{i-1}$, $Z_i - Z_{i-1}$, rămân în continuare valabile.

Se pot defini, fie câte o matrice de translație după fiecare axă, fie o singură matrice de translație după X, Y și Z care este rezultatul înmulțirii celor 3 matrici după fiecare axă.

Prin urmare, matricile de translație după fiecare axă în parte vor arăta după cum urmează:

$$T_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & X_i - X_{i-1} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$T_y = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & Y_i - Y_{i-1} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$T_z = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & Z_i - Z_{i-1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

Înmulțind cele 3 matrici va rezulta matricea T_{xyz} .

$$T_{xyz} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & X_i - X_{i-1} \\ 0 & 1 & 0 & Y_i - Y_{i-1} \\ 0 & 0 & 1 & Z_i - Z_{i-1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

Poziția finală a punctului caracteristic al efectorului va fi dată de înmulțirea matricilor de

rotație și/sau de translație succesive, în funcție de axele definite pe RI.

Foarte important este faptul că înmulțirea matricilor nu este asociativă, prin urmare,

$$R_x * R_z \neq R_z * R_x \quad (8)$$

Forma finală a unei matrici rezultante va arăta după cum urmează:

$$T_p = R_{x_i} * T_{x_i} * R_{y_i} * T_{y_i} * R_{z_i} * T_{z_i} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & X_p \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & Y_p \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & Z_p \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (9)$$

Unde a_{ij} reprezintă elementele unei matrici de rotație de la sistemul de coordonate anterior la noul sistem, iar X_p, Y_p, Z_p sunt coordonatele punctului caracteristic al efectorului în raport cu sistemul de axe de la baza RI.

2.2 Testarea pe RI model ABB IRB 6700/ 2,7m-300 kg



Fig.1. Model RI ABB IRB6700

Pentru a putea fi testat modelul matematic, a fost necesar să utilizez o arhitectură de robot industrial, a cărei cinematică o puteam verifica utilizând soft-ul ABB Robot Studio.

Prin urmare, modelul ales este ABB IRB 6700 cu sarcina maximă portantă 300kg, cu segmente dispuse excentric.

S-a plecat de la crearea unei scheme cinematice a modelului de referință (figura 2), iar apoi s-au adăugat distanțele majore dintre cuple, pe baza fișei tehnice a RI, fiind notate succint L_{IJ} , unde I este numărul distanței, iar J este axa pe care se află distanța (X, Y, Z).

S-au adăugat apoi sisteme de axe în fiecare cuplă în parte (figura 3), plecând de la baza RI cu sistemul $O, O_1, O_2, O_3, O_4, O_5, O_6$.

Pe baza tipurilor de rotație a cuplelor se poate defini și tipul de matrice de rotație pentru cinematica directă.

Mișcarea de rotație de la baza RI este în jurul axei Z. Mișcarea de rotație dintre baza RI și segmentul 1 este de rotație în jurul axei Y. Mișcarea de rotație dintre segmentul 1 și segmentul 2 este în jurul axei Y. Urmează sistemul de orientare al efectorului, care este de forma roll-pitch-roll, adică rotație în jurul lui X, a lui Y și a lui X.

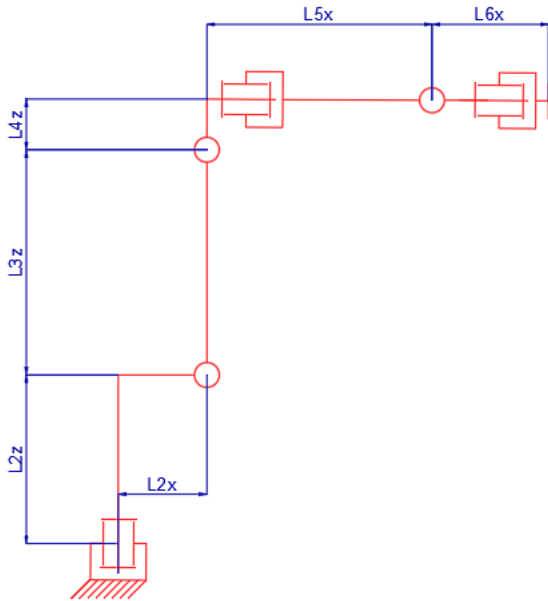


Fig.2. Schema cinematică a RI cu distanțele majore dintre cuple

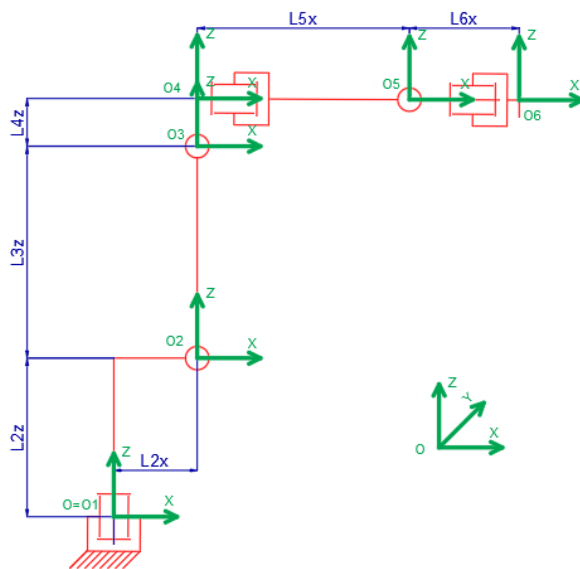


Fig.3. Schema cinematică a RI cu sisteme de axe adăugate

Prin urmare, matricea finală de forma T_p , care ne va oferi coordonatele punctului

caracteristic al efectorului, va fi dată de următoarea înmulțire:

$$T_p = R_{01z} * R_{12y} * R_{23y} * R_{34x} * R_{45y} * R_{56x} \quad (10)$$

Pentru a putea efectua această înmulțire ne vom folosi de distanțele dintre cuple ca fiind distanțe pe X, Y sau Z și respectiv de unghiurile de rotație maxime pe fiecare cuplă (tabelul 1.)

Tabelul 1. Parametrii pe cuple

Cuplă	Interval de rotație [grade]
1	$\theta_1 \in [-170^\circ ; +170^\circ]$
2	$\theta_2 \in [-65^\circ ; +85^\circ]$
3	$\theta_3 \in [-180^\circ ; +70^\circ]$
4	$\theta_4 \in [-300^\circ ; +300^\circ]$
5	$\theta_5 \in [-130^\circ ; +130^\circ]$
6	$\theta_6 \in [-360^\circ ; +360^\circ]$

Lungimile reprezentate în figura 2 sunt centralizate în tabelul 2.

Tabelul 2. Lungimile segmentelor

Denumire lungime	Valoare [mm]
L_{2x}	350
L_{2z}	780
L_{3z}	1145
L_{4z}	200
L_{5x}	1212,5
L_{6x}	220

Având toate datele se pot scrie matricile de trecere de la fiecare sistem de axe la următorul, după cum urmează:

$$R_{01z} = \begin{pmatrix} \cos \theta_1 & -\sin \theta_1 & 0 & 0 \\ \sin \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (11)$$

$$R_{12y} = \begin{pmatrix} \cos \theta_2 & 0 & \sin \theta_2 & L_{2x} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \theta_2 & 0 & \cos \theta_2 & L_{2z} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (12)$$

$$R_{23y} = \begin{pmatrix} \cos \theta_3 & 0 & \sin \theta_3 & L_{3x} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \theta_3 & 0 & \cos \theta_3 & L_{3z} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (13)$$

$$R_{34,x} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_4 & -\sin \theta_4 & 0 \\ 0 & \sin \theta_4 & \cos \theta_4 & L_{4z} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (14)$$

$$R_{45,y} = \begin{pmatrix} \cos \theta_5 & 0 & \sin \theta_5 & L_{5x} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \theta_5 & 0 & \cos \theta_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (15)$$

$$R_{56,x} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & L_{6x} \\ 0 & \cos \theta_6 & -\sin \theta_6 & 0 \\ 0 & \sin \theta_6 & \cos \theta_6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (16)$$

Matricea rezultată T_p , va fi dată de înmulțirea acestor matrici de rotație:

$$T_p = R_{01z} * R_{12y} * R_{23y} * R_{34x} * R_{45y} * R_{56x} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & X_p \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & Y_p \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & Z_p \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (17)$$

Pentru a facilita calculul și pentru a nu se face nici o greșeală, datele au fost introduse în mediul de calcul MathCAD. Inițial s-a plecat de la premiza că toți parametri unghiulari θ_i sunt egali cu 0, prin urmare poziția punctului caracteristic ar trebui să fie:

Pe X: $L_{2x} + L_{5x} + L_{6x} = 350 + 1212,5 + 220 = 1782,5$ mm

Pe Z: $L_{2z} + L_{3z} + L_{4z} = 780 + 1145 + 200 = 2125$ mm.

Rezultatul din MathCAD se poate observa în figura 4.

$$T_p := T_{01z} \cdot T_{12y} \cdot T_{23y} \cdot T_{34x} \cdot T_{45y} \cdot T_{56x} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1782.5 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 2125 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Fig.4. Rezultatul poziției de 0 din MathCAD

Același rezultat a fost oferit și de către ABB RobotStudio (figura 5) și de către CatiaV5 (figura 6)

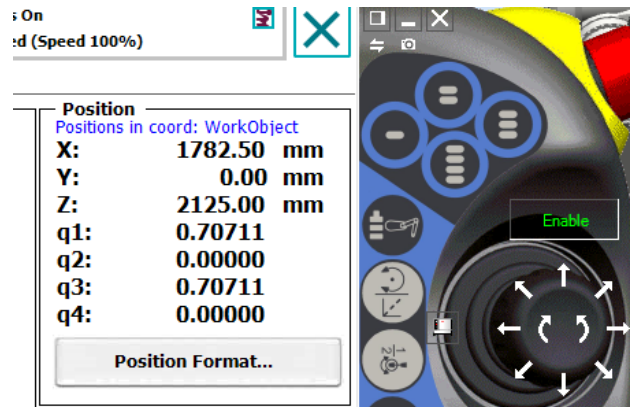


Fig.5. Rezultatul poziției de 0 din ABB RobotStudio

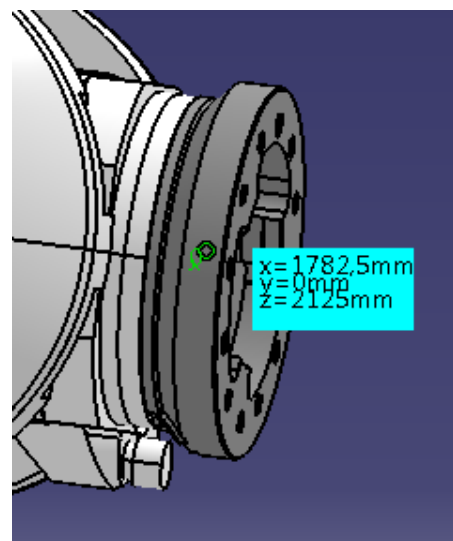


Fig.6. Rezultatul poziției de 0 din Catia V5

Pentru a putea testa și pentru parametri unghiulari diferiți de 0 au fost folosite următoarele valori:

$$\theta_1 = 6,84 ; \theta_2 = 5,38 ; \theta_3 = -2,15 ; \theta_4 = -18,8 ; \theta_5 = 12,59 ; \theta_6 = -7,11$$

Rezultatul din MathCAD se poate observa în figura 7.

$$T_p := T_{01z} \cdot T_{12y} \cdot T_{23y} \cdot T_{34x} \cdot T_{45y} \cdot T_{56x} = \begin{pmatrix} 0.964 & -0.158 & 0.212 & 1879.391 \\ 0.045 & 0.888 & 0.458 & 209.87 \\ -0.261 & -0.432 & 0.863 & 1993.9 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Fig.7. Rezultatul poziției 1 în MathCAD

Deoarece ABB RobotStudio, ține cont și de calibrarea RI și pentru că gradele pe fiecare cuple, sunt notate cu 2 zecimale, dar în realitate sunt mai multe, valorile au dat apropiate (figura 8), iar în Catia V5, unde nu se ține cont de calibrarea RI,

valorile au dat identice cu cele din MathCAD (figura 9).

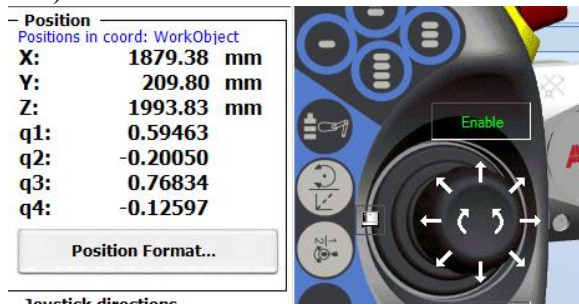


Fig.8. Rezultatul poziției 1 în ABB RobotStudio

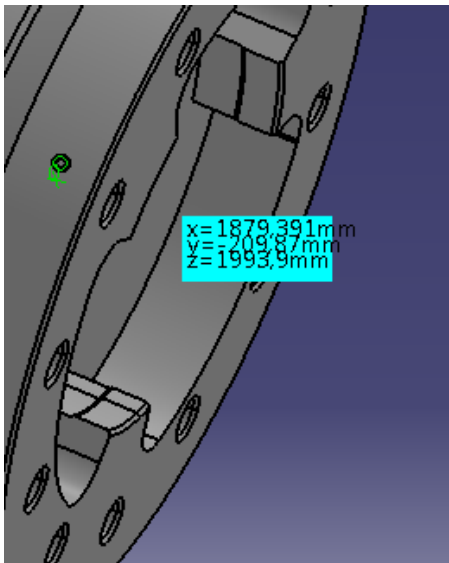


Fig.9. Rezultatul poziției 1 în Catia V5

2.3 Testarea pe RI model ABB IRB 460

Modelul de robot industrial ABB IRB 460 (figura 10), este un model cu lanț cinematic închis, dedicat operațiilor de paletizare.

Modelarea cinematică a acestui RI este mai complexă decât la modelul anterior. Complexitatea vine de la faptul că trebuie modelate matematic toate cuplele pasive ale RI și resetate în poziția de „zero”, fiind cuple ce influențează poziția finală a punctului caracteristic al efectorului. Din acest considerent, vor fi adăugate matrici de rotație în plus, matrici care vor reda dependența unghiulară a patruleterelor articulate, față de parametrii unghiulari θ_2 și θ_3 .



Fig.10. Model RI ABB IRB 460

2.3.1

După determinarea poziției cuplelor, în poziția de „zero” s-au scris următoarele matrici:

$$T_{01z} = \begin{pmatrix} \cos \theta_1 & -\sin \theta_1 & 0 & X_1 \\ \sin \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 & Y_1 \\ 0 & 0 & 1 & Z_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (18)$$

$$T_{12y} = \begin{pmatrix} \cos \theta_2 & 0 & \sin \theta_2 & X_2 \\ 0 & 1 & 0 & Y_2 \\ -\sin \theta_2 & 0 & \cos \theta_2 & Z_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (19)$$

$$T_{24y} = \begin{pmatrix} \cos(\theta_3 - \theta_2) & 0 & \sin(\theta_3 - \theta_2) & X_4 \\ 0 & 1 & 0 & Y_4 \\ -\sin(\theta_3 - \theta_2) & 0 & \cos(\theta_3 - \theta_2) & Z_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (20)$$

$$T_5 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & X_5 \\ 0 & 1 & 0 & Y_5 \\ 0 & 0 & 1 & Z_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (21)$$

$$T_{4reset} = \begin{pmatrix} \cos(-\theta_3) & 0 & \sin(-\theta_3) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(-\theta_3) & 0 & \cos(-\theta_3) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (22)$$

$$T_{45} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & X_6 \\ 0 & 1 & 0 & Y_6 \\ 0 & 0 & 1 & Z_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (23)$$

Unde X_i , Y_i , Z_i reprezintă coordonatele fiecărui sistem de axe a RI. Chiar dacă RI, are decât 4 axe comandate numeric, cinematic s-au definit 6.

Poziția finală a RI, va fi dat de înmulțirea matricilor:

$$T_p = R_{01z} * R_{12y} * R_{24y} * T_5 * T_{4reset} * R_{45} \quad (24)$$

De această dată, datele au fost introduse în Excel, deoarece a fost mult mai simplu de lucrat cu înmulțirea mai multor matrici, pentru teste și determinări corecte.

Deoarece în poziția de „0”, coordonatele au dat corect, s-a testat în primul rând corectitudinea calcului, atunci când parametrii unghiulari θ_i sunt diferiți de 0.

Primul caz a fost atunci când, parametrii unghiulari au avut următoarele valori:

$$\theta_1=0 ; \theta_2=18,44 ; \theta_3=35,83$$

Rezultatul din calcul este prezentat în figura 11, unde coordonatele punctului C4, reprezintă coordonatele punctului caracteristic al efectorului.

Cuple active	X	Y	Z
C1	0	0	234.5
C2	260	0	742.5
C3	260	0	742.5
C4	1609.940634	0	787.463

Fig.11. Coordonate în Excel

Validarea a avut loc tot prin intermediul RobotStudio (figura 12) și al Catia V5 (figura 13).

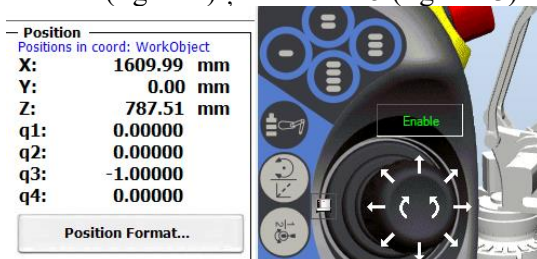


Fig.12. Rezultatul poziției în RobotStudio

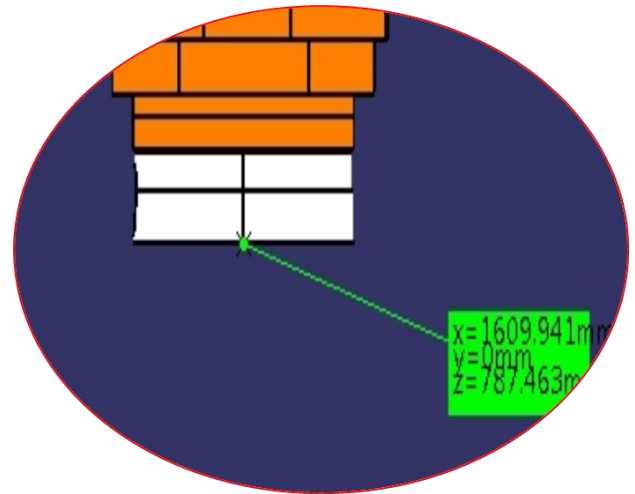


Fig.13. Rezultatul poziției în Catia V5

Pentru siguranță a fost testat încă un caz. Parametrii unghiulari au fost următorii:

$$\theta_1=10,6 ; \theta_2=18,44 ; \theta_3=54,06$$

Rezultatul din calcul se poate vedea în figura

14.

Cuple active	X	Y	Z
C1	0	0	234.5
C2	255.5631908	47.82735116	742.5
C3	255.5631908	47.82735116	742.5
C4	1356.967261	253.9495204	557.606

Fig.14. Coordonate în Excel pentru cazul 2

Rezultatele din RobotStudio se pot observa în figura 15, iar din Catia V5 în figura 16.

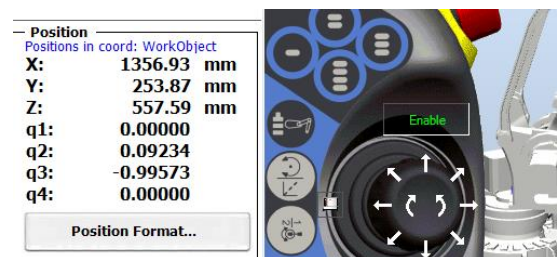


Fig.15. Rezultatul poziției în RobotStudio

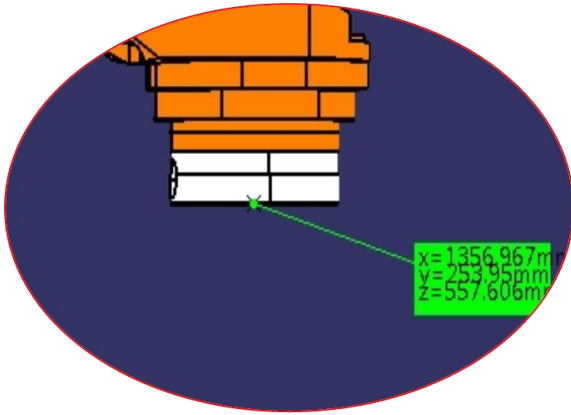


Fig.16. Rezultatul poziției în Catia V5

3 DIRECȚII DE CONTINUARE A LUCRĂRII

În viitor, îmi propun realizarea cinematicii inverse folosindu-mă de același algoritm și de asemenea de extinderea algoritmului pentru mai multe tipodimensiuni de RI, nu doar pentru braț articulată.

4 CONCLUZII

În lucrarea de față, a fost fundamentat un nou model matematic pentru modelarea geometrică directă a roboților industriali de tip braț articulată, model ce a fost validat cu ajutorul ABB RobotStudio.

5 MULȚUMIRI

Mulțumirile speciale, merg către as.drd.ing. Cozmin CRISTOIU, alături de care, s-a lucrat cot la cot, pentru rezolvarea problemelor modelului matematic și către prof. dr.ing. Adrian NICOLESCU, pentru sprijinul, fără de care nu s-ar fi putut duce la bun sfârșit lucrarea de față.

6 BIBLIOGRAFIE

[1] Baza CAD a robotului industrial ABB IRB 6700, cât și a documentației specifice se pot găsi la adresa

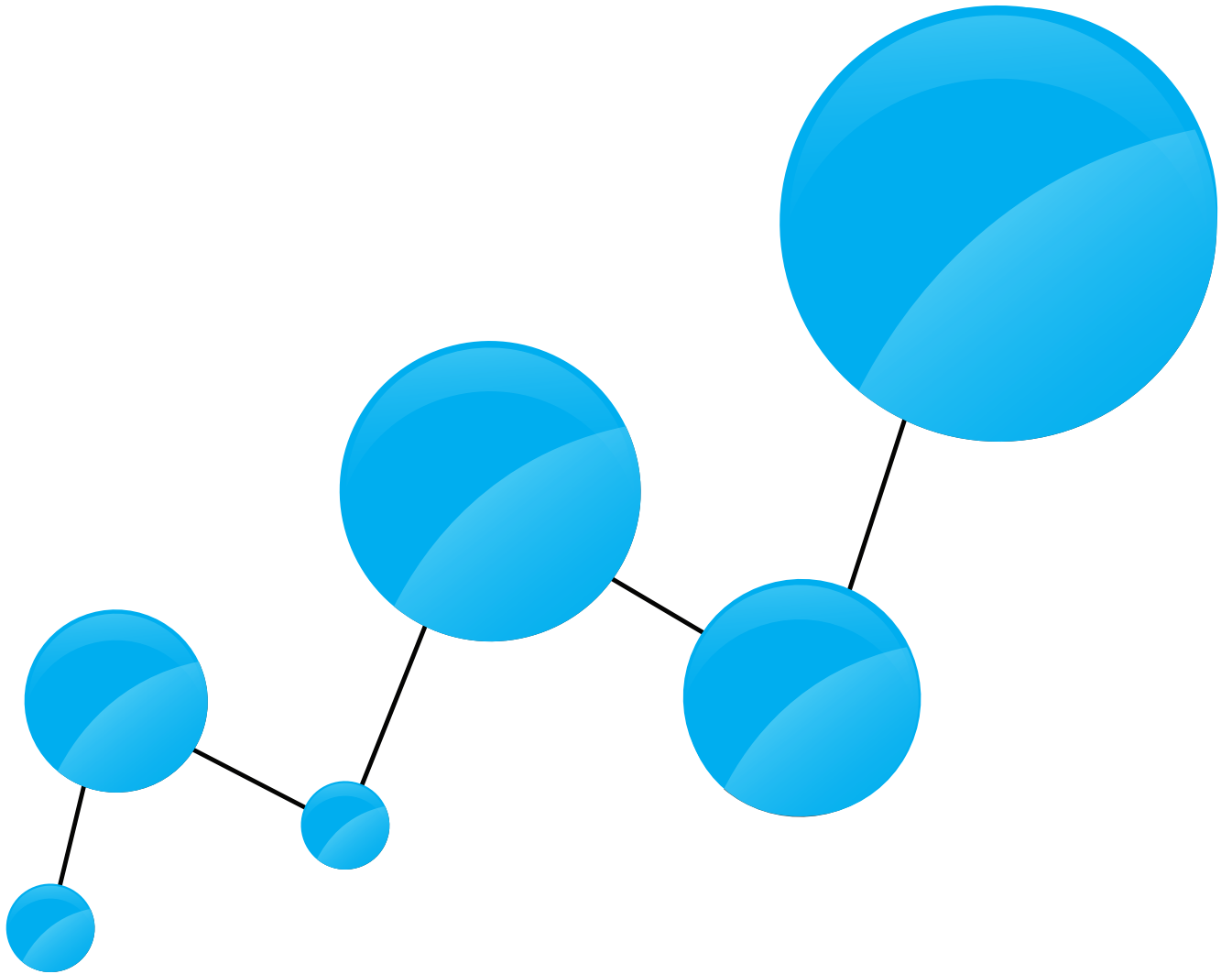
<http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-6700>

Accesat la data: 10.05.2017

[2] Baza CAD a robotului industrial ABB IRB 460, cât și a documentației specifice se pot găsi la adresa

<http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-460>

Accesat la data: 10.05.2017



www.imst.pub.ro