

# STRUCTURAL ANALYSIS OF ABB IRB 660 INDUSTRIAL ROBOT EQUIPED WITH A SPECIFIC PALLETIZING END-EFFECTOR

ȚELEA Laurențiu-Virgil

Facultatea: Inginerie Industrială și Robotică, Specializarea: Robotică, Anul de studii: IV, e-mail:  
laurtelea@gmail.com

Conducător științific: Prof. dr. ing. Cristina Pupăză, Conf. dr. ing. Florea Dorel Anania,  
As. drd. ing. Tudor George Alexandru

*REZUMAT: The present paper proposes a modelling and simulation approach that is applicable to transient structural simulations for palletizing robots, taking into account their end-effector and operating conditions. To lower the computational demands of the model, a mesh generation strategy is described. The results achieved by the simulations emphasize the structural behavior of the robot when carrying out a working cycle, in terms of stress and displacement. The approach can be furtherly used for examining the rigidity of the arms or for developing optimization studies.*

*CUVINTE CHEIE: robotul ABB IRB 660, paletizare, IAC, analiză cinematică, analiză în regim tranzitoriu*

## 1. Introducere

Studiul structurilor cinematice pe baza metodei elementelor finite (MEF) reprezintă o etapă esențială pentru validarea unor prototipuri virtuale sau pentru dezvoltarea studiilor de optimizare. În cazul roboților industriali pentru paletizare, complexitatea fenomenelor cinematice și dinamice care guvernează funcționarea acestora aduce în discuție nevoia de utilizare a analizelor în regim tranzitoriu. În acest fel, se poate evalua integritatea structurală a elementelor care transferă mișcarea, ținând cont de o ciclogramă de lucru care surprinde cele mai solicitante scenarii. Astfel de modele de simulare sunt caracterizate printr-un număr ridicat de elemente de discretizare, necesitând definirea unor multitudinilor de cuple cinematice care dezvoltă variații abrupte ale accelerațiilor. Din aceste considerente, elaborarea unor strategii pentru reducerea dimensiunilor modelului de calcul reprezintă o necesitate, scopul fiind acela de a crește performanțele de soluționare, asigurând totodată și acuratețea rezultatelor obținute.

## 2. Stadiul actual

Abordări privind analiza elementelor structurale din cadrul roboților industriali pe baza MEF sunt răspândite în literatura de specialitate. Spre exemplu, modele de simulare în care geometria robotului este aproximată prin elemente de tip hexaedre este prezentată în [1]. În acest caz, autorii realizează în primă fază o analiză cinematică, încărcările fiind transferate într-o analiză statică pentru evaluarea tensiunilor și a deplasărilor în cel mai solicitant caz. Similar, lucrarea [2] propune o abordare de optimizare a brațelor prin discretizarea completă a robotului cu elemente de tip tetraedru. Parametrii pentru optimizare sunt derivați din analiza statică. În lucrarea [3] este prezentată o altă abordare pentru simularea brațelor unui robot, fiind realizată aproximarea preliminară a acestora cu structuri din bare, rezultatele fiind transpuse pe un model tridimensional. Similar cu lucrarea de față, lucrarea [4] aduce în discuție analiza structurală în regim tranzitoriu, scopul cercetărilor fiind acela de dezvoltare a unor modele de compensare activă a cedărilor elastice. Tema de proiect constă în analiza cinematică și în regim tranzitoriu a robotului ABB IRB 660, cu arhitectură generală de tip braț articulată dedicat operației de paletizare cu 4 axe comandate numeric, și a efectorului cu care este echipat acesta, efectorul fiind dedicat operației de paletizare realizată în aplicație. Pentru realizarea analizelor s-a utilizat versiunea 19.0 a programului ANSYS, interfața Workbench. Un prim obiectiv al proiectului este de a studia cinematica robotului ABB IRB 660 prin

Scopul simulărilor fiind acela de a evalua încărcările din cuplele cinematice. Cel de-al doilea obiectiv este acela de studiu comportarea dinamică a robotului ABB IRB 660 prin analiza în regim tranzitoriu pentru a determina deplasările, tensiunile și coeficientul de siguranță în condiții reale de funcționare pe durata unui întreg ciclu de lucru ce constă în paletizarea unor cutii de carton paralelipipedice și ajungând în poziția cea mai defavorabilă a robotului.

### 3. Date privind aplicația de proiect

În aplicația care stă la baza fundamentării temei este vorba despre operația de paletizare care este realizată de către un robot ABB IRB 660 cu arhitectură generală de tip braț articulat, dedicat operației de paletizare, cu 4 axe comandate numeric și un sistem de cuple pasive pentru menținerea poziției efectorului mereu verticală.

Cutiile ce urmează să fie manipulate de către robot vin pe două conveioare, urmând să fie puse pe paleți, robotul creând două stive simultan. Cutiile ce vin pe conveiorul din stânga robotului sunt puse pe paletul din stânga, iar cele de pe conveiorul din dreapta sunt aduse pe paletul din dreapta. Robotul manipulează și despărțitoarele de carton, pe care le ia dintr-un suport ce se află în spatele acestuia, punându-le peste paleți. Robotul poate lua un număr mai mare de cutii, în funcție de schema de paletizare ce este folosită pentru stiva respectivă. Acestea sunt împinse de pe conveiorul de intrare cu ajutorul unui sistem mecanic până pe suportul efectorului, apoi fiind fixate prin presare și de aici transportate până la palet.

În celulă sunt prezenți anumiți senzori ce ajută la bunul transport al cutiilor către locul de unde acestea vor fi preluate, aceștia generând semnale pentru pornirea conveioarelor și a celorlalte sisteme mecanice. Atunci când paletul este încărcat complet, acesta este evacuat din sistem, fiind transportat pe un conveior, urmând ca în locul acestuia să fie adus un nou palet. Celula dispune de două sisteme de stocare și distribuție a paletilor, pentru posibilitatea utilizării la nevoie a două tipuri dimensionale diferite de paleți. La final, paletul încărcat ajunge la sistemul de înfoliere, pregătindu-l pentru transport.

O Vedere de ansamblu a aplicației este prezentată în figura 1.



Fig. 1 Prezentarea celulei pentru aplicația de paletizare

### 4. Considerente de topologie

Modelul 3D al robotului ABB IRB 660 a fost importat de pe site-ul producătorului ABB în formatul neutru Parasolid (.x\_t), acesta fiind recomandat în pofida formatului STEP deoarece sunt șanse mult mai reduse să existe erori de geometrie datorate lipsei conectivității dintre fețe. Deoarece modelul importat are foarte multe detalii inutile calculului de inginerie asistată, s-a recurs la curățarea acestuia pentru reducerea semnificativă a timpilor de rezolvare.

Pentru curățarea modelului au fost realizat numeroase operații de ștergere a fețelor (teșituri, raze de racordare), a geometriilor ce ar îngreuna timpul de calcul (motoare) și de împărțiri, grupări de fețe. În plus, în cadrul unor geometrii fără rol funcțional, dar totuși neregulate, s-a recurs la modelarea în locul acestora a unor forme simple, în principal cilindrice (vezi figura 2).

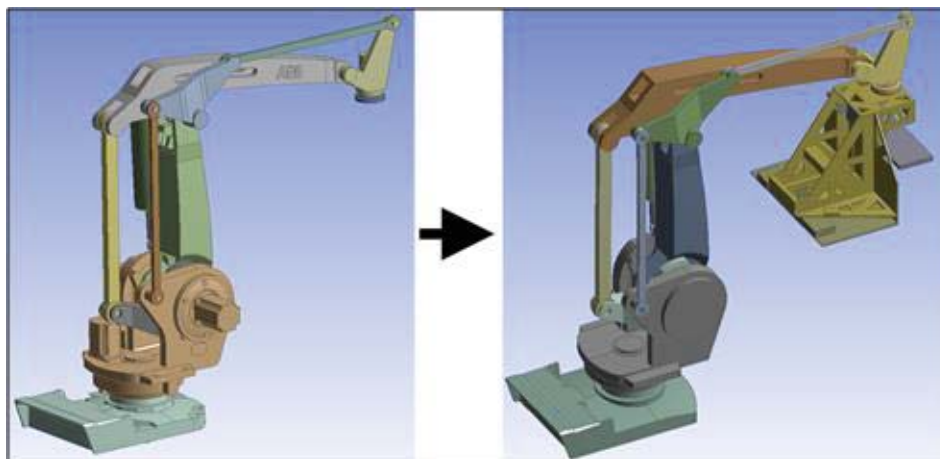


Fig. 2 Geometria importată a robotului, Modelul de calcul al robotului și efectorului după curățare

Având în vedere faptul că robotul ABB IRB 660 este unul cu arhitectură generală de tip braț articulată cu lanț cinematic închis și este dedicat operației de paletizare, pe lângă cele patru axe comandate numeric, mai există încă 12 cuple pasive. Primul sistem de cuple pasive, fiind reprezentat de patrulater, este destinat rigidizării robotului. Al doilea, ce integrează triadă și diadă ajută la menținerea axei flanșei mereu verticală, acesta fiind particularitatea roboților cu această arhitectură. În afară de cupla cilindrică de la sistemul de balans al robotului, toate celelalte cuple sunt de rotație.

Efectorul funcționează integrând două cuple de translație, pentru deplasarea liniară a bacurilor de susținere și fixare a cutiilor de carton paralelipipedice.

## 5. Analiza cinematică

Analiza cinematică reprezintă studiul deplasării ansamblurilor în timpul funcționării, considerând toate componentele ca fiind rigide. După definirea cuplelor cinematice, programul blochează automat deplasările sau rotațiile pe anumite axe. Detalii privind cuplele cinematice definite pentru realizarea analizei cinematice sunt prezentate în figura 3.

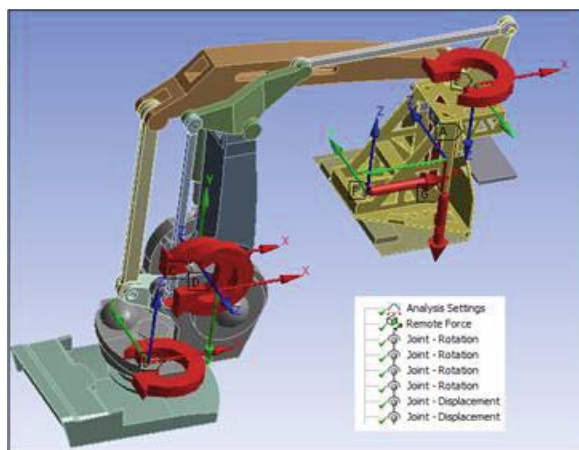


Fig 3. Reprezentarea încărcărilor cuplelor și sensurilor acestora

În urma rulării simulărilor, deplasarea maximă obținută este de 3162,1 mm, de la momentul  $t=12,632$  secunde. Aceasta reprezintă și cea mai defavorabilă poziție a robotului în acest ciclu de lucru. Robotul studiat are dimensiunea spațiului de lucru pe orizontală de 3150 mm, aceasta mărindu-se prin adăugarea efectorului. Se poate observa, deci, că valoarea deplasării maxime reprezintă întinderea robotului pe aproape tot spațiul de lucru posibil în momentul atingerii poziției defavorabile (vezi figura 4).

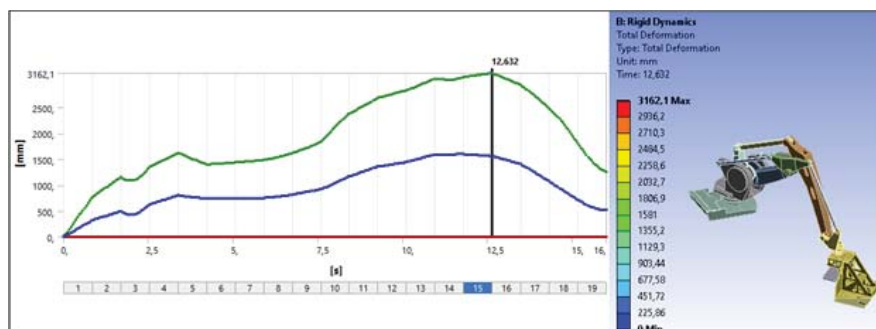


Fig 4. Deplasarea totală maximă, momentul de timp  $t=12,632$  s

Valoarea vitezei totale maxime atinse este de 1245,2 mm/s, de la momentul  $t=15,608$  secunde. Aceasta reprezintă o viteză mult sub cea maxim posibilă a fi atinsă de către robot, deoarece vitezele celor trei axe ale sistemului de poziționare (axele 1, 2 și 3) sunt de  $130^\circ/\text{secundă}$  ( $2,3 \text{ rad/s}$ ), iar raportându-ne chiar la o rază de 1000 mm pe care s-ar putea deplasa robotul, tot ar fi sub valoarea vitezei maxime de aproximativ 2300 mm/s (vezi figura 5).

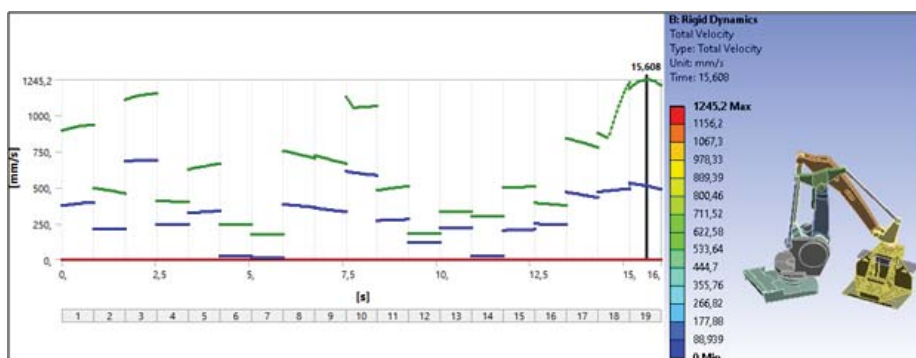


Fig 5. Viteza totală maximă, momentul de timp  $t=15,608$  s

## 6. Analiza structurală în regim tranzitoriu

Pentru a realiza o discretizare cât mai bună pentru geometria completă, reprezentată de robotul ABB IRB 660 și efectorul cu care acesta este echipat, a fost controlată folosind metoda „Hex Dominant” pentru toate componentele. S-a optat pentru funcțiile „Body Sizing” și, dacă era cazul, „Face Sizing”. În plus, s-a încercat maparea a cât mai multor fețe prin „Face Meshing”. În urma tuturor metodelor de a controla discretizarea, calitatea medie a acestora este de aproximativ 82%, cu un număr de aproape 178000 de noduri și aproximativ 164000 de elemente.

Calitatea discretizării este foarte importantă în analiza dinamică în regim tranzitoriu, deoarece o calitate slabă ar conduce la rezultate care nu ar fi aproape de cele reale, acestea neputând să convergă. În principal, o calitate proastă a discretizării în cazul ansamblurilor ar produce fenomenul de „chattering”, existând noduri și elemente ale componentelor în contact care ori se întrepătrund, ori sunt distanțate. În figura 6 se face prezentarea unei vederi de ansamblu a discretizării obținute.

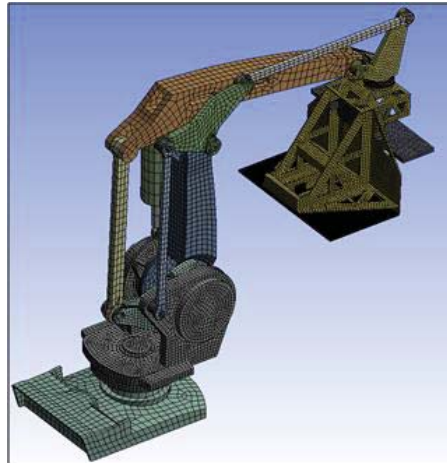


Fig 6. Geometria discretizată a robotului și efectorului

Analiza în regim tranzitoriu 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, durată pe care se face simularea.

Valorile deplasărilor unghiulare și liniare pentru cele patru axe comandate numeric ale robotului ABB IRB 660 și ale cuplelor efectorului au fost importate din ciclogramele de mișcare scoase generate de programul RobotExpert, acesta fiind programul în care a fost realizată simularea aplicației, implicit și a ciclului de lucru de interes. Acest ciclu este reprezentat de mișcarea robotului pentru paletizarea cutiilor, luându-le de pe unul dintre cele două conveioare, și plasându-le pe paletul corespunzător. În cadrul acestui ciclu de lucru selectat robotul atinge și una dintre cele mai defavorabile poziții pe care le poate atinge.

Pentru evaluarea convergenței, a fost monitorizat criteriul „Force Convergence”. Acesta oferă informații referitoare la echilibrul energiilor în sistem după fiecare iterație.

Numărul total de iterații necesare rezolvării a fost de 4164 pe durata celor 16 secunde ale ciclului de lucru. La anumiți pași de timp, rezultatele nu au converș, fiind generată o bisecție, care are drept consecință dublarea numărului de iterații pentru rezolvare. Există multiple soluții pentru evitarea unor astfel de situații. Cu toate acestea, datorită complexității problemei, punerea lor în practică implică creșterea semnificativă a timpului de soluționare.

Valoarea tensiunii echivalente maxime este 509,43 MPa, la momentul de timp  $t=4,4597$  secunde. Aceasta nu reprezintă un motiv de îngrijorare, deoarece valoarea este datorată unui concentrator de tensiuni rezultat în urma simplificării modelului de calcul. În afară acestui vârf, majoritatea tensiunilor calculate se află sub pragul admisibil al aliajului de aluminiu din care sunt confecționate majoritatea elementelor structurale ale robotului.

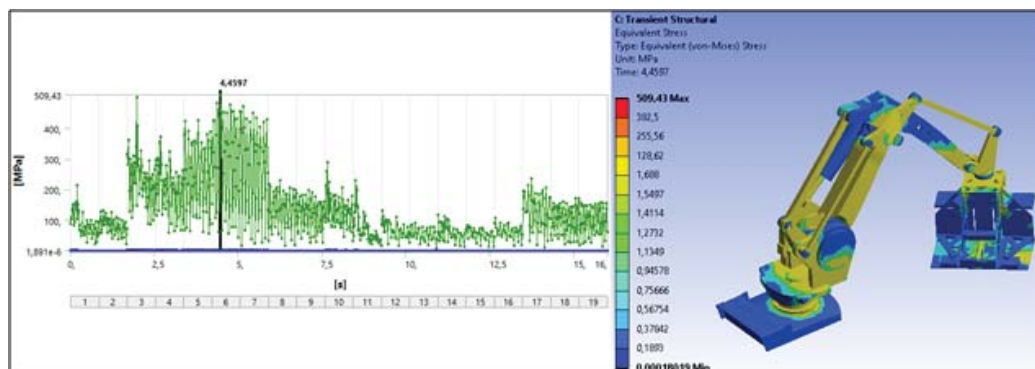


Fig 7. Tensiunea echivalentă maximă, momentul de timp  $t=4,4597$  s

Valoarea vitezei totale maxime este 3532,7 mm/s, de la momentul  $t=2,0606$  secunde. Aceasta reprezintă o viteză admisibilă a fi atinsă de către robot, deoarece vitezele celor trei axe ale sistemului de poziționare (axele 1, 2 și 3) sunt de 130°/secundă (2,3 rad/s), iar raportându-ne la o rază de 2000 mm pe care s-ar putea deplasa robotul, tot ar fi sub valoarea vitezei maxime de aproximativ 4600 mm/s.

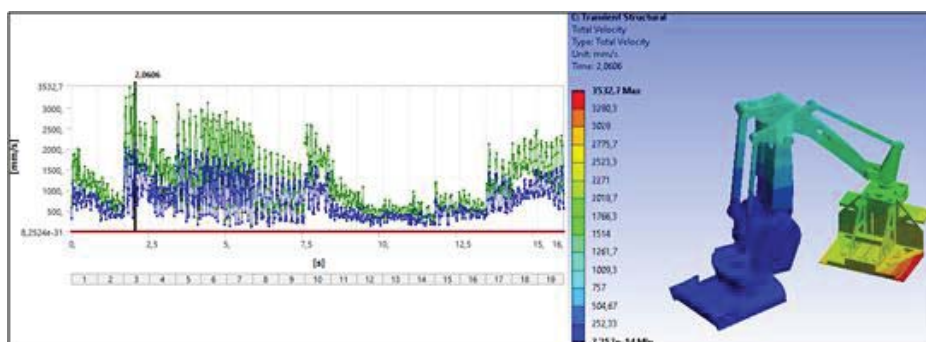


Fig 8. Viteza totală maximă, momentul de timp  $t=2,0606$  s

## 7. Concluzii

În cadrul analizei cinematice a fost verificată deplasarea pe traiectoria corespunzătoare celei din animația sistemului CAD (simularea din programul RobotExpert). A fost monitorizată evoluția momentelor și a forțelor din cuplurile active și pasive (putând fi exportate în analiza statică structurală dacă se dorește).

- Analiza cinematică este o analiză nouă și specifică roboților, fiind o nouă caracteristică a programelor de inginerie asistată de calculator;
- În cazul analizei dinamice în regim tranzitoriu, precizia rezultatelor este dată de calitatea discretizării, iar modul de control al discretizării (s-a utilizat „Hex Dominant Method”, „Body Sizing”, „Face Sizing” și „Face Meshing”) a depins de felul în care geometria a fost curățată (au fost utilizate comenzile „Repair Hole”, „Slice”, „Face Delete”, „Body Delete”, „Extrude”, „Boolean”, „Face Split”, „Merge”, „Projection”)
- Rezultatele s-au obținut după 4164 de iterații încadrate în cele 16 secunde ale ciclului de lucru pe care îl execută robotul ABB IRB 660;
- pentru monitorizarea tensiunilor am identificat unul din momentele maxime în care acestea se înregistrează ( $t=4,4597$  secunde)
- am identificat zonele cu tensiuni maxime pentru a vedea zonele de pe structură unde după un număr anumit de cicluri de lucru poate apărea oboseala
- în același timp supradimensionarea structurii conferă avantajul operării robotului într-un spațiu de lucru mai extins

## 8. Bibliografie

- [1]. Arora, R., și Dhama, S. S. (2017). “Finite Element Analysis and Multibody Dynamics of 6-DOF Industrial Robot”, World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Mechanical and Materials Engineering, 7(5), 1-12, 2249-8001.
- [2]. Bugday, M., și Karali, M. (2019). “Design optimization of industrial robot arm to minimize redundant weight”, Engineering Science and Technology, an International Journal, 22(1), 346-352.
- [3]. Choong, W. H., și Yeo, K. B. (2007). „Structural Design for a 3DOF Robot Lower-Arm via Computer Aided Engineering”. Centre of Materials & Minerals, Universiti Malaysia Sabah, 88999, 8-18.
- [4]. Zhang, J., și Cai, J. (2013). “Error Analysis and Compensation Method Of 6-axis Industrial Robot”, International Journal on Smart Sensing & Intelligent Systems, 6(4), 1383-1399.