

# 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.

---

<sup>1</sup> 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.

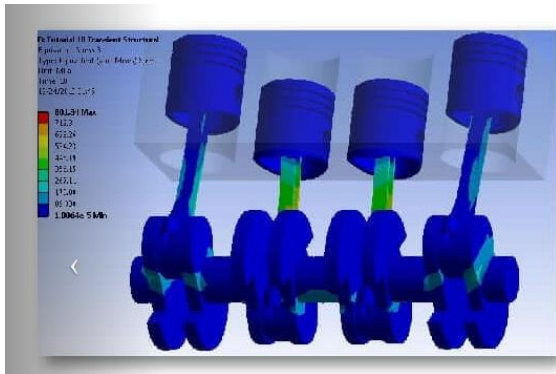


Fig. 1. Rezultate tensiuni echivalente [2]

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 cuplele 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 cuple 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 cuplele 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 cuple cinematice i se asociază un sistem de referință propriu, în centrul cuplei - Reference Coordinate System.

Definirea cuplelor cinematice prin selectarea suprafețelor care formează cuplele 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 cuple de rotație [5]. Programul constrânge automat gradele de libertate necesare pentru funcționarea cuplei.

La definirea cuplelor 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 cuple (Body-to-Body) de revoluție sau cilindrice, cuple (Fix-to-Body) de revoluție și cuple fixe. După definirea tuturor componentelor ca fiind rigide se definesc cuplele.

Definirea încărcărilor pe motor:

Încărcările acceptate pentru analiza cinematică sunt: accelerații, forțe și deplasări, încărcări specifice cuplelor 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.

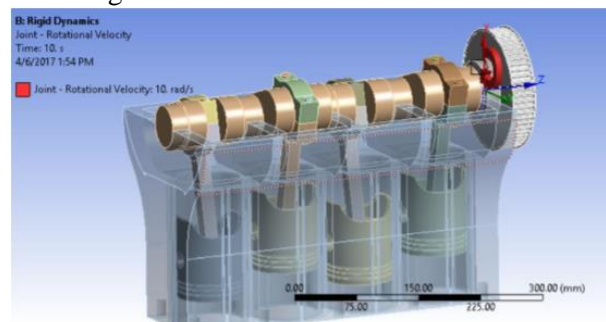


Fig. 2. Încărcări pe motor

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

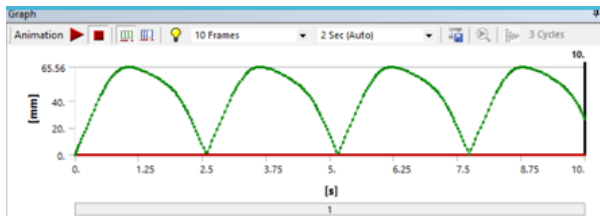


Fig. 3. Graficul deplasărilor totale



Fig. 4. Graficul vitezei

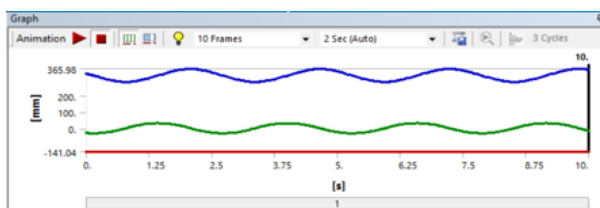


Fig. 5. Graficul poziției bieiei

S-au inclus în lucrare graficele deplasărilor totale, vitezei și pozițiilor unei bieiei 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.

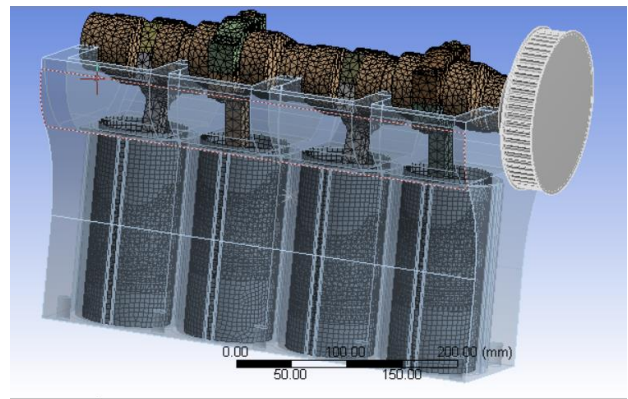


Fig. 6. Discretizare cu elemente de 5 mm

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:

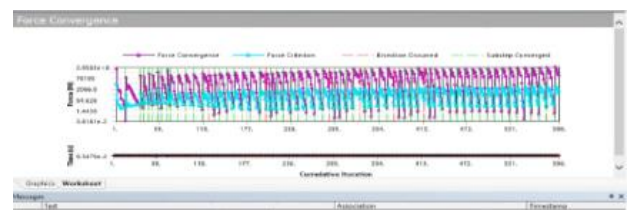


Fig. 7. Rezolvarea - 580 de iterații

## Rezultate

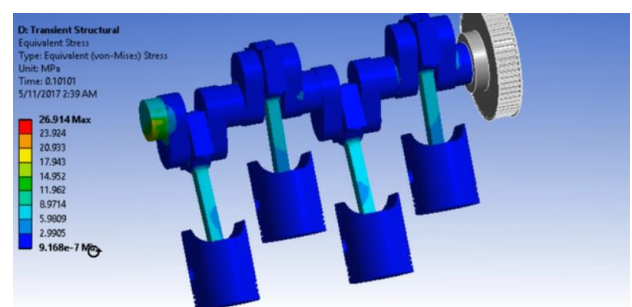
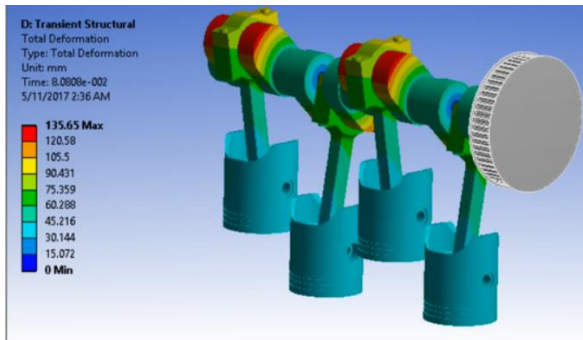


Fig. 8. Tensiuni echivalente.



**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](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