

# DETERMINAREA MODURILOR PROPRII DE VIBRAȚII A UNEI STRUCTURI DE TIP CADRU PRIN METODA ELEMENTELOR FINITE

ȘCHIOPU<sup>1</sup> Mădălin-Cosmin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultatea:IMST, Specializarea: IAAC, Anul de studii:1, e-mail: schiopumadalin@yahoo.ro

Conducător științific: Conf.dr.ing. **Daniel Vlasceanu**

*REZUMAT: Această lucrare descrie pașii necesari modelării unui calcul prin metoda elementelor finite a unei structuri de tip cadru. Acest cadru este utilizat pentru construcția unui kart. Calculul este necesar pentru determinarea modurilor și valoarea frecvențelor de vibrații proprii pentru a putea avea limitele superioare în alegerea unui motor termic care să propulseze kartul.*

*CUVINTE CHEIE: modurile proprii, frecvențe, vibrații, metoda elementelor finite.*

## 1. Introducere

Metoda elementelor finite, este o metodă de simulare numerică, prin care un obiect este împărțit într-un număr finit de elemente geometrice care formează o rețea pe suprafața și/sau în interiorul piesei. Se introduc datele de intrare: forțe, momente, viteze, proprietăți de material, metoda de analiză, și se obțin rezultate prin convergența unor matrici ce conțin eforturile, deplasările și deformațiile fiecărui element în parte.

Un astfel de calcul este și calculul de determinare a modurilor și frecvențelor proprii, rezultatul acestui calcul sunt valorile și modul în care o structură sau un corp se comportă la o încărcare dată sau la o poziție liberă.

În această lucrare se va descrie pașii necesari modelării unei structuri de tip cadru, confecționată din bare extrudate din oțel cu diametrul exterior de  $\phi 32$  mm și cu o grosime de perete de 2 mm. Asamblarea barelor se face prin cordoane de sudură.

Acest calcul este necesar pentru determinarea valorilor frecvențelor proprii, pentru a determina poziția dar și valorile superioare a caracteristicilor unui motor termic, pentru ca frecvența generată în funcționare de acesta să nu intre în rezonanță cu cadrul. Folosind formule de calcul clasic pentru motoarele cu combustie internă în patru timpi am determina valoarea frecvenței generate de motor la turație maximă, folosind formula 1.

$$\frac{N_c}{2} * \frac{N}{60} = f \text{ [Hz]} \quad (1)$$

Unde:

$N_c$  - reprezintă numărul de cilindri;

$N$  – reprezintă turația maximă a motorului [rot/min];

Disponem de un motor termic cu un cilindru în patru timpi, care poate să atingă 4000 rot/min, în urma introducerii datelor în formula 1, obținem o valoare pentru frecvență de 33 Hz.

## 2. Pregătirea modelului

Atât cadrul cât și elementele kartului au fost proiectate 3D anterior în programul Inventor, astfel va trebui să ștergem piesele care nu sunt sudate de cadrul, pentru a putea analiza structura acestuia. În figura 1 este prezentat kartul fără motor, deoarece acesta va fi selectat în urma interpretării calculului frecvențelor. În figura 2 este prezentat doar cadrul cu elementele sale, după ștergerea elementelor asamblabile.

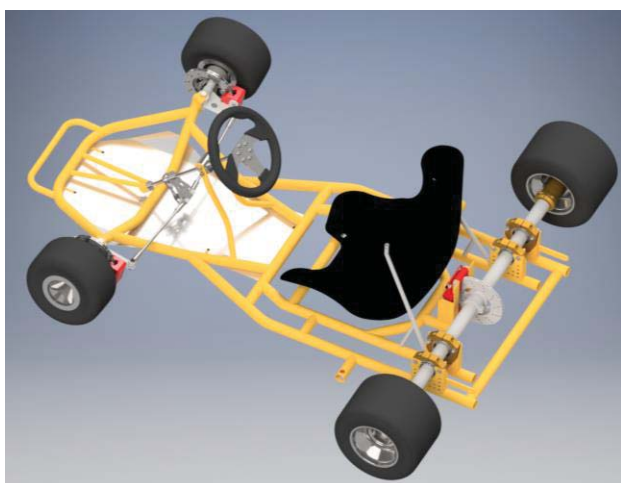


Figura 1. Model kart “Yame”

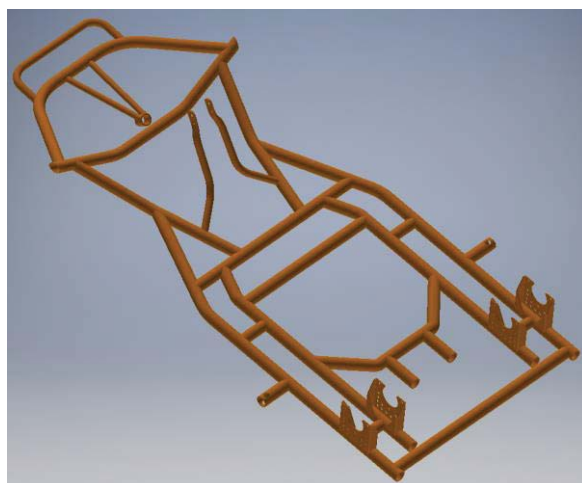


Figura 2. Cadru

După pregătirea modelului, acesta se importă în programul de preprocesare ANSA, în vederea discretizării și introducerea încărcărilor, constrângerilor și a modelării cordoanelor de sudură.

### 3. Preprocesare

#### 3.1 Discretizarea

În etapa de preprocesare a calcului, după curățarea geometriei de muchii care se intersectează sau au o distanță mică, care au ieșit drept urmare a importării din programul CAD, datorită faptului că elementele constructive ale cadrului au o grosime uniformă, putem transforma volumele existente în elemente de tip “Shell” care nu au grosime, în vederea discretizării cu elemente bidimensionale de tip quad.

Poziționarea shell-ului fiind aleasă cu opțiunea “Offset” a funcției “Mid Skin”, rezultatul astfel obținut se poate vedea în figura 3.

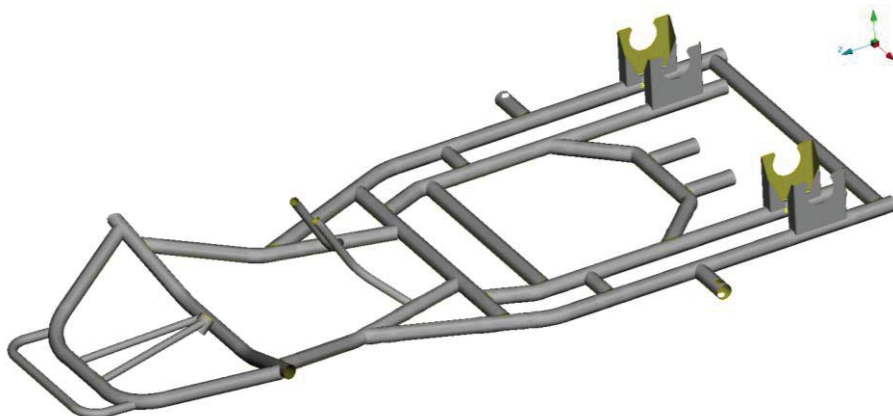


Figura 3. Cadru Middel Skin

Schimbarea tipului de elemente finite din tridimensionale în bidimensionale are un impact important, în reducerea timpului de convergență a calcului dar și în precizia acestuia, datorită ecuațiilor atașate elementelor 2D, care sunt specifice calculului structural.

Discretizarea se execută manual, folosind funcția “MAP”, criteriile de mesh având valoarea minimă a laturilor cadrilaterelor de 5 mm și valoarea maximă respectiv de 9 mm valoarea medie și dorită fiind de 7 mm.

Valoarea de 7 mm a fost aleasă pentru a facilita crearea cordoanelor de sudură, care s-a dovedit experimental că au o rază de depunere de material de 3,5 mm la un cordon de sudură continuu, între două table perpendiculare. Un exemplu de cordon de sudură de această dimensiune se poate observa în figura 4, unde “a” este egal cu 3,5 mm, respectiv  $z_2=z_1=3,5$  mm.

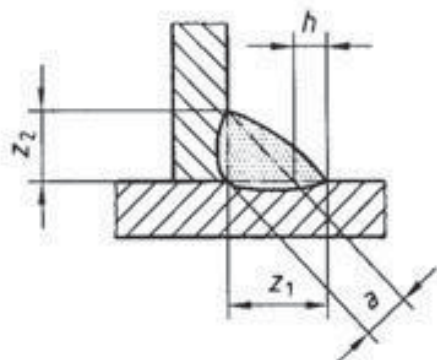


Figura 4. Secțiunea cordonului de sudură a două table perpendiculare [1]

După realizarea discretizării și verificarea respectării criteriilor de mesh, fiecare element constructiv a cadrului este trecut într-o proprietate individuală “PID”, această etapă permite atribuirea de proprietăți diferite pentru fiecare componentă în parte dacă este cazul, meshul și PID-urile se pot observa în figura 5.

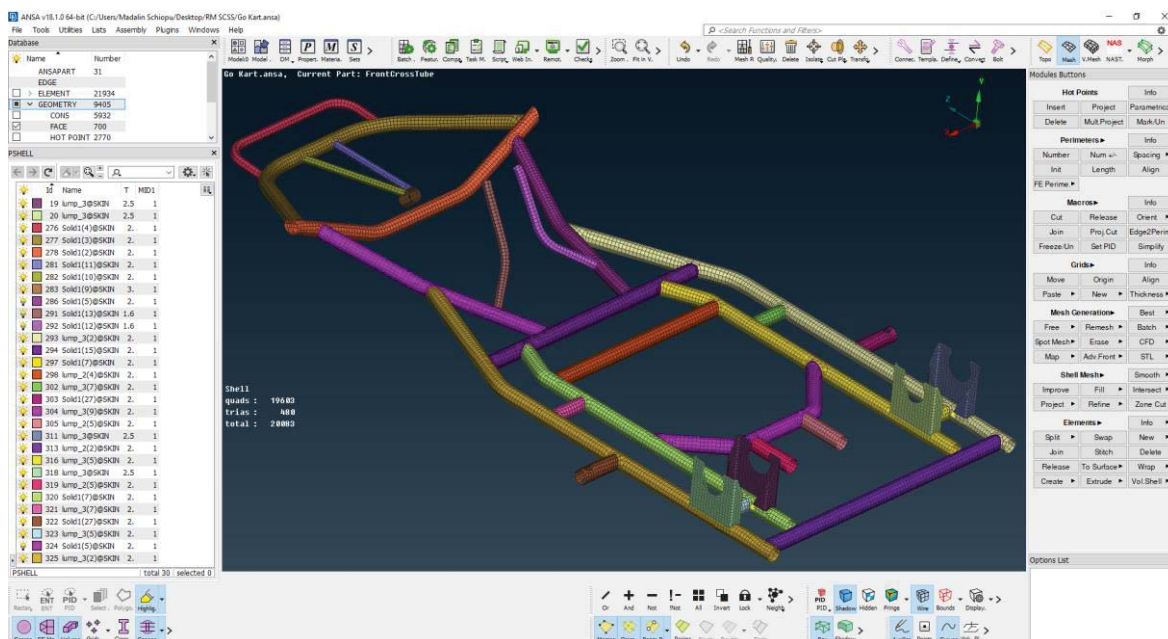


Figura 5. PID-uri și discretizarea cadrului

În vederea modelării cordoanelor de sudură, trebuie să delimităm zonele în care două țevi urmează să fie conectate, pentru a putea controla în mod exact lungimea elementelor aflate în acea zonă. Ca urmare se va șterge mesh-ul din zonele care urmează să fie parametrizate, folosind funcția “Zone Cut”, se va executa o “tăietură” de 3,5 mm pentru partea superioară a capătului țevii care va fi sudată pe suprafața longitudinală a celeilalte țevi. Apoi se va proiecta capatul țevii pe partea longitudinală și se va executa un al doilea zone cut pe suprafața longitudinală a proiecției capatului perpendicular.

După executarea „tăieturilor” trebuie sa se alinieze nodurile de pe muchia țevii perpendiculare pe cele 3 zone nou create. Aceste etape sunt descrise în figurile 6,7 și 8.

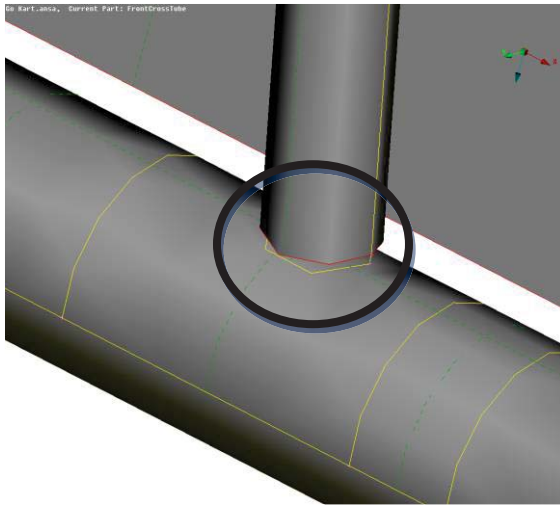


Figura 6. Capatul perpendicular proiectat

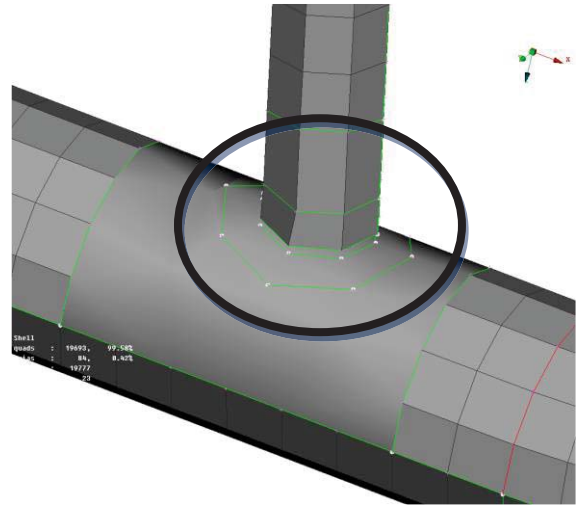


Figura7. Cele 3 zole tăiate și punctele aliniate

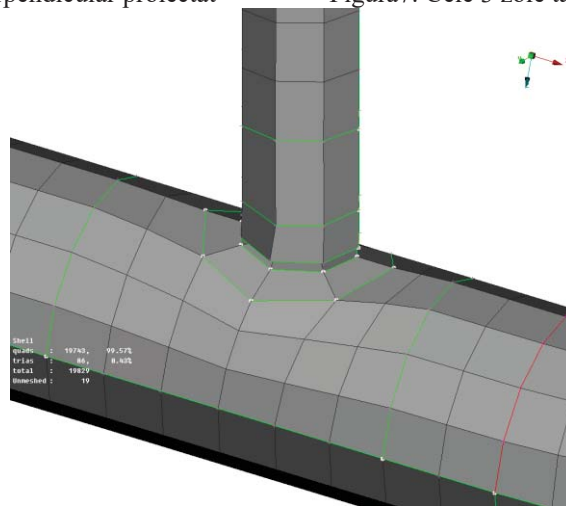


Figura 8. Refacerea mesh-ului în zonele tăiate.

### 3.2 Condiții la limită și modelarea cordoanelor de sudură.

Pentru modelarea cordoanelor de sudură se trece în decul NASTRAN din ANSA pentru introducerea rigizilor. Rigizii folosiți pentru a modela cordoanele de sudura sunt cei de tipul „REB2” cu opțiunea “Node to Node”. Astfel legăturile create vor fi rigizi care au o valoare a rigidității de  $1 \cdot 10^4$  N/mm pentru cele 3 translații și respective  $1 \cdot 10^8$  N/mm pentru cele 3 rotații, proprietățile rigizilor sunt date și în figura 9.

PBUSH	650285K	1.E4	1.E4	1.E4	1.E8	1.E8	1.E8
+	B	0.	0.	0.	0.	0.	0.
+	GE	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
+	RCV	1.	1.	1.	1.		

Figura 9. Valorile rigidităților rigizilor

Această simulare pleacă de la ipoteza că toate cordoanele de sudură au o rigiditate infinită și că acestea nu se rup.



Pentru a crea un cordon de sudură care are o rază trebuie respectate următoarele reguli de selecție, nodul care este selectat primul este nodul “Master”, și nodul selectat al doilea este nodul “Slave”. Nodul master este situat pe suprafața proiectată pe țeava longitudinală, a capatului țevii. Astfel acest nod (1) din figura 10, este nodul care se selectează primul în crearea rigizilor. Pentru a obține o rază care să modeleze raza cordonului de sudură, nodul 1 este nodul master pentru toți cei 3 rigizi, ordinea selectării este astfel, nodurile 1-2, 1-3, 1-4. Dacă selectarea nu se execută în acest mod, obținem o eroare la verificarea rigizilor. În figura 10 sunt notați rigizii cu litere, A,B,C și respectiv nodurile cu numerele 1,2,3,4.

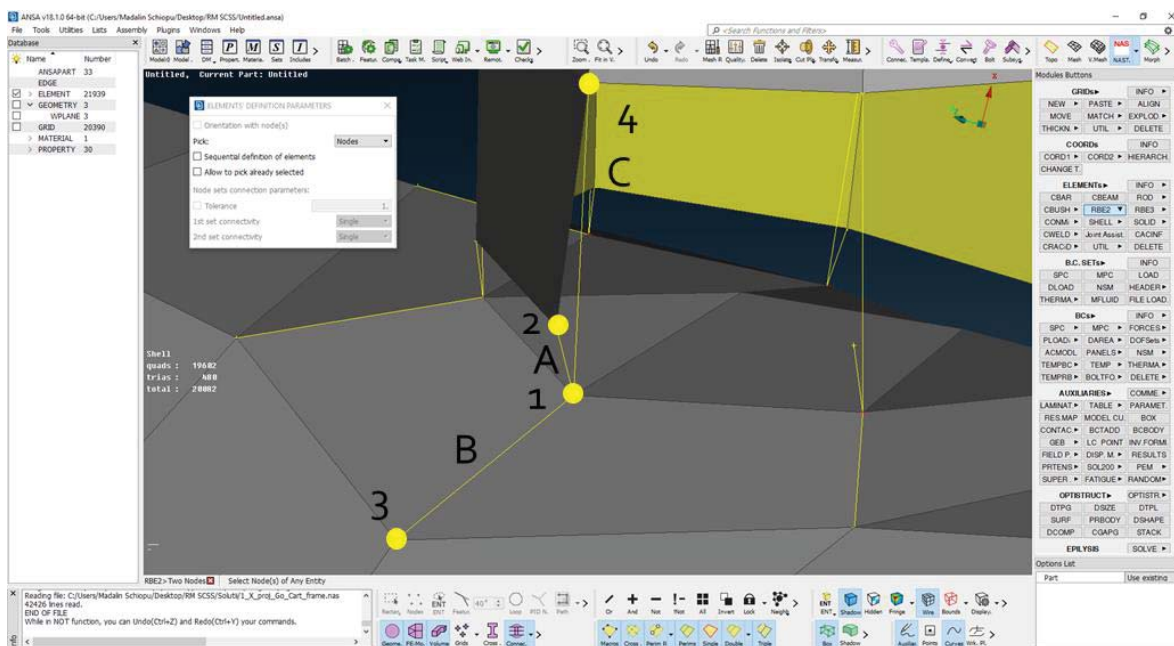


Figura 10. Ordinea selectării rigizilor.

Un al doilea model este creat prin copierea întregului model anterior, modelul anterior v-a fi lansat fără constrângeri. Pentru al doilea model v-om impune condiții la limită care v-or fi modelate prin crearea a 4 rigizi, în pozițiile următoare: 2 rigizi v-or fi situați la jumătea distanței dintre centrele celor doi suportți a rulmenților, astfel se v-a simula axul din spate, iar în față, 2 rigizi pe poziția de centru a țevilor unde ulterior se v-a monta port-fuzeta roților din față. Acești rigizi se crează tot cu funcția „RBE2” dar folosind opțiunea “One to Many”, care unește mai multe noduri cu un singur nod. În acest caz se selectează prima dată nodul din centru iar apoi 2 rânduri de nodurile care compun exteriorul suportților de rulment, respective capătul țevilor în care se assemblează roțile din față, acești rigizi sunt reprezentați în figura 11 respectiv 12.

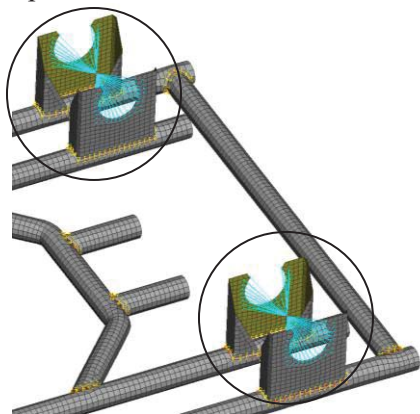


Figura 11. Rigizii din spate

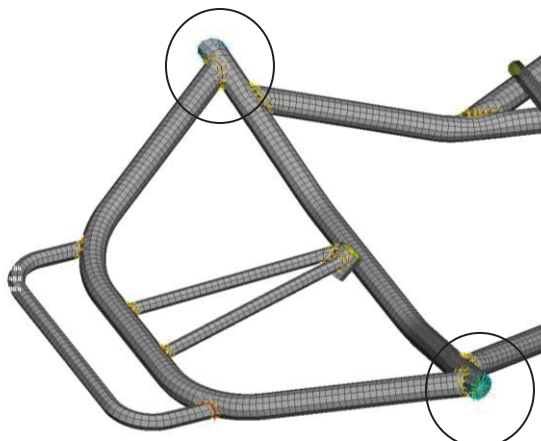


Figura 12. Rigizii din față

### 3.3 Materiale

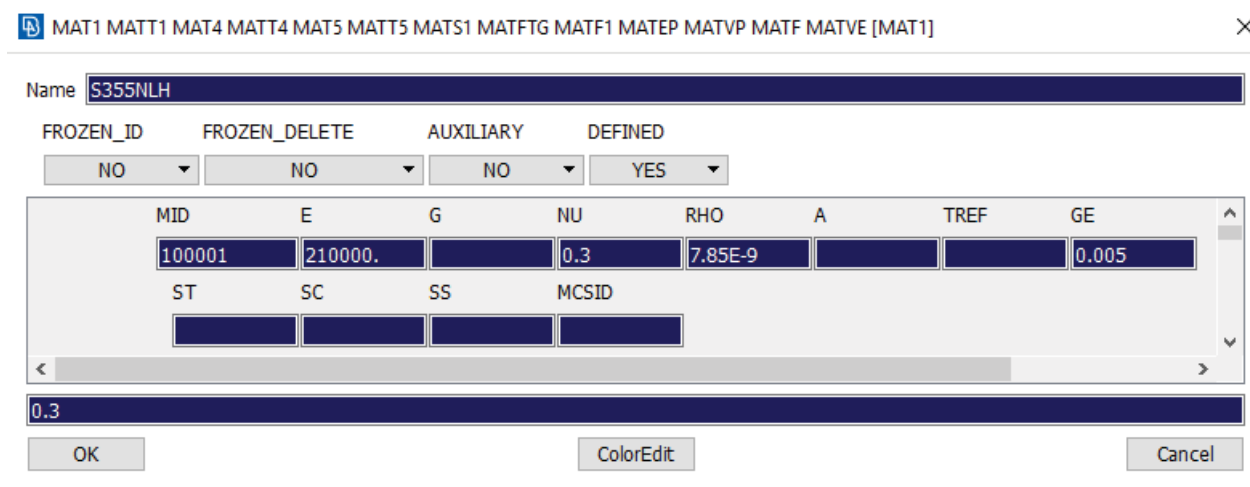
Din informațiile primite de la producător cadrul este confecționat dintr-un oțel S355NLH conform EN 10210-1: 2006, pentru țevi care se produc prin extrudare. Materialul este atribuit întregului model.

Caracteristicile de material sunt:

- $E = 2.1 \cdot 10^5$  MPa;
- Poisson's ratio = 0.3;
- Densitatea =  $7.85 \cdot 10^{-6}$  kg / mm<sup>3</sup>;
- Coeficientul de amortizare = 0.005;

Masa finală a cadrului este 14,52 kg.

Cartea de material a modelului este prezentată în figura 13.



The screenshot shows a material properties dialog box for S355NLH. The dialog has a title bar with the text "MAT1 MATT1 MAT4 MATT4 MAT5 MATT5 MATS1 MATFTG MATF1 MATEP MATVP MATF MATVE [MAT1]". The main area contains several input fields and dropdown menus. The "Name" field is set to "S355NLH". Below it are four dropdown menus for "FROZEN\_ID", "FROZEN\_DELETE", "AUXILIARY", and "DEFINED", with values "NO", "NO", "NO", and "YES" respectively. A table of material properties is displayed below, with columns for MID, E, G, NU, RHO, A, TREF, and GE. The values are: MID: 100001, E: 210000., G: (empty), NU: 0.3, RHO: 7.85E-9, A: (empty), TREF: (empty), GE: 0.005. Below the table are four more input fields for ST, SC, SS, and MCSID, all of which are empty. At the bottom of the dialog, there is a "ColorEdit" field containing the value "0.3" and three buttons: "OK", "ColorEdit", and "Cancel".

Figura 13. Cartea Materialului S355NLH

### 4. Soluționare

Modelele finalizate, se salvează cu extensia „.nas” și se rulează, ca parametrul de oprire avem numărul de pași, respectiv 500. Astfel obținem 48 de moduri proprii pentru modelul liber și 41 de moduri pentru modelul încastrat.

### 5. Post Procesarea

Post procesarea se face folosind programul METAPOST, setările afișării scalare fiind, “Strain Energy” și ca și caz o să afișăm “Energy Density”, pentru a putea afișa modurile proprii și animațiile acestora.

Rezultatele frecvențelor pentru modelul liber sunt:

- 48,2 Hz pentru Modul de flexiune figura 14;
- 62,4 Hz pentru Modul de torsiune figura 15.

Rezultatele frecvențelor pentru modelul încastrat sunt:

- 91,3 Hz pentru Modul de flexiune figura 16;
- 105,4 Hz pentru Modul de torsiune figura 17.

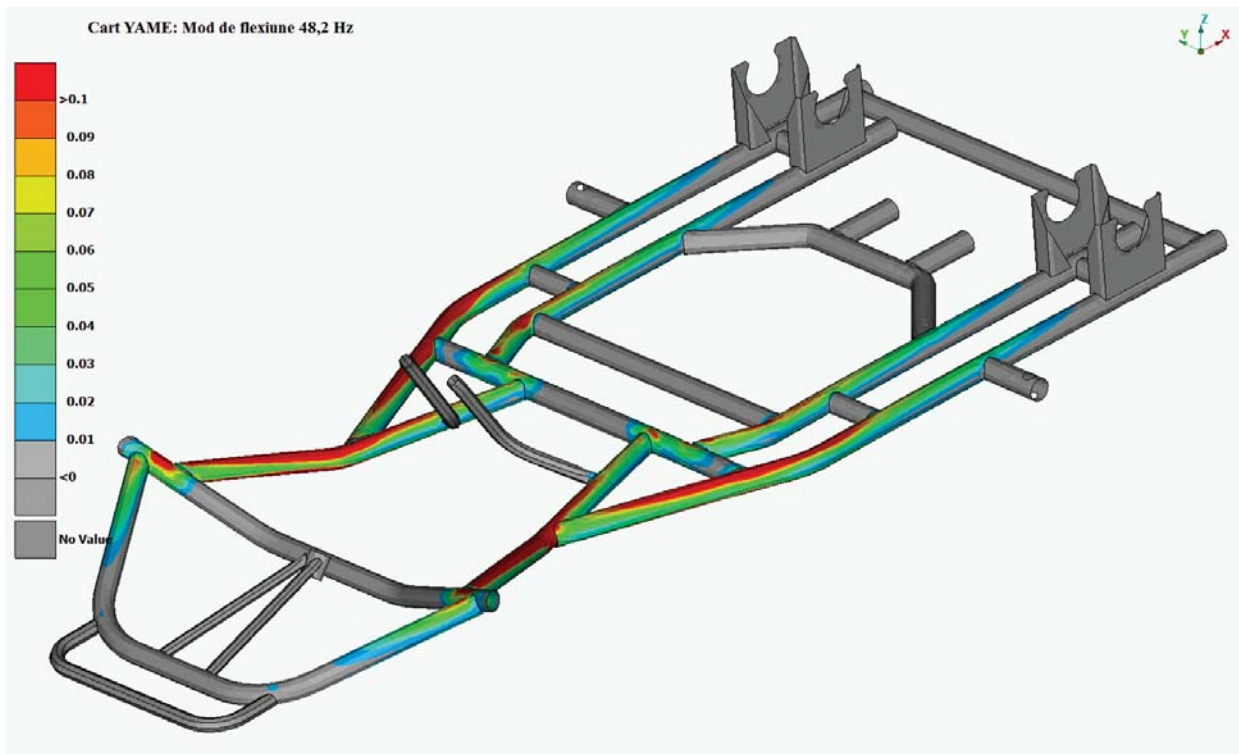


Figura 14. Modul de flexiune modelul liber – 48,2 Hz

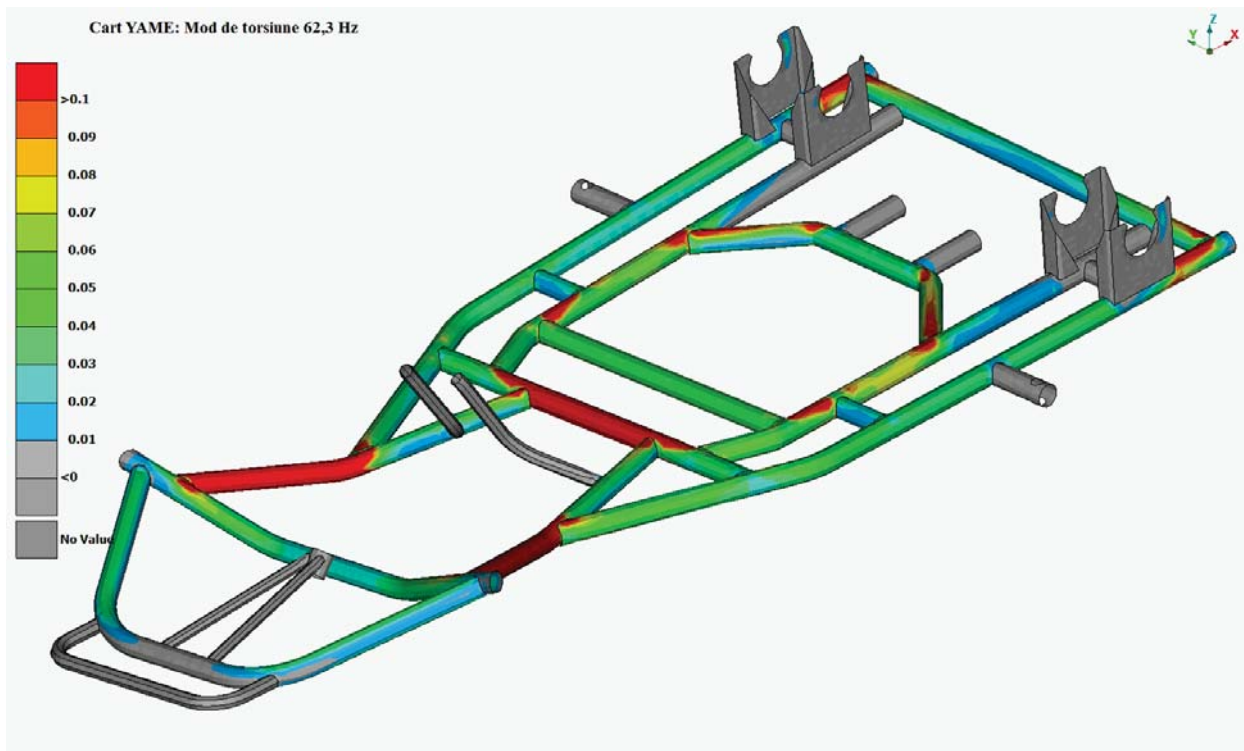


Figura 15. Modul de torsiune modelul liber – 62,4 Hz

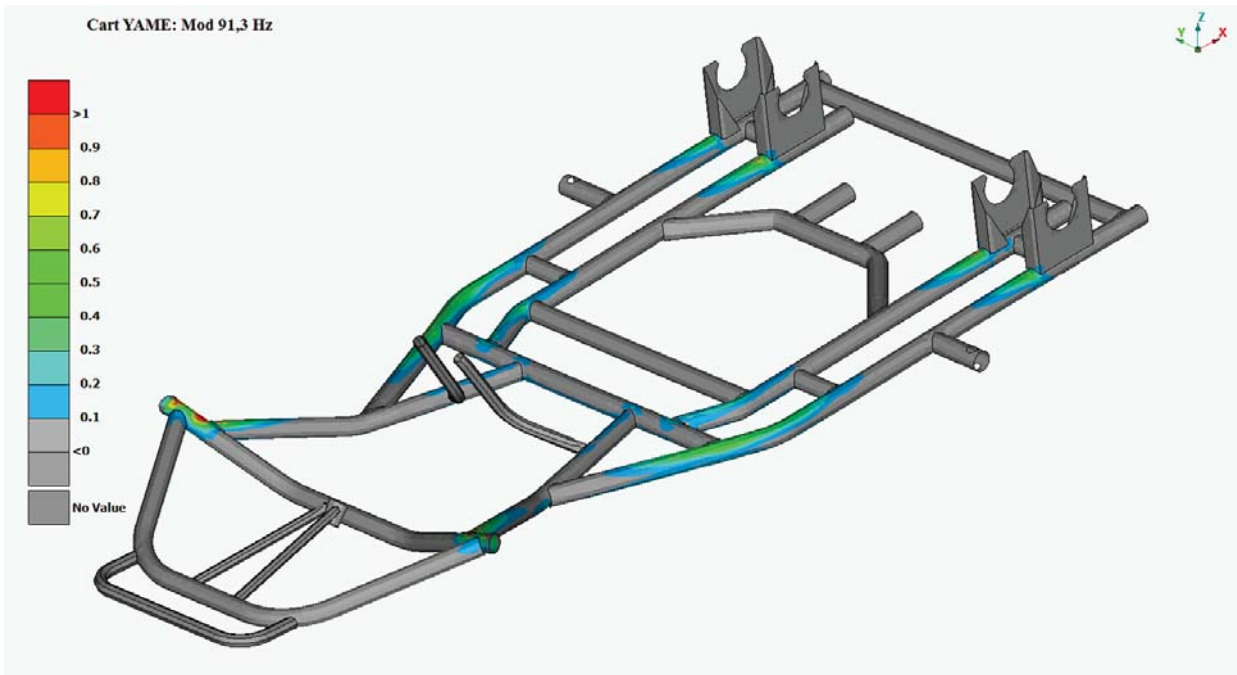


Figura 16. Modul de flexiune modelul încastrat – 91,3

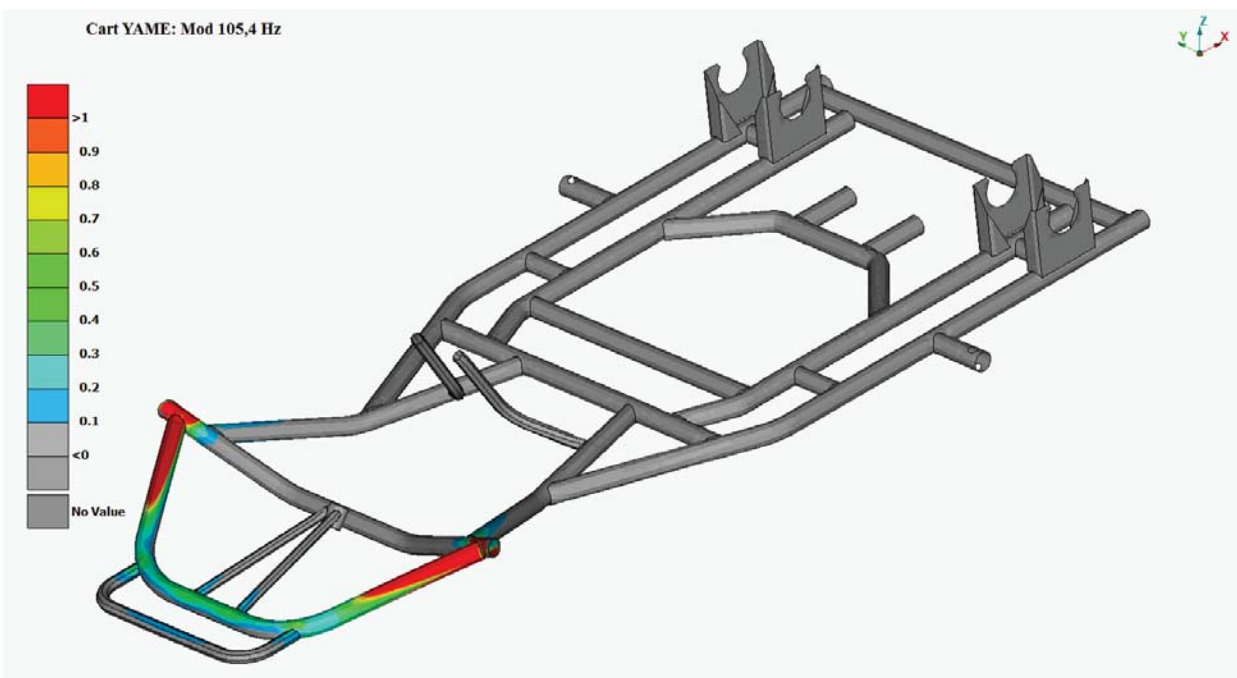


Figura 17. Modul de torsiune modelul încastrat - 105,4



## 6. Concluzii

După analiza valorilor obținute din calculul de analiză modală a celor două cazuri, se v-a alege cazul cel mai nefavorabil și anume modul de flexiune a modelului liber, pentru a limita turația motorului de un cilindru în patru timpi ne întoarcem la formula 1, unde acum cunoaștem  $f=48,2$  și  $N_c=1$ , astfel  $N$  poate lua valori sub valoarea de 5700 rot/min.

## 7. Bibliografie

[1].<http://www.qreferat.com/referate/mecanica/STANDARD-INTERNATIONAL-ISO-SUD543.php>  
Accesat la date de 11.05.2018

## 8. Notății

Următoarele simboluri sunt utilizate în cadrul lucrării:  
 $N_c$  = numărul de cilindri.

## 9. Anexe

În tabelul de mai jos se ragasesc valorile complete pentru frecvențele celor 48 de moduri pentru modelul liber și cele 41 de moduri pentru modelul încastrat.

MODE NO.	EXTRACTION ORDER	EIGENVALUE	RADIANS	CYCLES	GENERALIZED MASS	GENERALIZED STIFFNESS
1	1	3.293458E+05	5.738865E+02	9.133688E+01	1.000000E+00	3.293458E+05
2	2	4.383954E+05	6.621143E+02	1.053788E+02	1.000000E+00	4.383954E+05
3	3	6.182703E+05	7.863017E+02	1.251438E+02	1.000000E+00	6.182703E+05
4	4	7.381328E+05	8.591465E+02	1.367374E+02	1.000000E+00	7.381328E+05
5	5	7.453541E+05	8.633389E+02	1.374046E+02	1.000000E+00	7.453541E+05
6	6	1.202332E+06	1.096509E+03	1.745148E+02	1.000000E+00	1.202332E+06
7	7	1.623642E+06	1.274222E+03	2.027987E+02	1.000000E+00	1.623642E+06
8	8	1.754844E+06	1.324705E+03	2.108334E+02	1.000000E+00	1.754844E+06
9	9	1.756545E+06	1.325347E+03	2.109355E+02	1.000000E+00	1.756545E+06
10	10	2.011992E+06	1.418447E+03	2.257529E+02	1.000000E+00	2.011992E+06
11	11	2.073984E+06	1.440133E+03	2.292043E+02	1.000000E+00	2.073984E+06
12	12	2.156627E+06	1.468546E+03	2.337263E+02	1.000000E+00	2.156627E+06
13	13	2.221328E+06	1.490412E+03	2.372064E+02	1.000000E+00	2.221328E+06
14	14	2.801898E+06	1.673887E+03	2.664074E+02	1.000000E+00	2.801898E+06
15	15	3.346078E+06	1.829229E+03	2.911308E+02	1.000000E+00	3.346078E+06
16	16	3.529476E+06	1.878690E+03	2.990028E+02	1.000000E+00	3.529476E+06
17	17	3.973705E+06	1.993416E+03	3.172619E+02	1.000000E+00	3.973705E+06
18	18	4.296340E+06	2.072761E+03	3.298902E+02	1.000000E+00	4.296340E+06
19	19	4.733570E+06	2.175677E+03	3.462697E+02	1.000000E+00	4.733570E+06
20	20	5.535890E+06	2.352847E+03	3.744673E+02	1.000000E+00	5.535890E+06
21	21	6.519678E+06	2.553366E+03	4.063808E+02	1.000000E+00	6.519678E+06
22	22	7.511736E+06	2.740755E+03	4.362047E+02	1.000000E+00	7.511736E+06
23	23	8.117731E+06	2.849163E+03	4.534584E+02	1.000000E+00	8.117731E+06
24	24	8.996024E+06	2.999337E+03	4.773593E+02	1.000000E+00	8.996024E+06
25	25	9.321810E+06	3.053164E+03	4.859261E+02	1.000000E+00	9.321810E+06
26	26	9.499064E+06	3.082055E+03	4.905243E+02	1.000000E+00	9.499064E+06
27	27	9.865433E+06	3.140929E+03	4.998943E+02	1.000000E+00	9.865433E+06
28	28	1.019954E+07	3.193672E+03	5.082886E+02	1.000000E+00	1.019954E+07
29	29	1.047533E+07	3.236561E+03	5.151147E+02	1.000000E+00	1.047533E+07
30	30	1.177544E+07	3.431536E+03	5.461459E+02	1.000000E+00	1.177544E+07
31	31	1.269533E+07	3.563051E+03	5.670771E+02	1.000000E+00	1.269533E+07
32	32	1.279451E+07	3.576941E+03	5.692878E+02	1.000000E+00	1.279451E+07
33	33	1.412932E+07	3.758898E+03	5.982472E+02	1.000000E+00	1.412932E+07
34	34	1.505151E+07	3.879627E+03	6.174619E+02	1.000000E+00	1.505151E+07
35	35	1.533820E+07	3.916401E+03	6.233146E+02	1.000000E+00	1.533820E+07
36	36	1.657438E+07	4.071165E+03	6.479460E+02	1.000000E+00	1.657438E+07
37	37	1.866874E+07	4.320734E+03	6.876661E+02	1.000000E+00	1.866874E+07
38	38	2.078207E+07	4.558735E+03	7.255452E+02	1.000000E+00	2.078207E+07
39	39	2.366323E+07	4.864487E+03	7.742071E+02	1.000000E+00	2.366323E+07
40	40	2.400032E+07	4.899012E+03	7.797019E+02	1.000000E+00	2.400032E+07
41	41	2.504477E+07	5.004475E+03	7.964869E+02	1.000000E+00	2.504477E+07

Valorile modelului încastrat

MODE NO.	EXTRACTION ORDER	EIGENVALUE	RADIANS	CYCLES	GENERALIZED MASS	GENERALIZED STIFFNESS
1	1	9.165098E+04	3.027391E+02	4.818243E+01	1.000000E+00	9.165098E+04
2	2	1.533779E+05	3.916349E+02	6.233064E+01	1.000000E+00	1.533779E+05
3	3	5.597908E+05	7.481917E+02	1.190784E+02	1.000000E+00	5.597908E+05
4	4	6.275287E+05	7.921671E+02	1.260773E+02	1.000000E+00	6.275287E+05
5	5	7.376388E+05	8.588590E+02	1.366917E+02	1.000000E+00	7.376388E+05
6	6	8.223644E+05	9.068431E+02	1.443286E+02	1.000000E+00	8.223644E+05
7	7	1.134438E+06	1.065100E+03	1.695159E+02	1.000000E+00	1.134438E+06
8	8	1.421900E+06	1.192435E+03	1.897819E+02	1.000000E+00	1.421900E+06
9	9	1.532200E+06	1.237821E+03	1.970053E+02	1.000000E+00	1.532200E+06
10	10	1.656706E+06	1.287131E+03	2.048532E+02	1.000000E+00	1.656706E+06
11	11	2.067298E+06	1.437810E+03	2.288346E+02	1.000000E+00	2.067298E+06
12	12	2.128070E+06	1.458791E+03	2.321738E+02	1.000000E+00	2.128070E+06
13	13	2.152006E+06	1.466972E+03	2.334758E+02	1.000000E+00	2.152006E+06
14	14	3.051970E+06	1.746989E+03	2.780419E+02	1.000000E+00	3.051970E+06
15	15	3.158894E+06	1.777328E+03	2.828705E+02	1.000000E+00	3.158894E+06
16	16	3.703629E+06	1.924481E+03	3.062907E+02	1.000000E+00	3.703629E+06
17	17	4.457619E+06	2.111307E+03	3.360250E+02	1.000000E+00	4.457619E+06
18	18	4.570933E+06	2.137974E+03	3.402691E+02	1.000000E+00	4.570933E+06
19	19	5.010744E+06	2.238469E+03	3.562634E+02	1.000000E+00	5.010744E+06
20	20	5.173308E+06	2.274491E+03	3.619964E+02	1.000000E+00	5.173308E+06
21	21	6.400170E+06	2.529856E+03	4.026390E+02	1.000000E+00	6.400170E+06
22	22	6.648469E+06	2.578463E+03	4.103751E+02	1.000000E+00	6.648469E+06
23	23	7.243234E+06	2.691326E+03	4.283378E+02	1.000000E+00	7.243234E+06
24	24	8.060974E+06	2.839186E+03	4.518704E+02	1.000000E+00	8.060974E+06
25	25	9.142390E+06	3.023638E+03	4.812270E+02	1.000000E+00	9.142390E+06
26	26	9.508200E+06	3.083537E+03	4.907601E+02	1.000000E+00	9.508200E+06
27	27	9.788270E+06	3.128621E+03	4.979355E+02	1.000000E+00	9.788270E+06
28	28	1.086525E+07	3.296247E+03	5.246140E+02	1.000000E+00	1.086525E+07
29	29	1.138011E+07	3.373442E+03	5.369000E+02	1.000000E+00	1.138011E+07
30	30	1.200437E+07	3.464733E+03	5.514293E+02	1.000000E+00	1.200437E+07
31	31	1.275468E+07	3.571370E+03	5.684012E+02	1.000000E+00	1.275468E+07
32	32	1.418343E+07	3.766089E+03	5.993917E+02	1.000000E+00	1.418343E+07
33	33	1.801607E+07	4.244534E+03	6.755386E+02	1.000000E+00	1.801607E+07
34	34	1.900732E+07	4.359739E+03	6.938740E+02	1.000000E+00	1.900732E+07
35	35	2.052530E+07	4.530485E+03	7.210491E+02	1.000000E+00	2.052530E+07
36	36	2.249692E+07	4.743092E+03	7.548865E+02	1.000000E+00	2.249692E+07
37	37	2.341258E+07	4.838654E+03	7.700957E+02	1.000000E+00	2.341258E+07
38	38	2.405908E+07	4.905006E+03	7.806559E+02	1.000000E+00	2.405908E+07
39	39	2.602834E+07	5.101798E+03	8.119764E+02	1.000000E+00	2.602834E+07
40	40	2.701208E+07	5.197314E+03	8.271783E+02	1.000000E+00	2.701208E+07
41	41	2.839067E+07	5.328289E+03	8.480235E+02	1.000000E+00	2.839067E+07
42	42	2.864968E+07	5.352540E+03	8.518831E+02	1.000000E+00	2.864968E+07
43	43	3.032028E+07	5.506386E+03	8.763685E+02	1.000000E+00	3.032028E+07
44	44	3.113704E+07	5.580057E+03	8.880936E+02	1.000000E+00	3.113704E+07
45	45	3.238613E+07	5.690881E+03	9.057318E+02	1.000000E+00	3.238613E+07
46	46	3.670440E+07	6.058416E+03	9.642267E+02	1.000000E+00	3.670440E+07
47	47	3.853946E+07	6.208016E+03	9.880364E+02	1.000000E+00	3.853946E+07
48	48	3.888057E+07	6.235428E+03	9.923992E+02	1.000000E+00	3.888057E+07

Valorile modelului liber