

Nr. contract de finanțare: 260/ 17.06.2020

Axa prioritară 1 - Cercetare, dezvoltare tehnologica si inovare (CDI) în sprijinul competitivității economice și dezvoltării afacerilor

Acțiunea 1.2.1 Stimularea cererii întreprinderilor pentru inovare prin proiecte de CDI derulate de întreprinderi individual sau în parteneriat cu institutele de CD și universități, în scopul inovării de procese și de produse în sectoarele economice care prezintă potențial de creștere

Titlul proiectului: Instalație inovatoare pentru cimentare și operațiuni speciale la sondă destinată eficientizării extragerii resurselor energetice convenționale - INOCEM

ID: -

MySMIS: 120032

RAPORT

A1.2. Proiectare subansambluri acționare electrica, antrenare mecanica si componente de uzura pompa

17 septembrie 2020 -16 iunie 2021

Lider S.C. PETAL S.A.Husi

Partener ICPE CA – grup cercetare IPCUP

CUPRINS

	Pag.
A. Obiectivele proiectului	4
B. Obiectivele activității A 1.2	5
C. Rezumatul subactivității A 1.2	
C.1. Raportarea 17 septembrie 2020 – 30 noiembrie 2020	6
C.2. Raportarea 1 decembrie 2020 – 28 februarie 2021	7
C.3. Raportarea 1 martie 2021 -31 mai 2021	9
C.4. Raportarea 1 iunie 2021 – 31 august 2021	13
D. Descrierea științifică și tehnică a activităților	14
Capitolul I.1. Activitatea de proiectare a agregatului inovativ de cimentare	14
Capitolul I.2. Elemente de proiectare pentru soluția constructivă inovativă pentru echipamentul destinat operațiunilor speciale și de cimentare la sondele în exploatare	17
I.2.1 Principiul constructiv al agregatului de cimentare – fisurare proiectat	17
I.2.2. Principiul funcțional al agregatului de cimentare – fisurare proiectat	22
Capitolul I.3. Elemente de proiectare și dimensionare în vederea asigurării caracteristicilor tehnice inovative	26
I.3.1 Elemente de proiectare pentru pompa triplex	26
I.3.2. Dimensionări pentru agregatul de cimentare	31
Capitolul I.4. Proiectare elemente antrenare mecanica. Desene	39
Capitolul I.5. Proiectare componente de uzura pompa	40
Capitolul I.6. Elemente inițiale de proiectare pentru soluție sistem monitorizare, control și protecții	46
Capitolul I.7. Proiectarea alegerii motorului asincron trifazat pentru acționarea echipamentului de cimentare	57
Capitolul II.1. Proiectare elemente antrenare mecanica	61
Capitolul II.2. Proiectare componente de uzură pompă triplex	75
Capitolul II.3. Proiectare conectare pompă triplex la motorul electric de antrenare	127
Capitolul II.4. Proiectare manifold	171
Capitolul II.5. Proiectare inițială platforma pentru sanie poziționare ansamblu	172
Capitolul III.1. Proiectare subansambluri de uzură pompă	176
Capitolul III.2. Proiectare subansambluri acționare electrică	250
Capitolul IV. Analiza dinamică cu element finit a arborelui cotit al pompei triplex cu plungere	295
IV.1. Considerații generale	295
IV.2. Descrierea constructivă și funcțională a arborelui cotit	310
IV.3. Calculul elementelor perturbatoare pentru analiza dinamică cu răspuns în timp a arborelui cotit	320
IV.4. Reducerea maselor pieselor în mișcare de translație ale arborelui cotit, față de axa arborelui cotit	341
IV.5. Alegerea setului de unități de măsură folosit	341
IV.6. Alegerea proprietăților de material	342
IV.7. Modelarea geometrică arborelui cotit pentru analiza cu element finit	344

IV.8. Modelarea cu element finit a arborelui cotit.	344
IV.9. Modelarea constrângerilor de rezemare pe noduri pentru arborele cotit	384
IV.10. Calcularea modurilor proprii de vibrație și a frecvenței proprii a arborelui cotit	388
IV.11. Analiza Dinamica directa cu răspuns în Timp pentru arborele cotit	390
IV.12. Realizarea Analizei Dinamice Modale cu răspuns în Timp pentru arborele cotit	433
IV.13. Realizarea Analizei dinamice directe cu răspuns în frecvență pentru arborele cotit	
IV.14. Realizarea Analizei Dinamice Modale cu răspuns în Frecvență pentru arborele cotit	457
IV.15. Concluzii finale pentru analiza dinamică cu element finit a arborelui cotit	470
V. Concluzii finale	479
Bibliografie	488
Anexa desene	

A. OBIECTIVELE PROIECTULUI

Obiectivul general al proiectului constă în realizarea unui produs inovativ complex, destinat exploatării eficiente a resurselor energetice convenționale, având caracteristici funcționale semnificativ îmbunătățite prin schimbări esențiale ale specificațiilor tehnice și ale componentelor și materialelor și printr-un proces inovativ de realizare.

Integrată domeniului de specializare inteligentă *ENERGIE, MEDIU ȘI SCHIMBĂRI CLIMATICE*, subdomeniul 3.1. *Energie, respectiv 3.1.2. Resurse energetice convenționale, neconvenționale și regenerabile*, instalația destinată operației de cimentare și altor operațiuni speciale la sondele de petrol și gaze naturale, cu performanțe unice pentru producția unui asemenea echipament în România, ce asigură exploatarea superioară a acestor resurse convenționale de energie, cu păstrarea mediului ambiant și care va contribui la creșterea calității și la diversificarea ofertei de produse moderne a liderului de proiect pe piața echipamentelor complexe destinate extracției de resurse de petrol și gaze.

Obiectivele specifice ale proiectului sunt:

1. Obținerea prin cercetare industrială de metode inovative pentru echipamentul de cimentare și operații speciale la sonde și stabilirea specificațiilor pentru subansambluri și echipamente;
2. Realizarea și testarea subansamblurilor inovative privind acționarea electrică în curent alternativ, antrenarea mecanică și componente de uzură ale pompelor;
3. Realizarea, pe baza documentației tehnice întocmite, a echipamentului pilot utilizabil comercial și testarea în medii reprezentative;
4. Investiții în vederea introducerii în producție a rezultatelor CD, prin achiziții de active corporale și necorporale;
5. Pregătirea fluxului de fabricație și a documentației de punere în fabricație;
6. Crearea a 4 noi locuri de muncă pe durata implementării proiectului, dintre care 2 femei.

B. OBIECTIVELE ACTIVITĂȚII A 1.2

Subactivitatea A1.2 „Proiectare subansambluri acționare electrica, antrenare mecanica si componente de uzura pompa ” are ca obiectiv proiectarea subansamblurile instalației de cimentare si operații speciale la sonde ce conțin elementele inovative descrise în studiul realizat la A 1.1., referitor la:

- acționarea electrică cu motor asincron de curent alternativ trifazat acționat prin convertizor de frecvență cu comanda vectorială si scalara: adaptarea caracteristicii mecanice a ansamblului de acționare electrica la caracteristica mecanică a pompelor triplex ale instalației, adaptarea reglării turației în limite largi, protecții necesare privitoare la întregul ansamblu electric, integrarea motorului într-o buclă de control automat, proiectarea convertizorul cu variator de frecvență, soluția de introducere a sistemului de acționare electric într-un container montat pe șasiul instalației, automatizarea funcționării optime a echipamentului bazată pe sisteme de senzori inteligenți, achiziții de date și comunicații la distanță, ce asigură păstrarea turației optime și calitatea amestecului de cimentare și presiunea și debitul pompelor.
- piese si subansambluri din compunerea sistemului de pompe triplex de înaltă presiune care să asigure inovarea funcțională si cea tehnologică pentru piesele de mare uzură: plungere, tijele plungerelor, supape si etanșări, cămăși.

C.1. Raportarea 17 septembrie 2020 – 30 noiembrie 2020

Etapă 17 septembrie 2020 – 30 noiembrie 2020, conține rezultatele activităților desfășurate de colectivele de implementare ale SC PETAL SA și Partenerul de cercetare INCDI ICPE-SA referitoare la proiectarea realizată pentru unele din subansamblurile de acționare electrică, antrenare mecanică și componente de uzură pompă.

Livrabilul predat conține descrierea științifică și tehnică a activităților desfășurate, astfel:

- Capitolul 1: indicarea problemelor de proiectare a echipamentului inovativ de cimentare.
- Capitolul 2: elemente de proiectare pentru soluția constructivă inovativă pentru echipamentul destinat operațiunilor speciale și de cimentare la sondele în exploatare referitoare la principiul constructiv și cel funcțional al echipamentului, proiectarea schemelor cinematice și a celor funcționale pentru soluțiile cu una sau două pompe.
- Capitolul 3: elemente de proiectare și dimensionare în vederea asigurării caracteristicilor mecanice inovative incluse în echipament referitoare la pompa triplex: metodologia proiectării, calcule și dimensionări privind puterea hidraulică a pompei și pentru alte elemente ale lanțului tehnologic: plungere, habă, pompă apă etc.
- Capitolul 4: proiectarea elementelor de antrenare mecanică prin indicarea desenelor subansamblurilor proiectate de către colectivele ICPE -CA și PETAL SA și care sunt incluse în Anexa 1.
- Capitolul 5: elemente ale proiectării unor componente de uzură pompă. Desenele elaborate pentru componente uzură pompă sunt prezentate în Anexa2 și reprezintă variante în lucru.
- Capitolul 6: elemente de proiectare pentru partea electrică reprezentată de sistemul de acționare electric: soluția de sistem monitorizare, control și protecții
- Capitolul 7: metodologia de proiectare a alegerii motorului asincron trifazat pentru acționarea echipamentului de cimentare.

În livrabil se prezintă contribuția partenerilor la activitățile de cercetare aferentă proiectării din această etapă de raportare.

A existat o colaborare continuă a celor două colective de cercetare pentru obținerea soluțiilor tehnice optime. Schițele și desenele au fost definitive prin colaborarea celor două colective de cercetare.

C.2. Raportarea 1 decembrie 2020 – 28 februarie 2021

Etape pentru care se prezintă acest livrabil, 1.12.2020 – 28.03.2021, conține rezultatele activităților desfășurate de colectivele de implementare ale SC PETAL SA și Partenerul de cercetare INCDI ICPE-SA referitoare la activitatea A1.2 ce continuă proiectarea pentru subsansabluri de acționare electrică, antrenare mecanică și componente de uzură pompă.

În cadrul Raportului sunt abordate principalele activități derulate pentru atingerea obiectivului. Prima parte conține o sinteză a cadrului general în care se desfășoară activitatea de proiectare a agregatului propus spre asimilare la SC PETAL SA Huși, proiectarea principiului constructiv și a celui funcțional al echipamentului, scheme cinematice și funcționale pentru soluțiile cu una sau două pompe, elementele proiectate pentru pompa triplex: calcule și dimensionări privind puterea hidraulică a pompei și pentru alte elemente ale lanțului tehnologic: plungere, habă, pompă apă etc., proiectarea elementelor de antrenare mecanică, desene subsansablor proiectate.

Proiectarea elementelor de antrenare mecanică și hidraulică prezentată în raportul de față se referă la pompa triplex cu simplu efect cu plungere care va echipa agregatul de cimentare-fisurare inovativ. Se propune o pompă triplex ale cărei caracteristici au fost calculate pe baza curbelor de performanță debit-presiune, având informații pentru debitul teoretic pe cursă, debitul teoretic maxim, puterea la intrare în pompă, puterea necesară, momentul la intrare în pompă, în variantele cu plungere de diametru 85 mm, 100 mm și respectiv 115 mm.

Sunt prezentate în detaliu elemente de proiectare a unor componente de uzură ale pompei triplex cu plungere:

- ▶ Calcule de verificare a plungerelor pompei triplex (pentru diametre de 80, 100 și 115 mm):
Calculul de rezistență a plungerului la presiune exterioară; Calculul de verificare a plungerului la flambaj; Creșterea rezistenței plungerelor la coroziune și abraziune prin procedee specifice;
- ▶ Calcul de dimensionare a pachetului de etanșare și determinarea numărului de garnituri dintr-un pachet.;
- ▶ Calculul corpului hidraulic al părții hidraulice la presiunea de lucru de 700 bar,
respectiv 1050 bar: Verificarea la tracțiune; Verificarea filetelui la încovoiere;
Verificare la presiunea de contact;
- ▶ Calculul supapei;
- ▶ Înălțimea camerei corpului hidraulic;
- ▶ Proiectare taler și garnitură;
- ▶ Predeterminare diametru conductă /colector de aspirație;

► Calculul de predeterminare diametru conductă de refulare.

Pentru proiectarea modului de conectare a pompei triplex la motorul electric s-a realizat o activitate de proiectare inițială care a permis cunoașterea caracteristicilor diverselor pompe triplex, legate de debit, turație și putere mecanică. Aceste informații asigură legătura cu caracteristica funcțională a motorului electric pentru optimizarea transmisiei puterii mecanice pe întreg intervalul de variație al mărimilor de intrare/ieșire cerute de procesul tehnologic.

S-a realizat proiectarea pentru alte subansambluri mecanice din compunerea instalației de cimentare precum sanie de poziționare.

Cele 68 desene de execuție realizate pentru componente și partea hidraulică – ansamblu sunt prezentate în Anexa.

Referitor la contribuția partenerilor la activitățile de cercetare aferentă proiectării din această etapă de raportare:

→ PETAL SA a realizat:

- Colaborare la proiectarea principiului constructiv și cel funcțional al echipamentului, scheme cinematice și funcționale pentru soluțiile cu una sau două pompe, elementele proiectate pentru pompa triplex;
- Colaborare la proiectarea elementelor de antrenare mecanică;
- Verificări pentru elementele proiectate la flambaj, la tracțiune și la presiunea de contact;
- Colaborare la alegerea tipului de pompă triplex funcție de cerințele procesului tehnologic, al condițiilor de mediu și al tehnologiilor inovative de evitare a uzurii suprafețelor;
- Analiza elementelor proiectate pentru partea mecanică și cea hidraulică și indicații pentru finalizarea soluțiilor la camera corpului hidraulic, supape, conducte refulare/admisie;
- Proiectare conectare pompă triplex la motorul electric de antrenare: analiza aplicativă de proiectare pentru instalațiile de cimentare, analiza aplicativă de proiectare pentru pompe triplex, experimentări privind caracteristica funcțională a pompei triplex necesară pentru proiectare;
- Proiectare manifold
- Proiectare inițială platforma pentru sanie poziționare ansamblu;
- Schițe și desene de lucru pentru elementele de antrenare mecanica

INCDIE ICPE-CA a realizat:

- Colaborare la proiectarea principiului constructiv și a celui funcțional al echipamentului, scheme cinematice și funcționale pentru soluțiile cu una sau două pompe, elementele proiectate pentru pompa triplex
- Colaborare la proiectarea elementelor de antrenare mecanică: proiectare ansamblu general, subansambluri principale, mecanism de transmisie, angrenaj motor;
- Studiu de caz pentru proiectarea pompei necesare instalației de cimentare inovativă;

- Calcule de verificare a plungerelor pompei triplex (diametre de 80, 100 și 115 mm) ;
- Calcul de dimensionare a pachetului de etanșare și determinarea numărului de garnituri dintr-un pachet;
- Calculul corpului hidraulic al părții hidraulice la presiunea de lucru de 700 bar, respectiv 1050 bar;
- Calcul preliminar scaun supapei;
- Înălțimea camerei corpului hidraulic în care se montează supapele;
- Dimensionare inițială taler și garnituri;
- Calculul preliminar diametru conductei /colectorului de aspirație;
- Calculul preliminar diametru conductă de refulare;
- Schite și desene de lucru și de execuție pentru componentele mecanice și hidraulice

C.3. Raportarea 1 martie 2021 – 31 mai 2021

Etapa pentru care se prezintă acest livrabil, 1.03.2021 – 31.05.2021, conține rezultatele activităților desfășurate de colectivele de implementare ale SC PETAL SA și Partenerul de cercetare INCDI ICPE-SA referitoare la activitatea A1.2 privitoare la proiectarea pentru subansambluri de acționare electrică, antrenare mecanică și componente de uzura pompă.

În cadrul Raportului sunt abordate principalele activități derulate pentru atingerea obiectivului.

Proiectarea elementelor de antrenare mecanică și hidraulică prezentată în raportul de față se referă la pompa triplex cu simplu efect cu plungere care va echipa agregatul de cimentare- fisurare inovativ.

Calculul scaunului supapei determină diametrul scaunului supapei cu ajutorul ecuației de continuitate, în funcție de diametrul maxim al plungerului, cursa plungerului, viteza fluidului, turația pompei.

În legătură cu proiectarea înălțimii de ridicare a supapei s-au calculat: viteza lichidului la mijlocul secțiunii de trecere, înălțimea de ridicare a supapei, comportarea scaunului supapei la presiunea critică la care este supus în timpul funcționării.

Proiectarea înălțimii camerei corpului hidraulic în care se montează supapa a permis determinarea diametrului canalului de evacuare spre colectorul de refulare ($D_c = 68 \text{ mm}$) și a înălțimii camerei supapei (85 mm).

Breviarul de calcul pentru dimensionare taler și garnitură supapă a condus la calculului grosimii talerului și a garniturii în funcție de dimensiunile scaunului supapei și de unghiul de înclinare a suprafeței conice a acestuia.

Diametrul conductei de aspirație a fost calculat pentru debitul maxim în funcție de viteza fluidului în conducta de aspirație și folosind material S355J2 conform EN 10025-2/2019, cu rezistența admisibilă la curgere $\sigma_c = 355 \text{ N/mm}^2$.

Diametrul conductei de refulare s-a calculat pentru presiunea maximă și debitul corespunzător în funcție de viteza fluidului în conducta de refulare, cu prevederea unui material 34CrMo4 cu rezistența admisibilă la curgere $\sigma_c = 450 \text{ N/mm}^2$.

Calculul forțelor din bielă / plunger și verificarea puterii pompei a condus la o forță în bielă de 589066 N. Forța din plunger depinde de forța din bielă și unghiurile dintre bielă și manivelă. Aceasta este calculată cu ajutorul programului Excel și prezentată tabelar.

Calculul de verificare a puterii necesare atestă capacitatea grupului de a asigura performanțele pompei.

Proiectarea subansamblurilor acționării electrice a constat inițial în alegerea motorului asincron trifazat și a alimentării cu convertizor c.a/c.a., astfel încât performanțele pompei triplex antrenate să fie minim similare cu cele de la acționarea cu motor Diesel. Pornind de la varianta inițială de motor asincron trifazat 600kW, 1500 rot/min, pe baza cunoștințelor privitoare la proiectarea acționării electrice achiziționate prin licitație, s-a realizat calculul parametrilor motorului și a etajelor convertorului c.a/c.a. Calculele hidraulice referitoare la debitele și presiunile realizate de către pompa dotată cu cele 3 tipuri de plingere a indicat că se realizează debitele necesare de fluid dar presiunile sunt mai mici decât cele dorite. S-a reluat proiectarea pe baza unui motor asincron trifazat 750 kW, 1000 rot/min, urmărind același breviar de calcul și s-a constatat că performanțele de debit și presiune sunt corespunzătoare, echipamentul de acționare avînd posibilitatea creerii unor parametri tehnici superiori față de acționarea mecanică Diesel. În plus, nu se mai folosește o cutie de viteze și un convertor de cuplu, reglajul de turație fiind simplu și optimizabil din partea electronică a

convertizorului c.a./c.a. S-a proiectat schema generală a acționării și se indică caracteristicile necesare pentru: motor asincron trifazat, convertor c.a./c.a cu componentele sale, modulul de alimentare.

Sintetizând, sunt prezentate în detaliu elemente de proiectare ale unor componente hidraulice și mecanice de uzură ale pompei triplex cu plunger:

- ▶ Proiectarea soluției finale a scaunului supapei;
- ▶ Înălțimea de ridicare a supapei: proiectarea prin calcul a vitezei fluidului, înălțimea de ridicare a supapei, verificarea scaunului supapei, înălțimea camerei corpului hidraulic în care se montează supapa;
- ▶ Calcule de dimensionareaa talerului și a garniturii;
- ▶ Integrarea elementelor inovatoare pentru micșorarea uzurii în soluțiile proiectate;
- ▶ Proiectarea conductei/ conductorului de aspirație;
- ▶ Proiectarea diametrului conductei de refulare;
- ▶ Calculul forțelor în plunger/bielă și verificare putere pompă;
- ▶ Proiectarea arborelui cotit, calculul de verificare;
- ▶ Proiectarea bielei, calculul de verificare bielă.
- ▶ Desene de execuție pentru componente și partea hidraulică prezentate în Anexe:

Anexa 1. Angrenaj mecanism motor – 17 desene

Anexa 2. Mecanism motor – 43 desene

Anexa 3 . Reprezentări 3D componente pompă triplex proiectate – 41 desene

Proiectarea subansamblurilor acționare electrică justifică alegerea sursei de alimentare a motorului, a convertizorului de frecvență c.a./c.a, prin caracteristicile obținute pe întreaga gamă de turație a pompei:

- ▶ Este proiectată schema convertizorului c.a./c.a, redresorul cu diode, condensatorul din circuitul intermediar precum și inverterul ce asigură la ieșire tensiunea alternativă necesară motorului asincron.

- ▶ Sunt proiectate protecțiile de supratensiune și scurtcircuit precum și toate protecțiile necesare convertizorului c.a./c.a.

- ▶ Este proiectat modulul de alimentare

- ▶ Este definitivată schema generală a acționării electrice

- ▶ Se elimină cutia de viteze și convertorul de cuplu din soluția mecanică, conectarea motorului asincron la pompă realizându-se direct prin ax cardanic

Proiectarea a condus la o soluție de antrenare electrică cu motor asincron trifazat de putere 750 kW, turație nominală 1000 rot/min, alimentat prin convertizor de frecvență c.a./c.a. ce asigură funcționarea în domeniul de turație 0-2100 rot/min cât necesită pompa triplă. Până la 1000 rot/min se asigură cuplul constant

iar peste această valoare se asigură putere constantă. Calculele de proiectare și reprezentările grafice indică acoperirea tuturor cerințelor tehnice de debit și presiuni, comparația cu antrenarea mecanică fiind edificatoare în acest sens.

Referitor la contribuția partenerilor la activitățile de cercetare aferente proiectării din această etapă de raportare:

→ PETAL SA a realizat:

- Colaborare la proiectarea schemelor cinematice și funcționale pentru soluțiile proiectate pentru pompa triplex;

- Colaborare la proiectarea elementelor hidraulice: supapă, taler;
- Verificări pentru corectitudinea proiectării scaunului supapei;
- Colaborare la alegerea tehnologiilor inovative de evitare a uzurii suprafețelor;
- Analiza elementelor proiectate pentru partea mecanică și cea hidraulică și indicații pentru finalizarea soluțiilor la camera corpului hidraulic, supape, conducte refulare/admisie;
- Schițe și desene de lucru pentru elementele de antrenare mecanică și hidraulice
- Colaborare la realizarea desenelor pentru mecanismul motor și angrenaj mecanism motor pompă
- Proiectarea alegerii motorului asincron, a alimentării prin convertizor de frecvență c.a/c.a
- Calcule de debite și turații pentru pompa antrenată de acționarea electrică
- Proiectarea unor soluții de protecție la supratensiune și scurtcircuit
- Proiectarea unor circuite de comandă a convertizorului c.a/c.a
- Colaborare la realizarea desenelor de execuție, prezentare date tehnologice necesare proiectării
- Schema generală a acționării electrice.

INCDIE ICPE-CA a realizat:

- Breviar de calcul pentru partea hidraulică a pompei triplex
- Proiectarea finală a scaunului supapei;
- Proiectare și colaborare calcule pentru înălțimea de ridicare a supapei;
- Calculul vitezei fluidului în sistemul hidraulic al pompei,
- Proiectare, breviar de calcul și colaborare la verificarea scaunului supapă,
- Colaborare la calculul înălțimii camerei corpului hidraulic în care se montează supapa;
- Calcule de proiectare și colaborare pentru dimensionarea talerului și a garniturii;
- Integrarea elementelor inovatoare pentru micșorarea uzurii la componente proiectate;
- Breviar de calcul și colaborare pentru proiectarea conductei/ conductorului de aspirație;

- Breviar de calcul și colaborare pentru proiectarea diametrului conductei de refulare;
- Breviar de calcul și colaborare la calculul forțelor în plunger/bielă și verificare putere pompă.
- Calculul de verificare al arborelui cotit
- Calculul de verificare al bielei
- Colaborarea la proiectarea acționării electrice conform cerințelor tehnice ale pompei triplex
- Schițe și desene de lucru și de execuție pentru componentele mecanice și hidraulice
- Reprezentări 3D componente pompă triplex
- Colaborare la alegerea motorului electric funcție de caracteristicile pompei triplex
- Desenele prezentate în Anexe.

A existat o colaborare continuă a celor două colective de cercetare pentru obținerea soluțiilor tehnice optime. Schițele și desenele de execuție au fost finalizate prin colaborarea celor două colective de cercetare.

C4. Raportarea 1 iunie 2021 -16 iunie 2021

Acest raport conține capitolul 6 – Analiza dinamică cu element finit a arborelui cotit al pompei triplex cu plungere

În această perioadă de raportare au fost elaborate reprezentări 3D ale pieselor și subansamblurilor proiectate integrate într-un ansamblu reprezentativ din punct de vedere funcțional.

D. DESCRIEREA ȘTIINȚIFICĂ ȘI TEHNICĂ A ACTIVITĂȚILOR A1.2

Capitolul I.1. Activitatea de proiectare a agregatului inovativ de cimentare

Operațiunile de cimentare și operațiunile speciale la sonde se realizează în condiții speciale, iar tehnicile utilizate, presiunile necesare procesului și caracteristicile fluidelor utilizate reprezintă condiții care impun selectarea și utilizarea eficientă a echipamentelor aferente.

Agregatele de cimentare sunt folosite la prepararea și pomparea fluidelor de fisurare prin acidizare, a suspensiilor de ciment (operații de cimentare), a lichidelor care conțin nisip, țiței, noroi de foraj, aditivi speciali pentru operațiile de acidizare și alte fluide de întreținere a sondelor

Execuția operațiilor de cimentare în condiții optime, presupune îndeplinirea următoarelor cerințe, care au fost integrate în soluția constructivă propusă:

- mobilitatea mare și capacitate de străbateră a unor drumuri accidentate;
- uniformitatea debitului și a densității fluidului pompat;
- dezvoltarea de debite și presiuni mari;
- realizarea unor legături rapide între agregat și sondă;
- echiparea cu aparate de măsur și înregistrare a parametrilor de lucru.

În general, echipamentele de cimentare la sonde sunt caracterizate de presiunea maximă, acest parametru fiind și un indice de codificare. În principiu, agregatele cu presiuni de până la 700 bar sunt destinate operațiilor de cimentare, cele cu presiuni mai mari de 700 bar sunt destinate și operațiilor de fisurare.

Proiectarea, realizarea și exploatarea echipamentelor destinate executării operațiilor speciale se face, potrivit concluziilor obținute în etapa de Studiu, în funcție de anumite condiții specifice pe care acestea trebuie să le îndeplinească, și anume:

- Presiunea de fisurare și debitul, care sunt parametri definitorii pentru alegerea agregatului deoarece în funcție de presiunea și de debitele necesare la pomparea fluidelor la adâncimea la care trebuie efectuată operația de cimentare / fisurare:

- se calculează puterea necesară grupului de acționare;
- se întocmește schema cinematică a agregatului;
- se stabilesc caracteristicile pompei agregatului.

- Tipurile de fluide de cimentare – fisurare /acidizare vehiculate, deoarece un amestec de cimentare / fisurare eficient, presupune îndeplinirea anumitor condiții, precum:

- utilizarea de elemente adecvate procesului,
- nisipul ca material de susținere și
- soluțiile acide ca elemente de rupere sau spălare,

elemente care au o influență majoră asupra comportării la uzură a componentelor echipamentelor destinate operațiilor de acidizare.

În cazul în care echipamentul este destinat, în mod special, preparării amestecurilor de fisurare care constau în sisteme de nisip cuarțos/ceramică, acestea vor avea o influență majoră asupra comportării materialelor din care sunt construite șnecurile de transport, șnecurile dozatoarelor de aditivi și vasul de amestec, care, datorită contactului cu nisipul cuarțos, sunt supuse unui permanent efect de uzură de abraziune.

În cazul în care echipamentul este destinat în mod special preparării amestecurilor de acidizare care sunt pe baza de acizi, acestea vor avea o influență majoră asupra comportării materialelor din care sunt construite elementele de pompare (componentele pompei triple de înalta presiune), a manifoldurile de transport, care sunt supuse unui puternic efect de coroziune.

In baza acestor concluzii s-a stabilit la finalul Studiului ca elementele inovative care vor fi asimilate în scopul optimizării soluției constructive următoarele:

- acționarea echipamentului de către un motor electric asincron trifazat comandat cu convertizor static de frecvență, care înlocuiește soluția clasică de antrenare cu motor Diesel și transmisie Allison. Avantajele utilizării acestei soluții conduc la modernizarea schemei cinematice și sunt esențiale pentru tehnologia de lucru aplicată cu ajutorul echipamentului:

- corelarea optimă a caracteristicii presiune – debit a pompei (impusă de parametrii tehnici ai tehnologiei aplicate) cu performanțele acționării electrice bazate pe motor asincron trifazat comandat cu convertizor static de frecvență;

- integrarea unor soluții constructive moderne pentru sistemul de etanșare, supapele de aspirație și refulare și plunger identificate în cadrul studiului;

- integrarea de materiale cu caracteristici superioare și tehnologii ce asigură creșterea rezistenței la coroziune și abraziune identificate în cadrul studiului;

- integrarea de materiale, identificate în cadrul studiului, cu caracteristici superioare, pentru manifoldurile de aspirație și refulare în scopul creșterii rezistenței la coroziune și abraziune;

- integrarea de materiale, identificate în cadrul studiului, cu caracteristici superioare, pentru partea hidraulică și freza pompei;
- aplicarea unei soluții optime de amplasare a echipamentelor pe autoșasiu/sanie în varianta inovativă a echipamentului.

Asimilarea elementelor inovative se realizează prin proiecte de subansambluri pentru principalele elemente componente ale agregatului:

→ componenta de acționare care asigură acționarea pompei triplex de înaltă presiune și a celorlalte componente auxiliare destinate desfășurării operațiilor speciale la parametri tehnici stabiliți de presiune-debit necesari derulării operațiilor speciale la sonde;

- componenta de antrenare mecanică prin intermediul căreia se asigură transmiterea fluxului de putere și care asigură adaptarea caracteristicii mecanice a ansamblului de acționare electrică la caracteristica mecanică a pompelor triplex ale instalației, prin adaptarea reglării turației în limite largi;

- pompa triplex de presiune cu plungere care asigură parametri tehnici normali la aspirație naturală și refulare.

Proiectarea agregatului se realizează respectând condițiile impuse de standardul API specificație 7K (pentru proiectarea mecanismului de transmisie și a pieselor părții hidraulice) și cu respectarea tuturor cerințelor standardelor în vigoare privind materialele utilizate și tehnologiile de creștere a rezistenței la coroziune și abraziune identificate în studiu.

Proiectarea va avea în vedere predicția și măsurarea potențialului de risc, care se vor concretiza în soluții de alegere a materialului și a soluțiilor de protejare.

Capitolul I.2. Elemente de proiectare pentru soluția constructivă inovativă pentru echipamentul destinat operațiunilor speciale și de cimentare la sondele în exploatare

I.2.1 Principiul constructiv al agregatului de cimentare – fisurare proiectat

Agregatul destinat operațiilor speciale la sondă, după cum a fost prezentat în Studiu – Activitatea A1.1, poate fi acționat atât cu motoare Diesel cât și cu motoare electrice.

Proiectul de față integrează o soluție de acționare electrică cu motor asincron de curent alternativ trifazat acționat prin convertizor de frecvență cu comandă vectorială și scalară, soluție neutilizată la echipamentele de fabricație românească până în prezent, constituind o soluție inovativă.

Echipamentele care constituie agregatul pot fi montate atât pe autoșasiu cât și pe sanie/semiremorcă.

Agregatul autotransportabil proiectat este alcătuit din următoarele echipamente de bază:

➤ **Grup de acționare – Sistem de acționare electrică.** Sistemul de acționare electrică care va fi asimilat va asigura adaptarea caracteristicii mecanice a ansamblului de acționare electrică la caracteristica mecanică a pompelor triplex ale instalației și adaptarea reglării turației în limite largi. Grupul va fi montat într-un container ce poate fi ușor montat pe șasiul instalației, inclusiv la sondă.

➤ **Pompa triplex de presiune cu plungere** ce reprezintă un important element al echipamentului fiind destinată pomparii amestecului de cimentare-fisurare-acidizare. Pompa de presiune triplex este pompă cu simplu efect, cu angrenaj cilindric cu dantură în „V” construită special pentru regimul de funcționare al agregatului de cimentare.

Pompa este concepută să funcționeze într-un regim de turații reduse (35-200 curse duble/minut) asigurând o bună umplere a cilindrilor pompei și un randament volumetric peste 0,9 la o aspirație naturală fără supraalimentare. Aceasta este o caracteristică utilă deoarece simplifică exploatarea și mărește domeniul de utilizare a agregatului de cimentare.

Varianta moderna care se proiectează include soluții constructive moderne pentru sistemul de etanșare, supapele de aspirație și refulare și pentru plunger, conform specificațiilor identificate în cadrul studiului, soluții care se constituie ca elemente inovative.

Proiectarea pompei asigură ca, fără diminuarea randamentului volumetric, partea hidraulică a pompei să poată fi echipată, după necesitate, cu plungere de $\varnothing 90$ mm, $\varnothing 100$ mm, $\varnothing 115$ mm și $\varnothing 125$ mm.

➤ **Pompa de apă** este unul dintre cele mai compacte ansambluri și este destinată să asigure alimentarea cu apă a amestecătorului. Este o pompă cu roți dințate, a carei funcționare și randament volumetric sunt condiționate de jocurile radial și axial pe care le au roțile dințate față de corpul pompei și față de capacele laterale. Mărirea acestor jocuri conduce la scăderea debitului pompei. Pompa de apă este antrenată de la axul secundar al cutiei de viteze prin intermediul cuplajului elastic.

➤ **Haba/rezervor de măsurare de capacitate variabilă**, împărțită în 2 compartimente egale, fiecare prevăzut cu conductă de preaplin și supape independente pentru pompa cu plungere și cea de apă. Prin intermediul acesteia, umplând și golind alternativ cele două compartimente, se măsoară volumul de fluid pompat în sondă pentru a plasa pasta în spațiul dorit. Compartimentele sunt protejate împotriva coroziunii.

➤ **Haba de amestec** (Amestecător de ciment cu duze pentru operația de cimentare), care echipează agregatele de cimentare în funcție de tipul aplicației utilizate astfel:

- **Pentru operația de cimentare**, amestecătorul funcționează pe principiul antrenării cimentului praf din pâlnie cu ajutorul jetului de apă refulat prin duze. Amestecul de apă și ciment se omogenizează pe conducta prin care este transportat spre cada agregatului de cimentare. Proiectarea va asigura ca amestecătorul să fie prevăzut cu 3 duze, două laterale, înclinate, care funcționează numai împreună fiind conectate la același racord de apă și una centrală cu racord de apă separat, care poate funcționa fie separat, fie împreună cu celelalte două duze. Această construcție permite funcționarea amestecătorului cu una, două sau trei duze, în funcție de cerințele regimului de funcționare impus.

Proiectarea asigură soluții ca densitatea pastei de ciment să fie reglată cu amestecătorul în funcțiune prin variația debitului de apă, cât și prin modificarea numărului de duze în funcțiune. De asemenea, modificarea parametrilor de funcționare ai amestecătorului este posibilă și prin modificarea secțiunii de trecere a duzelor.

Suplimentar, alimentarea amestecătorului se prevede din proiect cu posibilitatea de reglare a debitului de apă, prin recircularea plusului de debit în aspirația pompei, cu ajutorul unei duze reglabile acționată manual.

• **Pentru operația de de fisurare/acidizare**, amestecătorul funcționează pe principiul *preparării amestecului de baza cu densitatea dorită*, în două faze:

- **Faza de preparare a gelului de bază**: prin intermediul grupului pompă centrifugă aspirație și a manifoldului de aspirație se aspiră apă din rezervor, care este trimisă în vasul de amestec. Tot în vas se transportă aditivul uscat cu ajutorul celor două șnecuri transport aditiv uscat și aditivul lichid cu ajutorul grupului pompare aditiv lichid, în proporții diferite, în scopul obținerii unui amestec numit gel de bază, care reprezintă suportul viitorului amestec de fisurare. Amestecarea componentelor este realizată de agitatorul dispus pe grinda vasului de amestec. Refularea amestecului din vas se face de către grup pompă centrifugă refulare

- **Faza de preparare a amestecului gel – nisip**: se aspiră gelul din rezervor urmărindu-se în permanență nivelul din vasul de amestec, nivel indicat de nivelmetrul cu ultrasunete prevăzut pe vas. Funcție de condițiile specifice fiecărei sonde se stabilește o rețetă de amestec, care precizează rațiile de nisip necesare realizării densității optime a amestecului de fisurare. Rațiile de nisip sunt preluate din cuvă și introduse în vasul de amestec de către șnecurile transport nisip care se rotesc în sensuri diferite. Această fază se poate realiza atât prin comenzi de la pupitru cât și automat. În cadrul automatizării, nivelmetrul este cel care indică permanent nivelul în vas, funcție de aceasta comandându-se aspirația și se asigură rațiile de nisip.

Sistemul de monitorizare, optimizare și comenzi prevăzut prin proiectare asigură preluarea tuturor datelor furnizate de aparatura hidrostatică: debitmetru, densimetru, indicator de turație, prelucrarea acestora într-un calculator de proces prin intermediul unui program specializat și retransmiterea informațiilor sub formă de semnale de comandă înapoi la principalele organe de acționare din agregat.

În proiectul de față, amestecătorul reprezintă o soluție inovativă, și se compune din:

- **Partea de mixare** prevăzută, în principiu, cu două pompe centrifuge pentru alimentare cu apa, recirculare și refulare amestec. Haba de amestec (mixerul de ciment) este plasată pe autosasiu/sanie. În funcție de numărul liniilor de pompare se prevede utilizarea a una sau două bucăți.

- **Depozit de ciment** . Cantitatea de ciment este stocată în două depozite de ciment de tip siloz.

Ca element de noutate, haba de amestec este proiectată având un agitator acționat de un motor hidrostatic cu turație variabilă de tip Danfoss prin intermediul unui reductor.

De asemenea, tot ca element de noutate, în vederea obținerii amestecului de bază, se realizează în haba un amestec alcătuit din apă, aditivi uscați și aditivi lichizi. În acest scop agregatul va fi prevăzut prin proiectare cu un sistem alimentator aditivi uscați - ansamblu șnec umectare, alimentator aditivi lichizi care au rolul de a asigura alimentarea cu aditivi uscați și aditivi lichizi.

Utilizarea aditivilor uscați și lichizi este necesară, după cum s-a prezentat și anterior, în scopul realizării unui amestec optim din punct de vedere al compoziției pentru a asigura succesul operației de fisurare.

- **Manifoldurile agregatului;**
- **Șasiu / Platforma Șasiu**

Având în vedere faptul că adaptarea reglării turației în limite largi pentru a realiza caracteristica mecanică a pompei triplex se poate asigura atât cu motor Diesel cât și cu Sistemul de acționare electric propus și că grupul/sistemul de acționare electric poate fi montat într-un container ce poate fi ușor amplasat pe șasiul instalației, inclusiv la sondă, putem vorbi de un grad ridicat de versatilitate al echipamentului. Cu aceeași pompă triplex cu plungere, pe un șasiu adecvat, în funcție de condițiile specifice de exploatare, și cu anumite modificări simple pe linia elementelor de antrenare mecanică, echipamentele pot fi acționate atât Diesel cât și cu Sistemul de acționare electrică propus.

Dupa cum a fost precizat in Studiu- Activitatea A1.1, pentru agregatul propus spre asimilare, ideea inovativa de echipament este prezentata in Fig. 1.

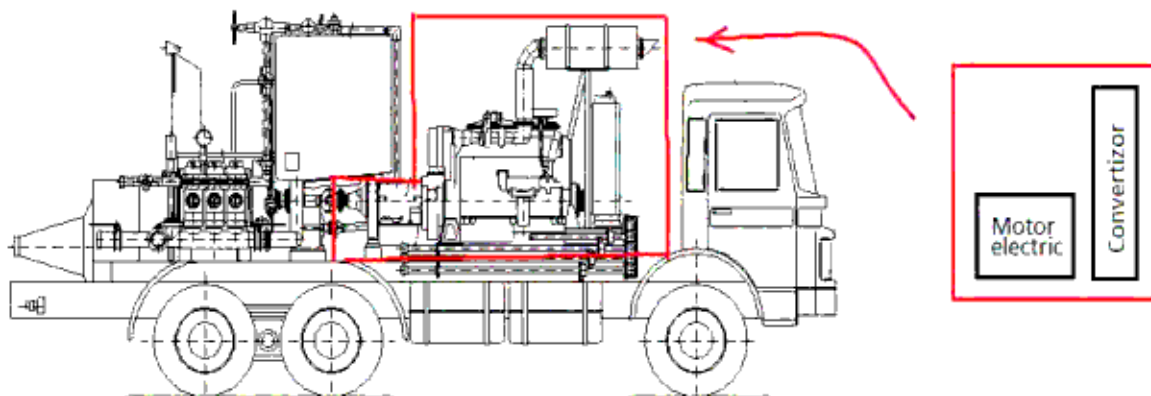


Fig. 1. Ideea inovativă de acționare electrică

Puterea necesară antrenării pompei de presiune triplex este furnizată de un sistem de acționare electric cu motor electric asincron de curent alternativ trifazat acționat prin convertizor de frecvență cu comanda vectorială și scalară (M). Sistemul proiectat va fi dotat cu protecții necesare privitoare la întregul ansamblu electric și va asigura integrarea motorului într-o buclă de control automată. Convertizorul cu variator de frecvență va fi dotat prin proiectare cu toate elementele necesare bunei funcționări în reglaj scalar și vectorial, inclusiv partea de protecții, semnalizări, comenzi și comunicații.

Proiectarea a prevăzut ca fluxul de putere să fie transmis de la grupul de acționare (M) la pompa cu plungere (Pp) prin intermediul unui lanț cinematic format din elemente de antrenare mecanică: Ax cardanic (Ac), cutie de translație (Cv) și cuplaj dintat (Cd), astfel încât să se asigure, în funcție de necesități, un număr diferit de rotații. Mișcarea primită de arborele pompei este transformată din mișcare de rotație, în mișcare de translație a plungerelor, prin intermediul unui mecanism de transmisie echipat cu angrenaj în „V”.

Tot de la grupul de acționare (M) se face antrenarea pompei de apă (Pa), mișcarea fiind preluată de la un arbore secundar (Cv) prin intermediul unui cuplaj elastic (Ce).

Prepararea amestecului pentru operația de cimentare se realizează în haba de amestec / amestecator de ciment (Mx) prin combinarea apei refulate de pompa de apă (Pa) cu cimentul din containerul de ciment (Cc).

Amestecul de cimentare este aspirat de pompa triplex cu plungere (Pp) din haba de măsurare prin intermediul manifoldului de aspirație (Ma) și refulat la gura sondei (S) prin intermediul manifoldului de refulare.

În cazul operațiilor care necesită volume mari de introdus la sondă, sunt preferate agregatele cu două linii de pompare.

Schema funcțională pentru un agregat cu două linii de pompare este prezentată în Fig. 4.

La agregatele cu două linii de pompare antrenarea celor două pompe cu plungere (Pp₁) și (Pp₂) este independentă și se realizează de către un motor (M₁, M₂) prin intermediul unui lanț cinematic compus din ambreiaj (Am₁, Am₂), ax cardanic (Ac₁, Ac₂), cutie de viteze (Cv₁, Cv₂), și cuplaj dintat (Cd₁, Cd₂).

Conform schemei funcționale indicate, antrenarea pompei de apă se face de la priza de putere a autoșasiului (Pr) prin intermediul unui lanț cinematic compus din ax cardanic (Ac), reductor (R) și cuplaj elastic (Ce).

Prepararea amestecului pentru operația de cimentare se realizează în mixerul de ciment (Mx) prin combinarea apei refulate de pompa de apă (Pa) respectiv pompele (Pa_1 , Pa_2) cu cimentul din containerul (Cc).

Pompele cu plungere (Pp_1 , Pp_2) aspira cu ajutorul manifoldurilor (Ma_1 , Ma_2) laptele de ciment și îl refulază prin intermediul manifoldurilor de refulare (Mr_1 , Mr_2) la gura sondei (S0).

Pentru o usoara adaptare a performantelor agregatului la cerințele sondei , prin proiectare asigurăm că sistemul de acționare electrică să realizeze operațiile de cimentare la un produs debit – presiune aproape constant, utilizând integral puterea motoarelor de acționare astfel încât să efectueze operația în condiții de eficiență sporită.

Indiferent de varianta constructivă, prin proiectare se asigură că toate comenzile agregatului sunt centralizate și se pot efectua de pe podestul amplasat în jurul pupitrului de comandă. La pupitrul de comandă sunt montate atât aparatele de urmărire a funcționării pompei cu plungere și a pompei de apă cât și cele necesare urmării funcționării motorului de acționare. Pentru urmărirea presiunii de refulare, agregatele se prevăd din proiectare cu manometre cu izolator de mediu și amortizor, montate pe colectorul de refulare al pompei.

Capitolul I.3. Elemente de proiectare și dimensionare în vederea asigurării caracteristicilor tehnice inovative

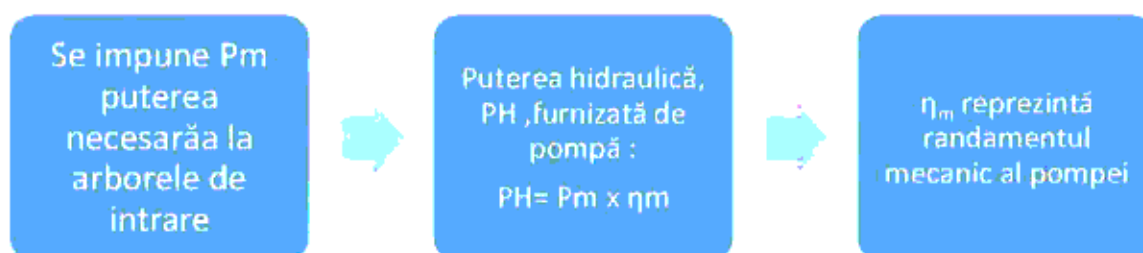
Optimizarea operațiilor speciale se poate realiza din faza de proiectare, prin alegerea unor soluții constructive avantajoase din punct de vedere al utilizatorului, prin dispunerea judicioasă

a subsansamblelor agregatului în funcție de utilitatea fiecăruia.

I.3.1 Elemente de proiectare pentru pompa triplex

Metoda de proiectare se prezintă în continuare:

Etapa I Calculul puterilor



Aceste puteri sunt necesare pentru calculul presiunilor, pentru dimensionarea elementelor ce realizează contactul cu fluidul: cămășile, pistoanele, supapele etc.

Etapa II Calculul debitelor teoretice

Volumul de fluid pe cursă dublă pentru fiecare piston:

$$V_{vd} = \frac{\pi \cdot D_p^2}{4} \cdot s \cdot n_p \quad [m^3/c.d.]$$

Date piston: D_p -diametru; s - cursa; n_p - număr pistoane

Debitul teoretic , Q_1 : $Q_1 = V_{vd} \cdot n$ (m³/s)

Etapa III Calculul presiunilor maxime la refularea pompei

Puterea hidraulică $P_H = p \times Q_1$ (kW)

Presiunea la refularea pompei:

$$p = \frac{P_H}{Q_1} \left[\frac{10^3 \cdot W}{10^3 \cdot m^3} \right] = \frac{P_H}{Q_1} \left[\frac{10^3 \cdot N \cdot m/s}{1/60 \cdot 10^3 \cdot m^3/s} \right] = \frac{P_H}{Q_1} [60 \cdot 10^6 \cdot N/m^2] = \frac{P_H}{Q_1} [MPa]$$

Calculul presiunilor maxime la refularea pompei pentru fiecare piston este necesar pentru dimensionarea cămășilor, pistoanelor, supapelor, care reprezintă elemente ale părții hidraulice a pompei.

Etapa IV Determinarea variației debitului instantaneu

Principiul de funcționare al pompei cu piston este prezentat în figura următoare.

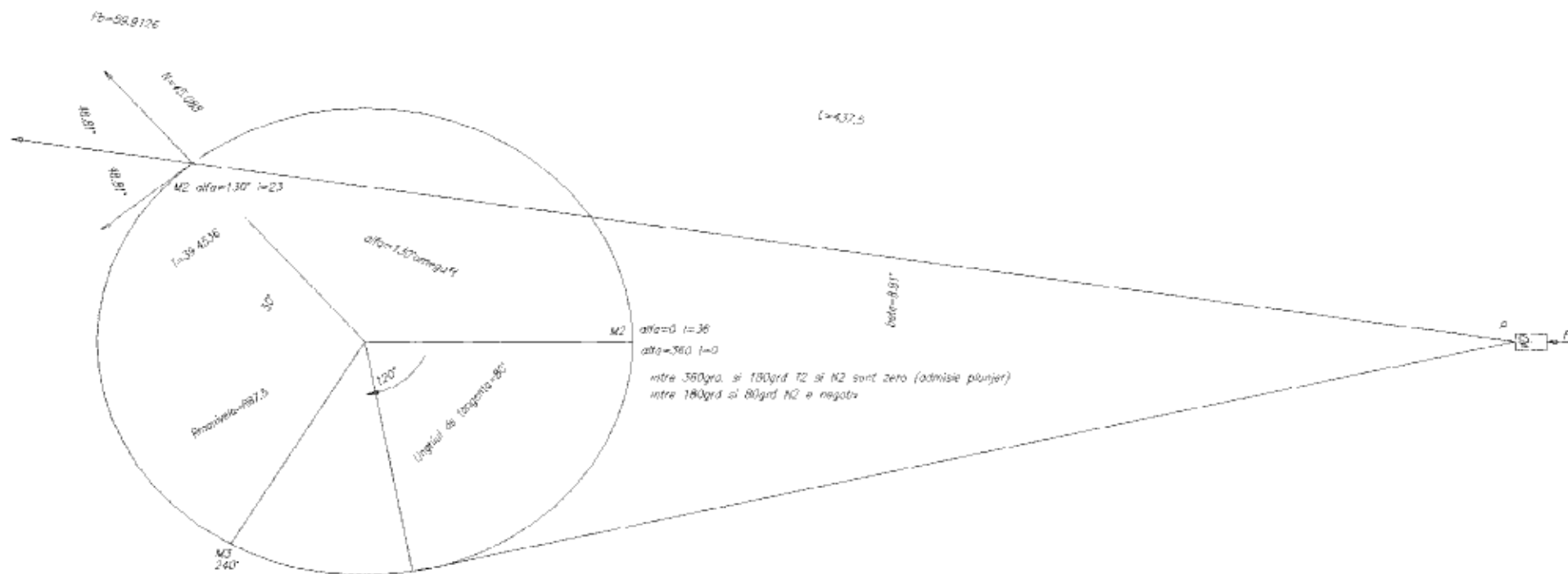


Fig. 3.3. Reprezentare cercului de rază $R_{manivelă} = 87.5\text{mm}$, pentru manetonul de referință M2, cu plunjerul P2 în dreapta cercului de manivelă M2, și cu manetonul M2 rotindu-se din cadranul 1 trigonometric, de pe axa OX în jos, în sensul ceasului, cu un pas de calcul $\alpha = 10$ grade



utilaj petrolier & metalurgic

www.petal.ro



Tel: 0040235/481781
Fax: 0040235/481342

Adresa: Huși-Vaslui, Str. A. I. Cuza nr.99, 735100 România
E-mail: office@petal.ro

ORC: J37/191/2003
CUI: RO841186
Capital social: 2.971.825
lei

Sunt prezentate în continuare calculele necesare pentru realizarea graficelor de intrare pentru analiză cu element finit dinamică directă și modală a arborelui cotit și anume Graficele efectelor perturbatoare în timp, dinamice de intrare, constituite din cele 3 seturi de forțe tangențiale $T(t)$ și normale $N(t)$, variabile în timp, în intervalul de o perioadă $T=0.294$ sec de rotație a arborelui cotit, în punctele M de pe manetoanele arborelui cotit și anume $M2[T2(t);N2(t)]$, $M3[T3(t);N3(t)]$ și $M1[T1(t);N1(t)]$, manetonul M2 fiind considerat de referință, rotindu-se din cadranul 1 trigonometric, de pe axa OX în jos-sens orar, cu un pas de calcul $\alpha=10$ grade.

Celelalte manetoane M3 și M1, se rotesc decalat față de M2, decalajul fiind de 120° pentru fiecare.

Intervalul de timp total al analizei dinamice $DRC=0.32$ sec (Durata Răspunsului Calculat), acoperitor față de perioada perturbatoare $T=0.294$ sec, va fi parcurs pas cu pas, cu nr. de pași ai analizei $STEP=320$, cu incrementul de timp al unui pas $DT=0.001$ sec.

Prin variația pas cu pas a acestor seturi M1, M2 și M3 de valori de forțe tangențiale $T(t)$ și normale $N(t)$ variabile din timp, cu incrementul de timp $DT=0.001$ sec, în cadrul analizei dinamice directe cu răspuns în timp se vor efectua $STEP=320$ de pași ai analizei dinamice, în intervalul de timp total al analizei dinamice $DRC=0.32$ sec (Durata Răspunsului Calculat) și se vor efectua efectiv în total 320 de analize statice ale arborelui cotit, pentru a se determina momentul de timp t_{max} din cadrul analizei dinamice directe cu răspuns în timp în care încărcarea arborelui cotit este maximă.

Tabel 3.1

IV.4. Reducerea maselor pieselor în mișcare de translație ale arborelui cotit, față de axa arborelui cotit

Metoda de calcul efectivă pentru realizarea analizei dinamice cu element finit, constă din înlocuirea sistemului real , cu unul echivalent din punct de vedere al comportării dinamice, dar mai simplu. Pentru acesta în cazul arborelui cotit, este avantajos să se înlocuiască biela printr-un sistem compus din 2 mase concentrate, $m1B$, în punctul de pe maneton M , și $m2B$, în punctul de pe capul de cruce de pe piston P .

Reducerea maselor pieselor în mișcare de translație față de axa arborelui cotit se poate face înlocuind masele pieselor în mișcare alternativa de translație (partea de masă $m1b$ a bielei din punctul M , masa plunjerului, masa axului plunjerului, masa tijei plunjerului, masa capului de cruce), cu o masă echivalentă Mtr în mișcare de rotație față de axa arborelui cotit, dispusă într-un plan perpendicular pe axa de rotație, la o distanță $R=87.5$ mm față de axa de rotație.

Pentru reducerea maselor pieselor în mișcare de translație față de axa arborelui cotit, mai întâi trebuie să calculăm poziția centrului de greutate CG al bielei față de originea sistemului de coordonate XOY , aflată în punctul M de manivelă al bielei.

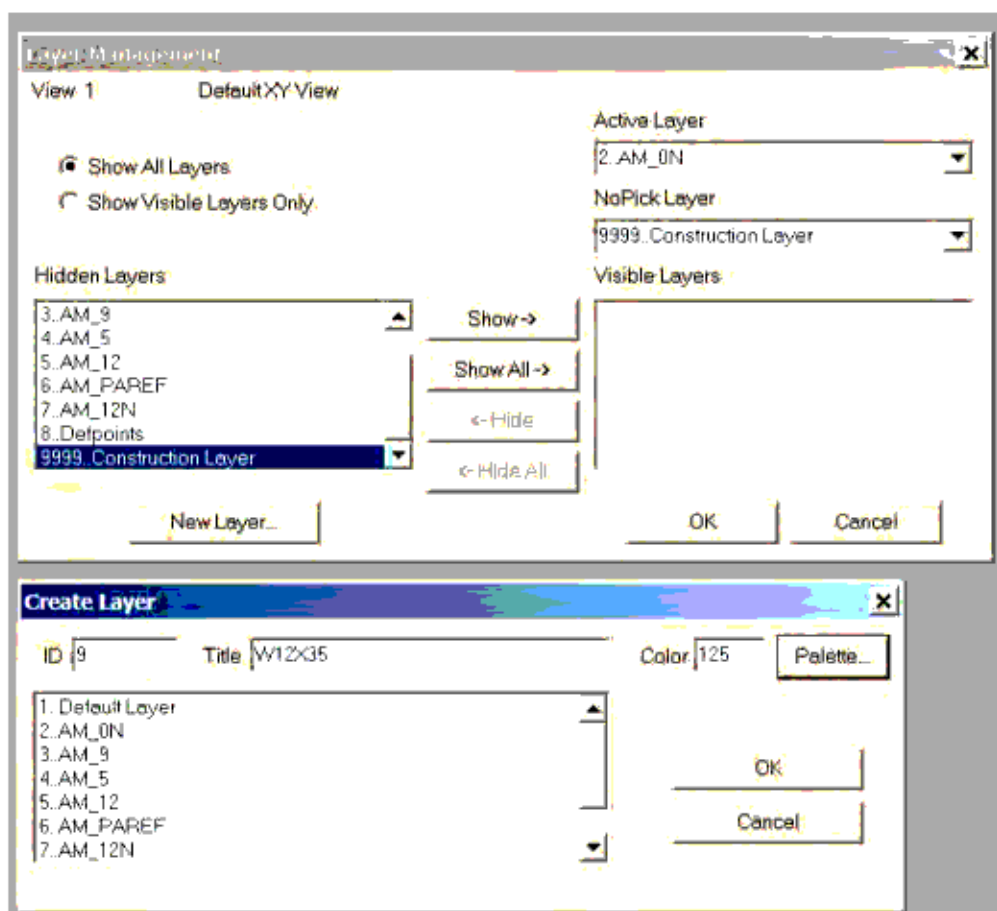
IV.5. Alegerea setului de unități de măsură folosit

Se alege pentru programul **MSC Visual Nastran for Windows 2003** următorul set de unități de măsură [**mm, N, MPa**] , pentru analiza dinamică cu element finit a arborelui cotit:

- Cotele lineare= [mm]
- Forțe= [N]
- Momente= [N*mm];
- Eforturi unitare= [MPa];
- Deformații= [mm];
- Accelerații= [mm/sec²]
- Densitate_otel= $7.85 \cdot 10^{-9}$ [N*sec²/mm³]
- Mase concentrate= [N*sec²/mm];

Fig.8.5.. Definirea componentei geometrice Boundary Surface (culoare verde)

Se creează prin comanda **View / Layers**, și prin ferestrele din Fig.8.6.. un nou layer **9.W12X35**, în care vor fi introduse toate elementele geometrice ale secțiunii profilului W12X35 [cm], care inițial este gol, încă nu conține nimic.



8.6. Crearea Layerului 9.W12X35 pentru elementele geometrice ale secțiunii profilului W12X35

Pentru a se introduce toate elementele geometrice (puncte, curbe, Boundary Surfaces) ale secțiunii profilului W12X35 se procedează ca în continuare:

-Se folosește comanda **Modify / Layer / Point**, **Select All** și **Select Layer**, indicându-se noul Layer 9.W12X35 în care vor fi introduse elementele geometrice, pentru punctele secțiunii profilului W12X35 (Fig.8.7.-8.8).

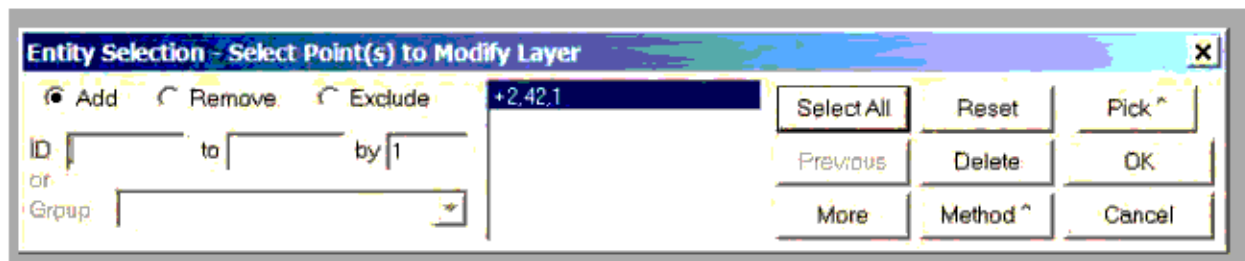


Fig.8.7. Folosirea comenzii Modify / Layer / Point , Select All și Select Layer, indicându-se noul Layer 9.W12X35 în care or să fie introduse elementele geometrice, pentru punctele secțiunii profilului W12X35

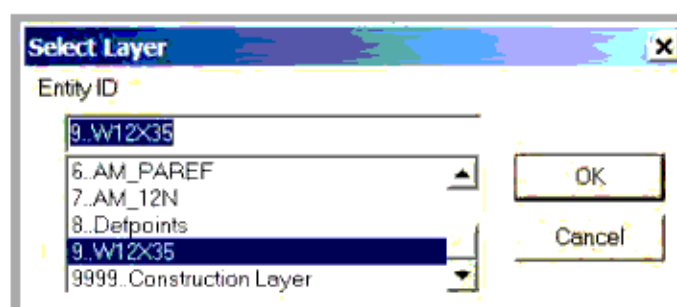


Fig.8.8. Folosirea comenzii Modify / Layer / Point , Select All și Select Layer, indicându-se noul Layer 9.W12X35 în care or să fie introduse elementele geometrice, pentru punctele secțiunii profilului W12X35

-Se folosește comanda **Modify / Layer / Curve** , **Select All** și **Select Layer**, indicandu-se noul Layer 9.W12X35 în care or să fie introduse elementele geometrice, pentru curbele secțiunii profilului W12X35 (Fig.8.9÷8.20).

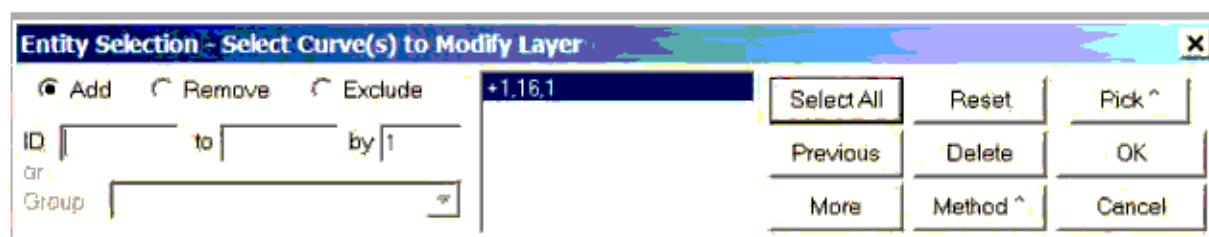


Fig.8.9. Folosirea comenzii Modify / Layer / Curve , Select All și Select Layer, indicându-se noul Layer 9.W12X35 în care or să fie introduse elementele geometrice, pentru curbele secțiunii profilului W12X35

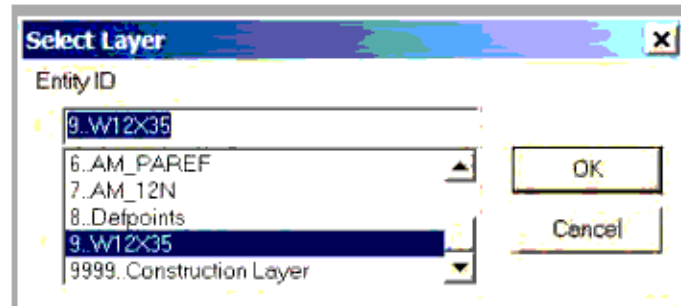


Fig.8.10. Folosirea comenzii Modify / Layer / Curve , Select All și Select Layer, indicându-se noul Layer 9.W12X35 în care or să fie introduse elementele geometrice, pentru curbele secțiunii profilului W12X35

-Se folosește comanda **Modify / Layer / Surface , Select All și Select Layer**, indicându-se noul Layer 9.W12X35 în care or să fie introduse elementele geometrice, pentru **Surfaces** ale secțiunii profilului W12X35 (Fig.8.11÷8.12).

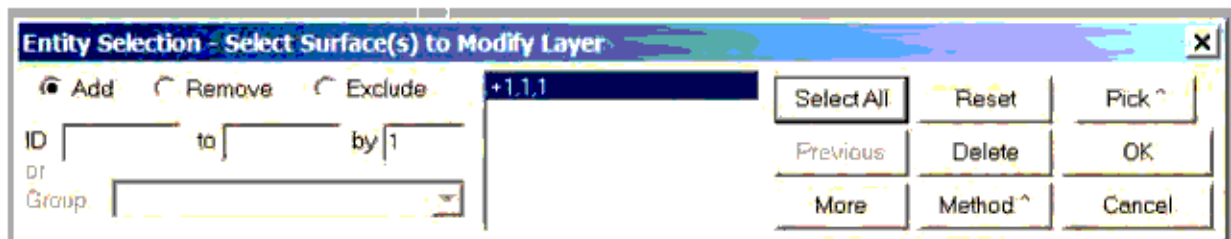


Fig.8.11. Folosirea comenzii Modify / Layer / Curve , Select All și Select Layer, indicându-se noul Layer 9.W12X35 în care or să fie introduse elementele geometrice, pentru Surfaces ale secțiunii profilului W12X35

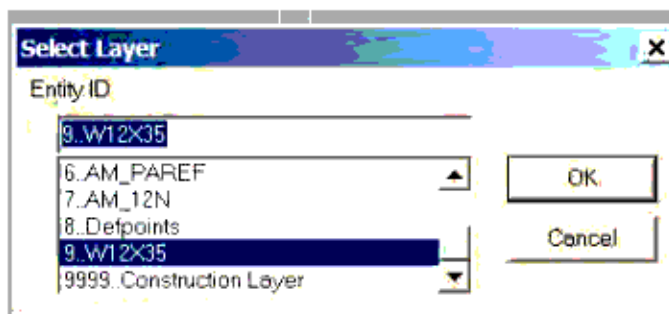


Fig.8.12. Folosirea comenzii Modify / Layer / Curve , Select All și Select Layer, indicându-se noul Layer 9.W12X35 în care or să fie introduse elementele geometrice, pentru Surfaces ale secțiunii profilului W12X35

Acum, toate elementele geometrice (puncte, curbe, suprafețe) ale secțiunii profilului W12X35 sunt în Layerul 9.W12X35 (Fig.8.13)

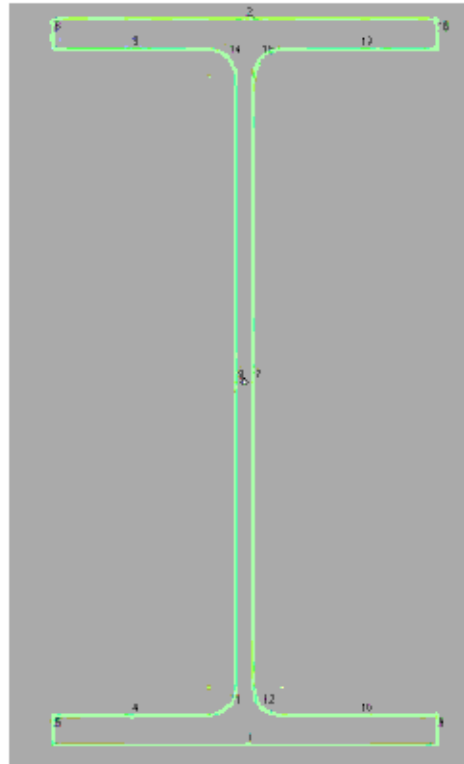


Fig.8.13 Definirea secțiunii profilului W12X35 sunt în Layerul 9.W12X35

Se definește acum în MSC Nastran tipul materialului pentru elementele tip bara. Se încarcă din biblioteca de materiale (Library) materialul predefinit Oțel daN-cm (Fig.8.14)

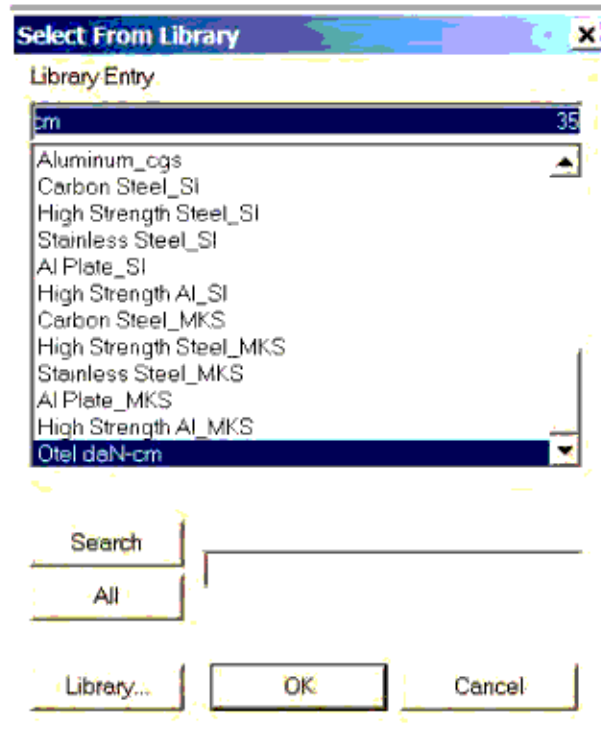
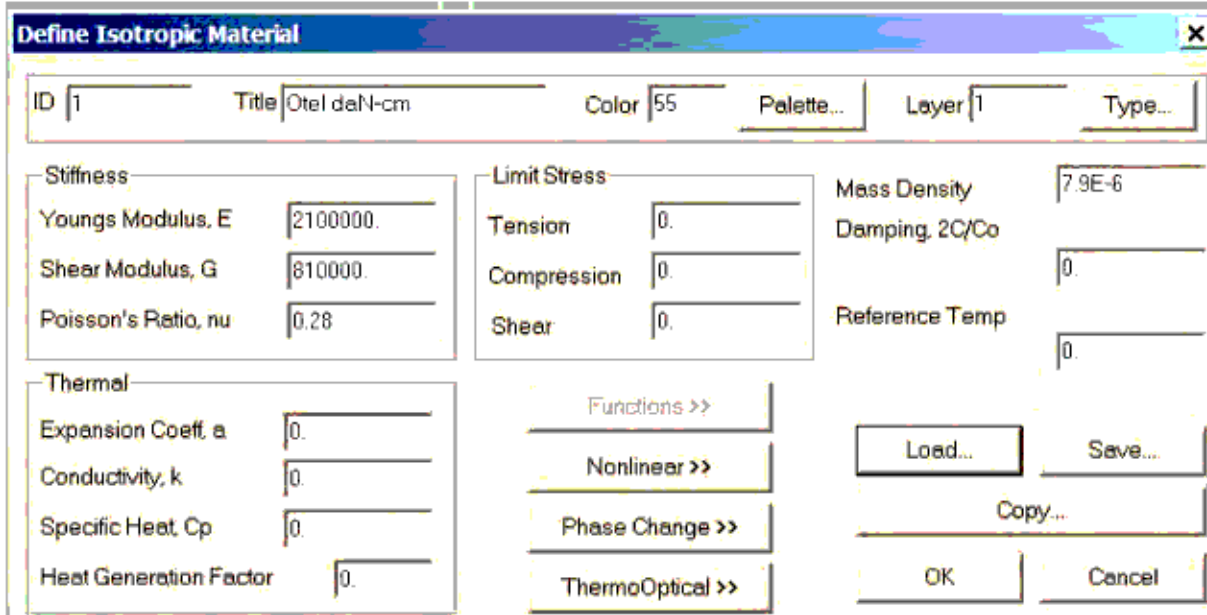


Fig.8.14. Se încarcă din biblioteca de materiale (Library) materialul predefinit Oțel daN-cm

Se definește astfel Materialul nr.1.Oțel daN-cm (Fig.8.15.) având caracteristicile de material: $E=2.1E6$ daN/cm² (Modulul lui Young, Modulul de elasticitate longitudinal, Modulul lui Young este definit ca raportul dintre variația efortului unitar longitudinal de-a lungul unei axe față de variația deformației pe acea axă, în intervalul linear de elasticitate al legii lui Hook), $G=8.1E5$ (Modulul de elasticitate transversal), Constanta lui Poisson=0.28 (Constanta lui Poisson este raportul negativ între deformația transversală față de deformația axială a materialului), Densitatea masică= $7.9E-6$ *daN*sec²/cm⁴



8.15.. Se definește în MSC Nastran Materialul nr.1.Oțel daN-cm

Se definește în continuare în MSC Nastran, proprietatea nr.1 de secțiune de profil și anume 1.W12X35, din meniul **Model / Property** (Fig.4.17.). Se alege mai întâi **Element Type =Beam** din fereastra din Fig.8.16.

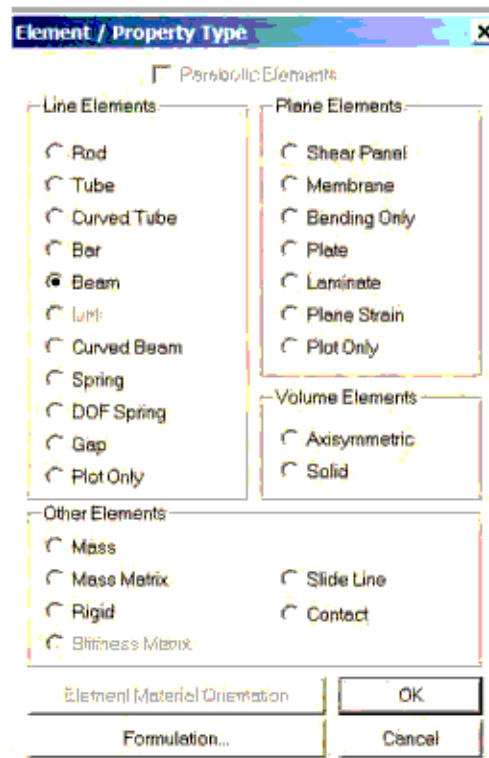


Fig.8.16. Alegerea din fereastra Element / Property Type a Element Type=Beam



Fig.8.17. Definirea Proprietății nr.1 a secțiunii profilelor 1.W12X35

În fereastra **Define Property –Beam Element Type** se apasă pe butonul **Shape** și se intra în fereastra **Cross Section Definition**, de unde, din meniul **Shape**, se alege **General Section**. Se apasă pe butonul **Surface** și se selectează de pe ecran **Boundary Section** al secțiunii profilului **W12X35** deja desenat (Fig.8.18.).

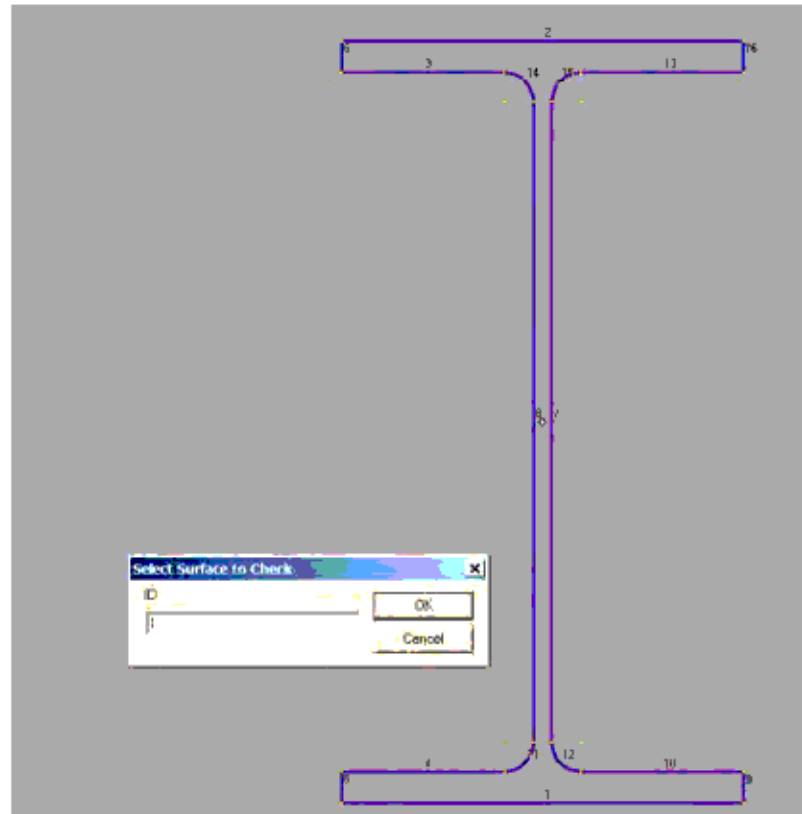
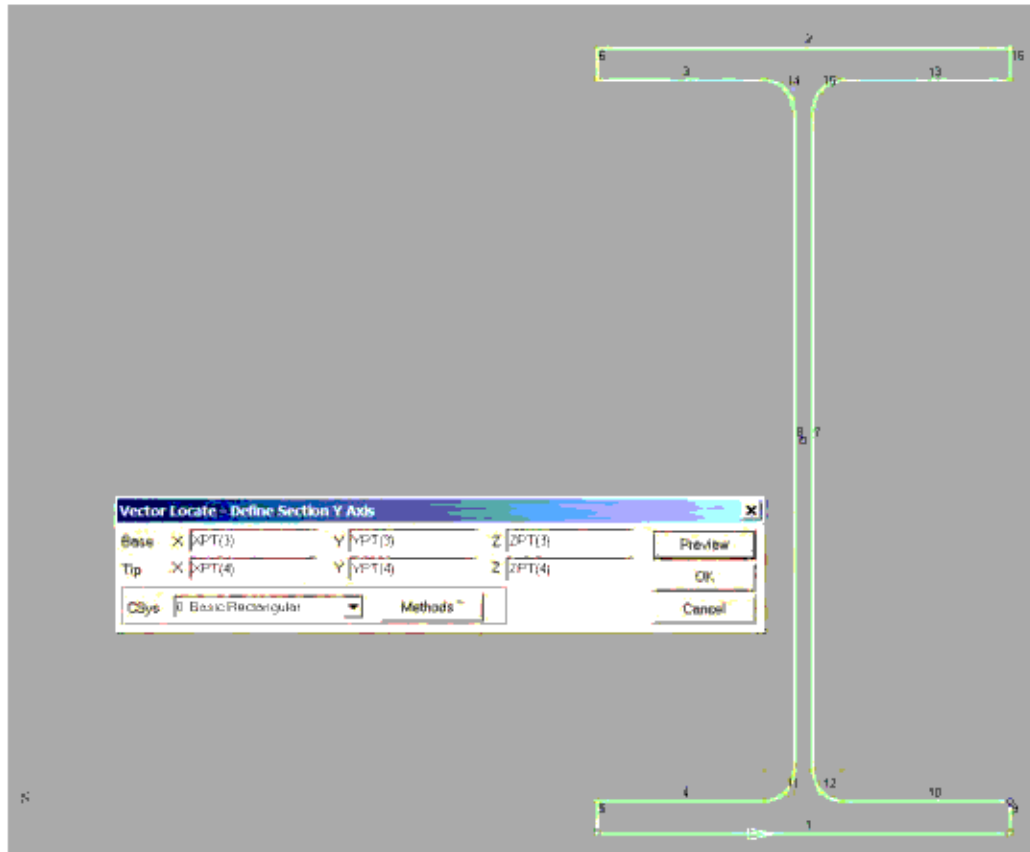


Fig.8.18. Selectia pentru Boundary Section pentru definirea proprietății de secțiune 1.W12X35

Se definește apoi orientarea axei Y locale a secțiunii. Se selectează cu **BMD** pe ecran **Snap to Point** și se dă click pe **Base Point PT(3)** și pe **Tip Point Pt(4)** (Fig.8.19.)



8.19. Definirea axei Y locale a secțiunii

Apare astfel în fereastra **Cross Section Definition**, forma secțiunii profilului W12X35, cu axa locală a secțiunii Y=Up (în sus) și axa locală Z a secțiunii Z=Left (în dreapta) (Fig.8.20.)

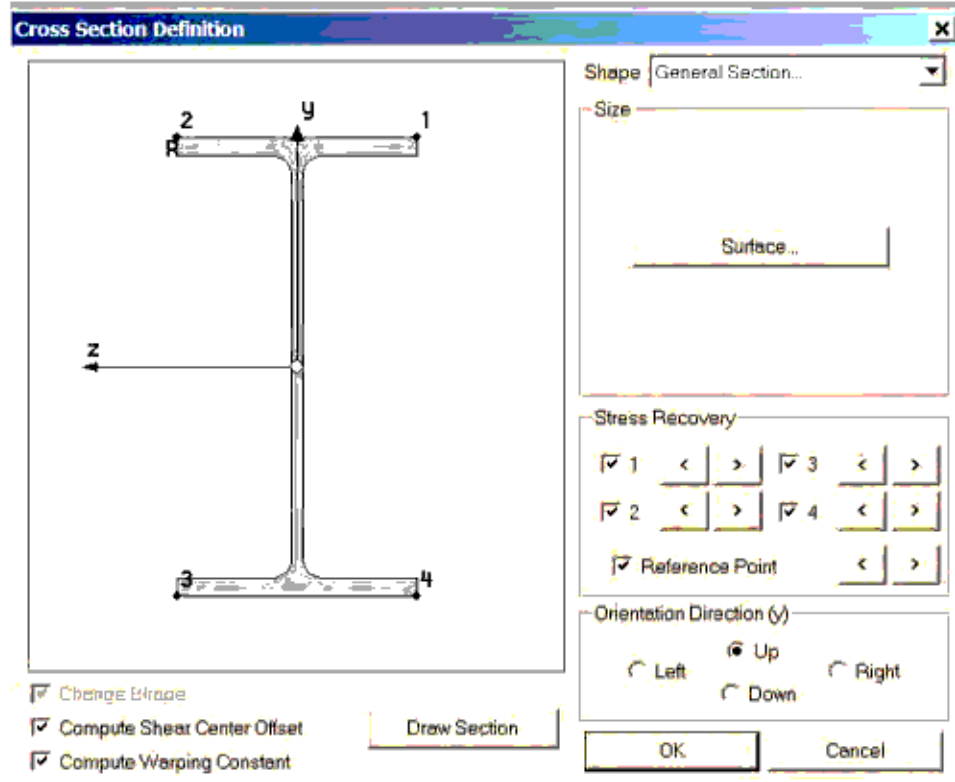


Fig.8.20. Fereastra Cross Section Definition de definire a secțiunii profilului W12X35

Se dă OK și se obțin proprietățile geometrice și inerțiale ale secțiunii profilului W12X35 din fereastra **Define Property-BEAM Element Type** din Fig.8.21.



Define Property - BEAM Element Type

ID: 1 Title: W12X35 Material: 1...Otel daN-cm
Color: 110 Palette... Layer: 1 Elem/Property Type...

Property Values

	End A	End B
<input type="checkbox"/> Tapered Beam		
Area, A	67.51107	0.
Moment of Inertia, I1 or Izz	12029.51	0.
I2 or Iyy	1020.07	0.
I12 or Izy	0.	0.
Torsional Constant, J	33.76504	0.
Y Shear Area	23.58141	0.
Z Shear Area	43.88265	0.
Nonstruct mass/length	0.	0.
Warping Constant	233617.6	0.
Perimeter	126.5164	0.
Y Neutral Axis Offset	0.	0.
Z Neutral Axis Offset	0.	0.

Stress Recovery (2 to 4 Blank=Square)

	Y	Z
End A 1	15.875	-8.3312
2	15.875	8.3312
3	-15.875	8.3312
4	-15.875	-8.3312
End B 1	0.	0.
2	0.	0.
3	0.	0.
4	0.	0.

Shape...

Load... Save... Copy... OK Cancel

Fig.8.21. Proprietățile geometrice și inerțiale ale secțiunii profilului W12X35 din fereastra Define Property-BEAM Element Type

Se obțin în programul MSC Nastran următoarele proprietăți geometrice și inerțiale ale secțiunii profilului W12X35:

1. Aria=67.511 cm²;
2. Momentul de inerție axial față de axa Z, Izz=12029.51 cm⁴;
3. Momentul de inerție axial față de axa Y, Iyy=1020.07 cm⁴;
4. Momentul de inerție centrifugal Izy=0;
5. Torsional Constant= Moment de Inerție Torsional în jurul axei X=33.65 cm⁴;
6. Y Shear Area= 23.5841 cm²= Aria de Forfecare Y;
7. Z Shear Area= 43.882 cm²= Aria de Forfecare Z;
8. Nonstructural mass/ Length= 0 daN*sec²/cm= Masa nestructurală atașată elementului;
9. Warping Constant= Cw=233617.6 cm⁶ = Warping Torsional Constant= Constanta de răsucire cu deformare;

10. Perimeter=126.516 cm= Perimetrul secțiunii elementului;
11. Y Neutral Axis Offset End A= 0 cm End B= 0 cm (distanța Y de la SC la CG);
12. Z Neutral Axis Offset End A= 0 cm End B= 0 cm (distanța Z de la SC la CG).

-**Torsional Constant, $J=I_{xx}=I_t$ =Moment de inerție torsional (Sectorial)**, este o proprietate geometrică a secțiunii transversale a grinzilor care este implicată în relația dintre unghiul de răsucire și momentul de torsiune aplicat de-a lungul axei barei, ptr. o bară omogenă linear-elastică.

Astfel, Momentul de inerție torsional descrie rigiditatea torsională a barei.

-**Shear Area (Aria de Forfecare)** reprezintă aria secțiunii care efectiv rezistă forței de forfecare. Considerarea Ariei de Forfecare reduce efectiv aria secțiunii, reflectând astfel distribuția tensiunii tăietoare în secțiune.

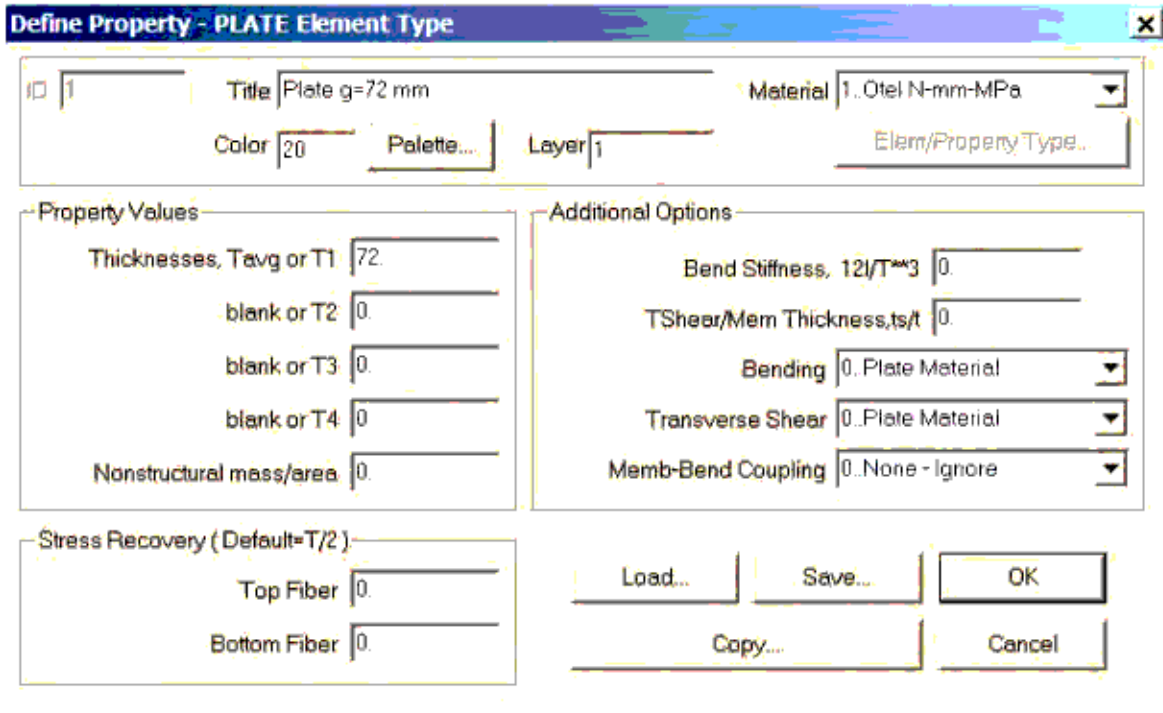
-**Shear Factor=Shear Aria / Area Unele programe de element finit (CosmosVM)** necesită introducerea lui **Shear Factor**.

-**Warping Constant**= Constanta de răsucire cu deformare, măsoară rezistența elementului la torsiunea neuniformă, sau torsiune cu deformare. Este utilizat pentru calcularea momentului rezistent de flambaj al grinzilor nesprijinite lateral și al flambajului torsional-flexional al elementelor comprimate.

Utilizând procedurile prezentate mai sus au fost definite în programul MSC Nastran următoarele seturi de caracteristici tip Properties, pentru definirea caracteristicilor geometrice și inerțiale ale secțiunii elementelor arborelui cotit:

1.Prop.1. Plate g=72mm

Este setul 1.Property pentru definirea caracteristicilor geometrice și inerțiale ale secțiunii elementelor tip placă (Plate), cu grosime $g=72\text{mm}$, pentru elementele care alcătuiesc palierelor sub formă de placă sub formă de disc de la capetele manetonul M2 . În Fig.8.22. sunt prezentate caracteristicile geometrice și inerțiale ale Prop.1.Plate $g=72\text{mm}$.



Define Property - PLATE Element Type

ID: 1 Title: Plate g=72 mm Material: 1..Otel N-mm-MPa
Color: 20 Palette... Layer: 1 Elem/Property Type...

Property Values

Thicknesses, Tavg or T1: 72.
blank or T2: 0.
blank or T3: 0.
blank or T4: 0.
Nonstructural mass/area: 0.

Additional Options

Bend Stiffness, 12/T**3: 0.
TShear/Mem Thickness,ts/t: 0.
Bending: 0..Plate Material
Transverse Shear: 0..Plate Material
Memb-Bend Coupling: 0..None - Ignore

Stress Recovery (Default=T/2)

Top Fiber: 0.
Bottom Fiber: 0.

Buttons: Load... Save... OK Copy... Cancel

Fig.8.22. Caracteristicile geometrice și inerțiale ale Prop.1.Plate g=72mm.

2.Prop.2. D=235mm

Este setul 2.Property pentru definirea caracteristicilor geometrice și inerțiale ale secțiunii elementelor tip bară Beam 3D de diametru $D=235\text{mm}$ care alcătuiesc porțiunile de legătură între manetoane și discurile palier ale arborelui cotit. În Fig,8.23 sunt prezentate caracteristicile geometrice, definirea axelor secțiunii și desenul secțiunii Prop.2 $D=235\text{mm}$, iar în Fig 8.24 sunt prezentate caracteristicile geometrice și inerțiale ale Prop.2 $D=235\text{mm}$.

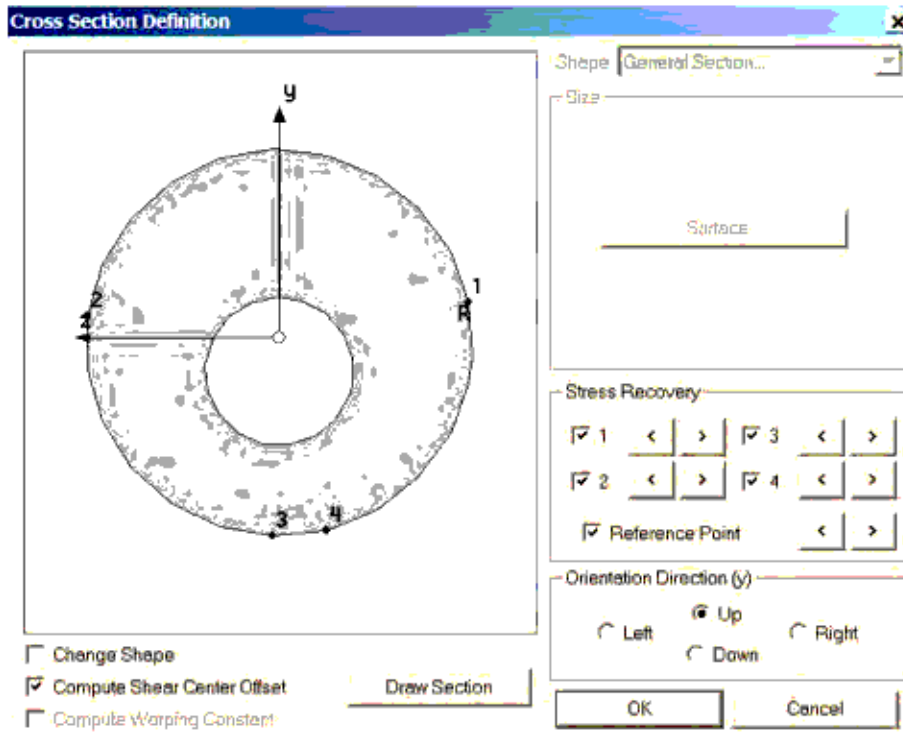


Fig.8.23 Caracteristicile geometrice, definirea axelor secțiunii și desenul secțiunii Prop.2 D=235mm

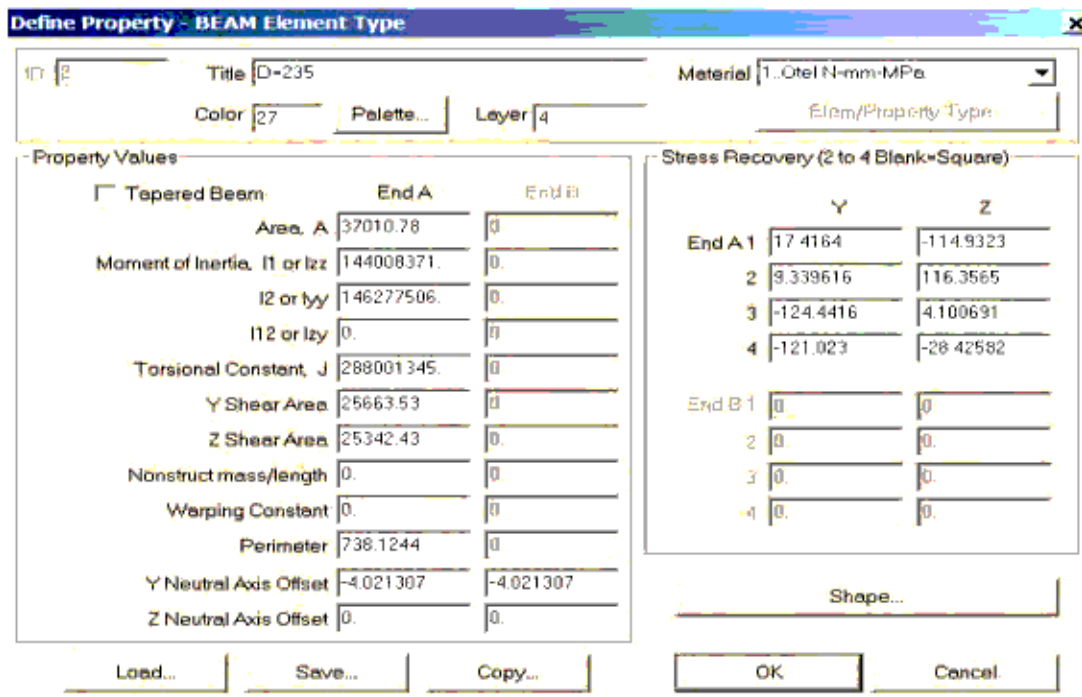


Fig 8.24 Caracteristicile geometrice și inerțiale ale Prop.2 D=235mm

De remarcat ca în Fig.8.24. a fost calculată distanța $Y_{\text{neutral-axis_offset}} = -4.021 \text{ mm} = -dy_{\text{SC_CG}}$ De la SC (Shear Center-Centrul de răsucire al secțiunii) la CG (Centrul de Greutate al secțiunii). CG a fost calculat în Autocad și este $CG-I = -3.008 \text{ mm} = -dy_{\text{CG_I}}$, Unde I este centrul geometric al cercului mare. MSC Nastran pune secțiunea profilului cu SC peste I-I axa nodurilor, astfel încât, pentru a pune secțiunea cu centrul geometric I peste axa I-I a nodurilor, atunci trebuie introdus un decalaj al secțiunii $dy_{\text{SC_I}} = -dy_{\text{SC_CG}} - dy_{\text{CG_I}} = -3.008 - 4.021 = -7.029 \text{ mm}$. (Fig.8.25)

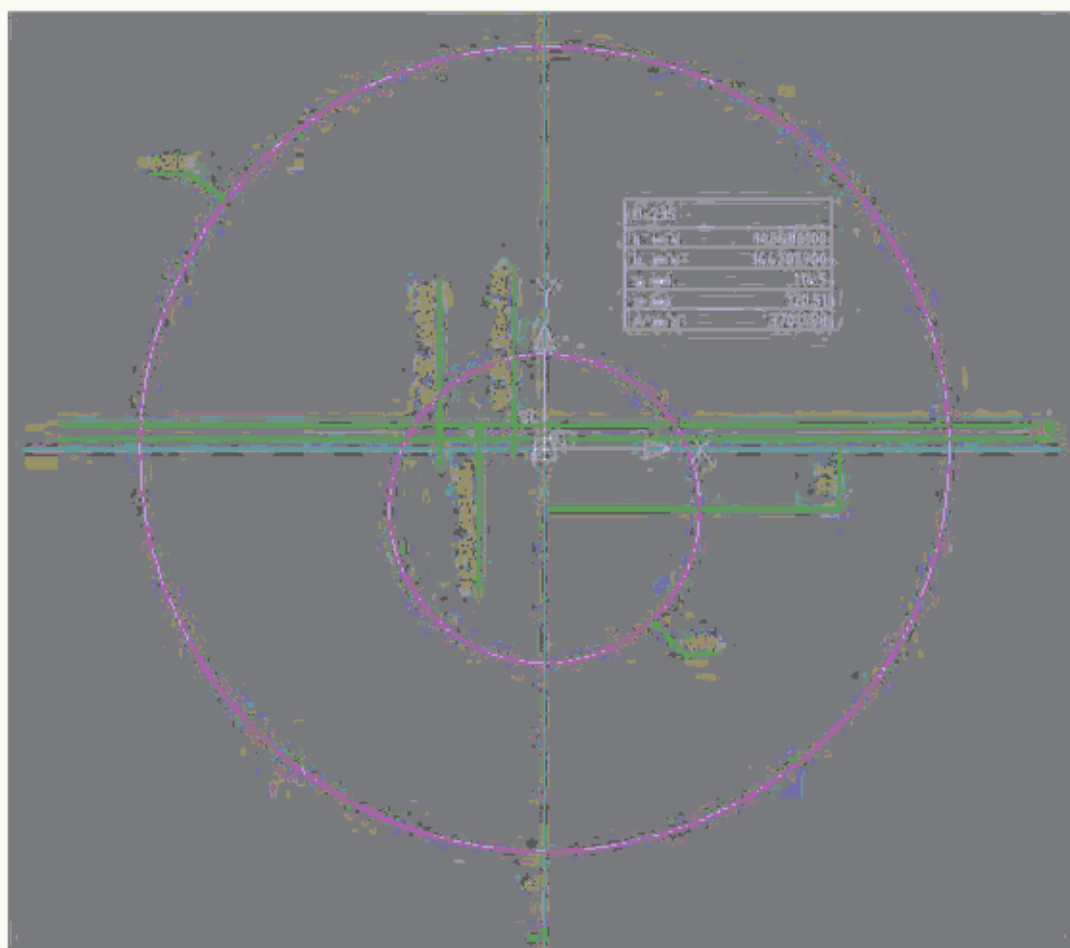


Fig.8.25. Calculul și cotarea decalajului secțiunii. Prop.3. D=235, $dy_{\text{SC_I}} = -dy_{\text{SC_CG}} - dy_{\text{CG_I}} = -3.008 - 4.021 = -7.029 \text{ mm}$

3.Prop.3. D=205mm

Este setul 3.Property pentru definirea caracteristicilor geometrice și inerțiale ale secțiunii elementelor tip bară Beam 3D de diametru $D=205\text{mm}$ care alcătuiesc manetoanele M1, M2 și M3 ale arborelui cotit. În Fig.8.26 sunt prezentate caracteristicile geometrice, definirea axelor secțiunii și desenul secțiunii Prop.3 D=205mm, iar în Fig 8.27 sunt prezentate caracteristicile geometrice și inerțiale ale Prop.2 D=205mm.

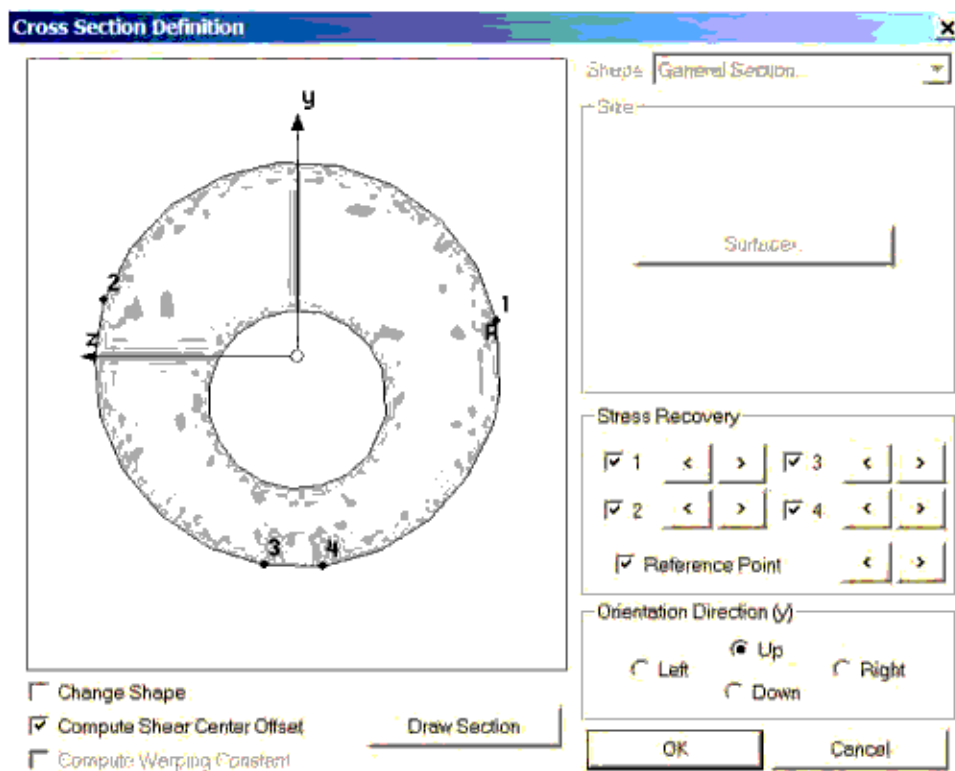


Fig.8.26. Caracteristicile geometrice, definirea axelor secțiunii și desenul secțiunii Prop.3 D=205mm

Define Property - BEAM Element Type

ID: 3 Title: D=205 Material: 1..Otel N-mm-MPa
Color: 100 Palette... Layer: 5 Elem/Property Type...

Property Values

	End A	End B
<input type="checkbox"/> Tapered Beam		
Area, A	26644.9	0
Moment of Inertia, I1 or Izz	80950902	0
I2 or Iyy	83351261	0
I12 or Izy	0	0
Torsional Constant, J	161847087	0
Y Shear Area	17707.4	0
Z Shear Area	17370.3	0
Nonstruct.mass/length	0	0
Warping Constant	0	0
Perimeter	643.8865	0
Y Neutral Axis Offset	-5.450363	-5.450363
Z Neutral Axis Offset	0	0

Stress Recovery (2 to 4 Blank=Square)

	Y	Z
End A 1	12.42483	-100.1036
2	23.11876	97.13445
3	-110.7594	16.58265
4	-111.2921	-12.9201
End B 1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0

Shepe...

Load... Save... Copy... OK Cancel

Fig 8.27. Caracteristicile geometrice și inertiiale ale Prop.3 D=205mm

De remarcat ca în Fig.8.26. a fost calculată distanța $Y_{neutral-axis_offset} = -5.450 \text{ mm} = -dy_{SC_CG}$ = De la SC (Shear Center-Centrul de răsucire al secțiunii) la CG (Centrul de Greutate al secțiunii). CG a fost calculat în Autocad și este $CG-I = -4.18 \text{ mm} = -dy_{CG_I}$, Unde I este centrul geometric al cercului mare. MSC Nastran pune secțiunea profilului cu SC peste I-I axa nodurilor, astfel încât, pentru a pune secțiunea cu centrul geometric I peste axa I-I a nodurilor, atunci trebuie introdus un decalaj al secțiunii $dy_{SC_I} = -dy_{SC_CG} - dy_{CG_I} = -4.18 - 5.450 = -9.63 \text{ mm}$ (Fig.8.28).

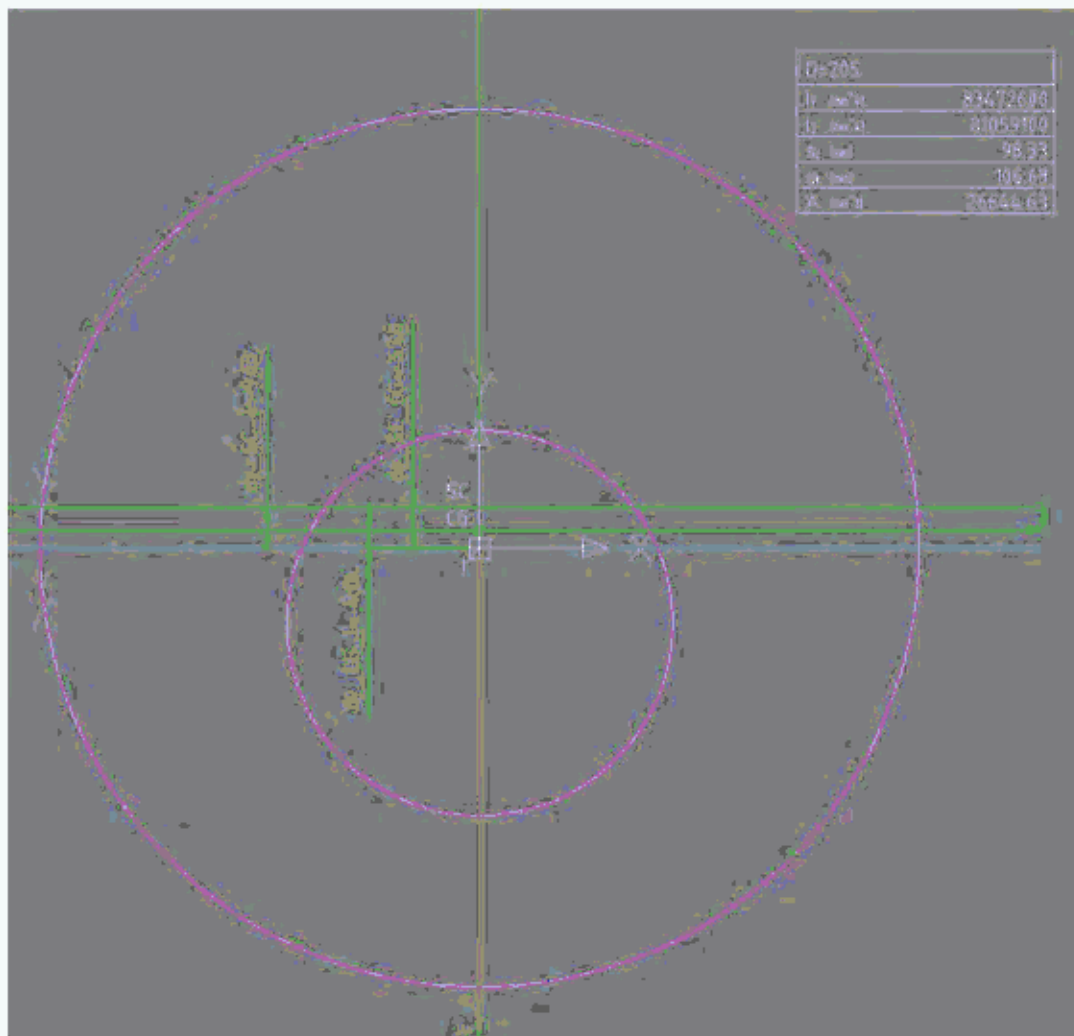
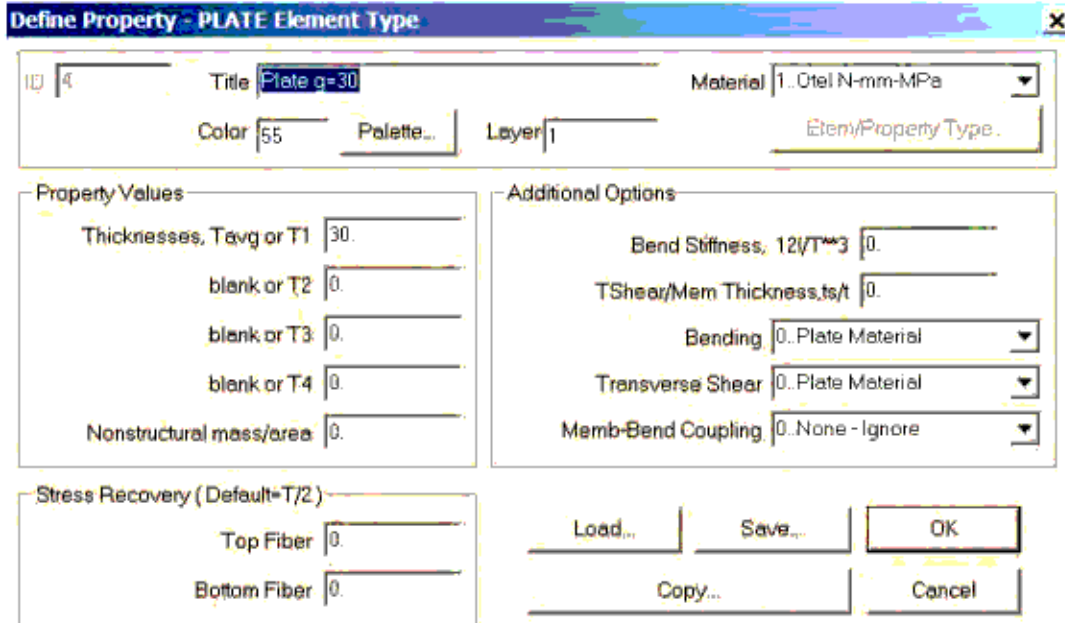


Fig.8.28. Calculul și cotarea decalajului secțiunii. Prop.3. $D=205$, $dy_{SC_I} = dy_{SC_CG} - dy_{CG_}$

$$I = -4.18 - 5.450 = -9.63 \text{ mm}$$

4.Prop.4. Plate g=30mm

Este setul 4.Property pentru definirea caracteristicilor geometrice și inerțiale ale secțiunii elementelor tip placă (Plate), grosime $g=30\text{mm}$, pentru elementele care alcătuiesc discul cilindric $D=310\text{mm}$, cu grosimea $g=30\text{mm}$ cu excentricitatea $e=55\text{mm}$ din capătul stânga arbore cotit. În Fig.8.29. sunt prezentate caracteristicile geometrice și inerțiale ale Prop.4.Plate $g=30\text{mm}$.



Define Property - PLATE Element Type

ID: 4 Title: Plate g=30 Material: 1..Otel N-mm-MPa
Color: 55 Palette... Layer: 1 Eteny/Property Type...

Property Values

Thicknesses, Tavg or T1: 30.
blank or T2: 0.
blank or T3: 0.
blank or T4: 0.
Nonstructural mass/area: 0.

Additional Options

Bend Stiffness, $12/I^{**3}$: 0.
TShear/Mem Thickness, ts/t: 0.
Bending: 0..Plate Material
Transverse Shear: 0..Plate Material
Mem-Bend Coupling: 0..None - Ignore

Stress Recovery (Default=T/2)

Top Fiber: 0.
Bottom Fiber: 0.

Buttons: Load... Save... OK Copy... Cancel

Fig.8.29. Caracteristicile geometrice și inerțiale ale Prop.4.Plate g=30mm

5.Prop.5. D=160mm

Este setul 5.Property pentru definirea caracteristicilor geometrice și inerțiale ale secțiunii elementelor tip bară Beam 3D de diametru D=160mm care alcătuiesc porțiunea de arbore stânga concentrică cu axa de rotație. În Fig.8.30 sunt prezentate caracteristicile geometrice, definirea axelor secțiunii și desenul secțiunii Prop.5 D=160mm, iar în Fig 8.31. sunt prezentate caracteristicile geometrice și inerțiale ale Prop.5 D=160mm.

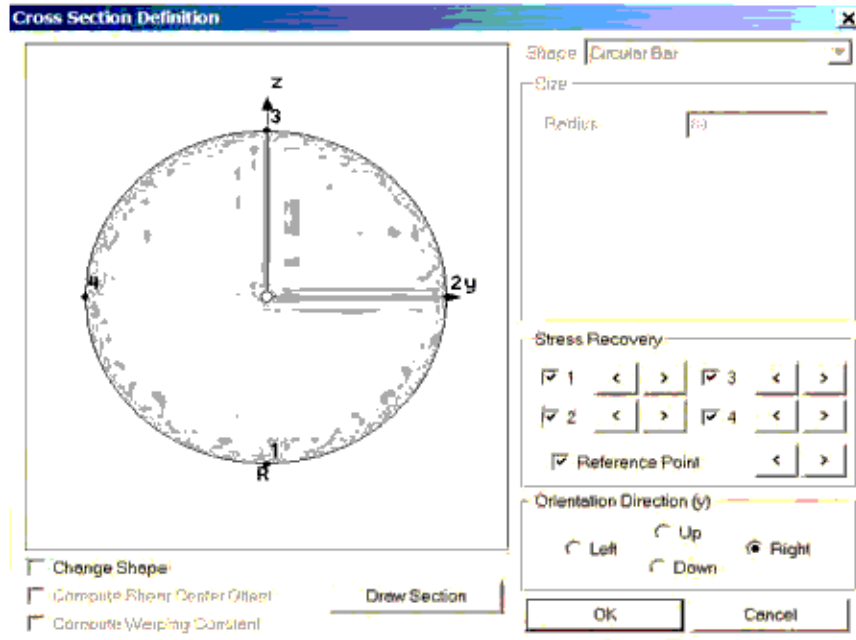


Fig.8.30 Caracteristicile geometrice, definirea axelor secțiunii și desenul secțiunii Prop.5 D=160mm

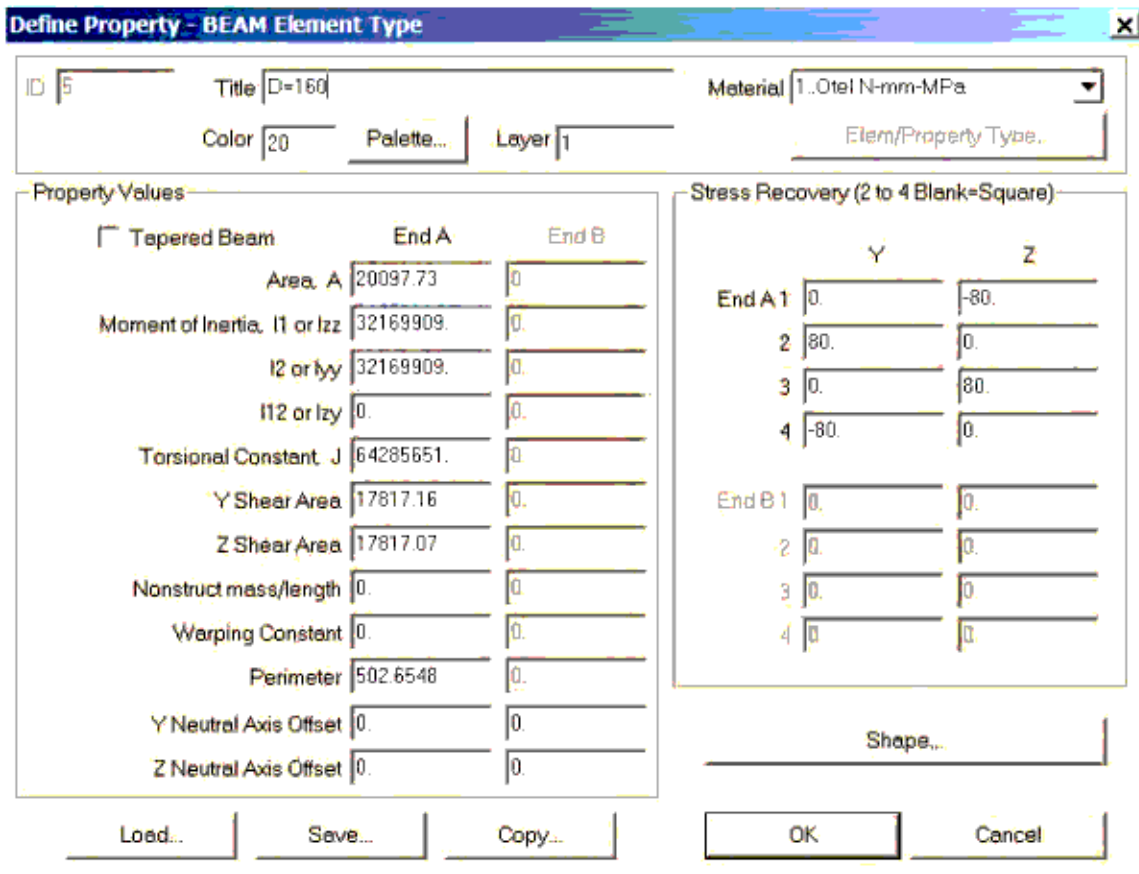


Fig 8.31. Caracteristicile geometrice și inerțiale ale Prop.5 D=160mm

6.Prop.6. D=190mm

Este setul 6.Property pentru definirea caracteristicilor geometrice și inerțiale ale secțiunii elementelor tip bară Beam 3D de diametru D=190mm care alcătuiesc porțiunea de arbore stânga concentrică cu axa de rotație. În Fig.8.32 sunt prezentate caracteristicile geometrice, definirea axelor secțiunii și desenul secțiunii Prop.6 D=190mm, iar în Fig 8.33. sunt prezentate caracteristicile geometrice și inerțiale ale Prop.5 D=190mm.

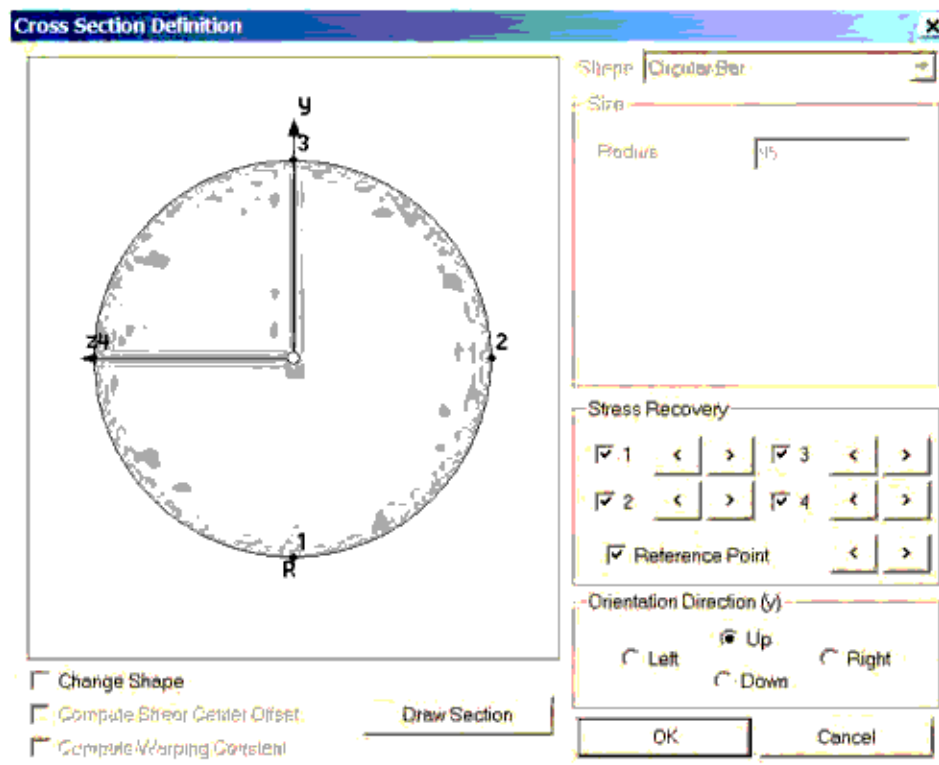


Fig.8.32 Caracteristicile geometrice, definirea axelor secțiunii și desenul secțiunii Prop.6 D=190mm

Define Property - BEAM Element Type

ID: 6 Title: D=190 Material: 1..Otel N-mm-MPa
Color: 55 Palette... Layer: 1 Elem/Property Type...

Property Values		
	End A	End B
<input type="checkbox"/> Tapered Beam		
Area, A	28340.94	0.
Moment of Inertia, I1 or Izz	63971171.	0.
I2 or Iyy	63971171.	0.
I12 or Izy	0.	0.
Torsional Constant, J	127834630.	0.
Y Shear Area	25124.8	0.
Z Shear Area	25125.03	0.
Nonstruct mass/length	0.	0.
Warping Constant	0.	0.
Perimeter	596.9026	0.
Y Neutral Axis Offset	0.	0.
Z Neutral Axis Offset	0.	0.

Stress Recovery (2 to 4 Blank=Square)		
	Y	Z
End A 1	-95.	0.
2	0.	-95.
3	95.	0.
4	0.	95.
End B 1	0.	0.
2	0.	0.
3	0.	0.
4	0.	0.

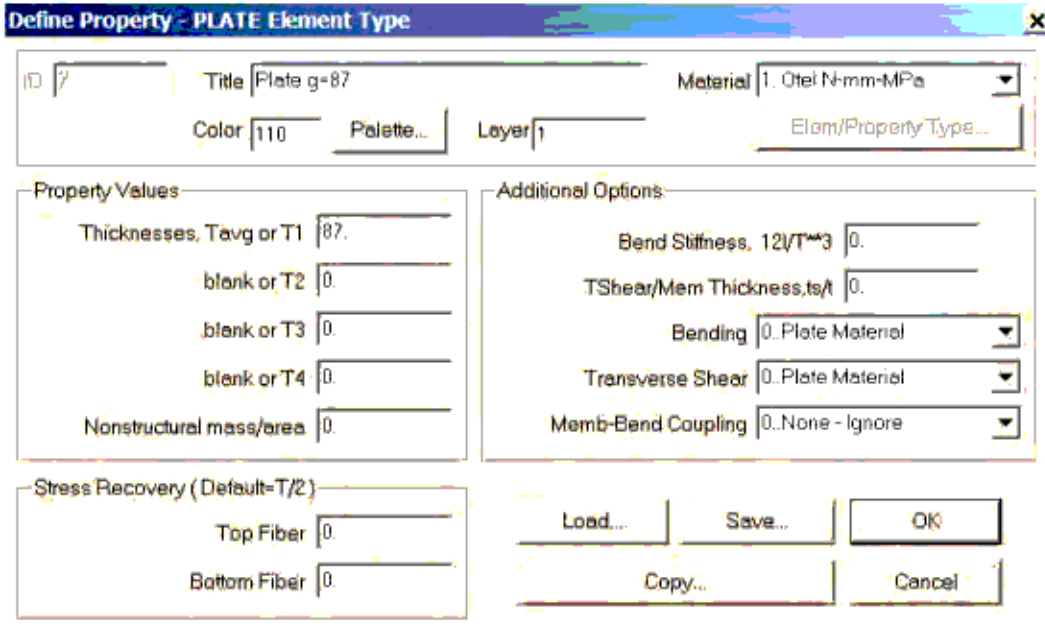
Shape...

Load... Save... Copy... OK Cancel

Fig 8.33. Caracteristicile geometrice și inerțiale ale Prop.5 D=190mm.

7.Prop.7. Plate g=87mm

Este setul 7.Property pentru definirea caracteristicilor geometrice și inerțiale ale secțiunii elementelor tip placă (Plate), cu grosime $g=87\text{mm}$, pentru elementele care alcătuiesc palierul sub formă de placă sub formă de disc de la capătul dreapta al manetonul M3 . În Fig.8.34. sunt prezentate caracteristicile geometrice și inerțiale ale Prop.7.Plate $g=87\text{mm}$.



Define Property - PLATE Element Type

ID: / Title: Plate g=87 Material: 1. Otel N-mm-MPa
Color: 110 Palette... Layer: 1 Elem/Property Type...

Property Values

Thicknesses, Tavg or T1: 87.
blank or T2: 0.
blank or T3: 0.
blank or T4: 0.
Nonstructural mass/area: 0.

Additional Options

Bend Stiffness, $12/IT^{*3}$: 0.
TShear/Mem Thickness, ts/t: 0.
Bending: 0. Plate Material
Transverse Shear: 0. Plate Material
Mem-Bend Coupling: 0. None - Ignore

Stress Recovery (Default=T/2)

Top Fiber: 0.
Bottom Fiber: 0.

Buttons: Load... Save... OK Copy... Cancel

Fig.8.34. Caracteristicile geometrice și inerțiale ale Prop.7.Plate g=87mm

8.Prop.8. Tv. D=379x62mm

Este setul 8.Property pentru definirea caracteristicilor geometrice și inerțiale ale secțiunii elementelor tip bară Beam 3D de tip Tv. D=379x62 mm care alcătuiesc porțiunea de arbore dreapta concentrică cu axa de rotație, în dreptul momentului M de intrare. În Fig.8.35 sunt prezentate caracteristicile geometrice, definirea axelor secțiunii și desenul secțiunii Prop.8 Tv. D=379x62 mm, iar în Fig.8.36. sunt prezentate caracteristicile geometrice și inerțiale ale Prop.8 Tv. D=379x62 mm.

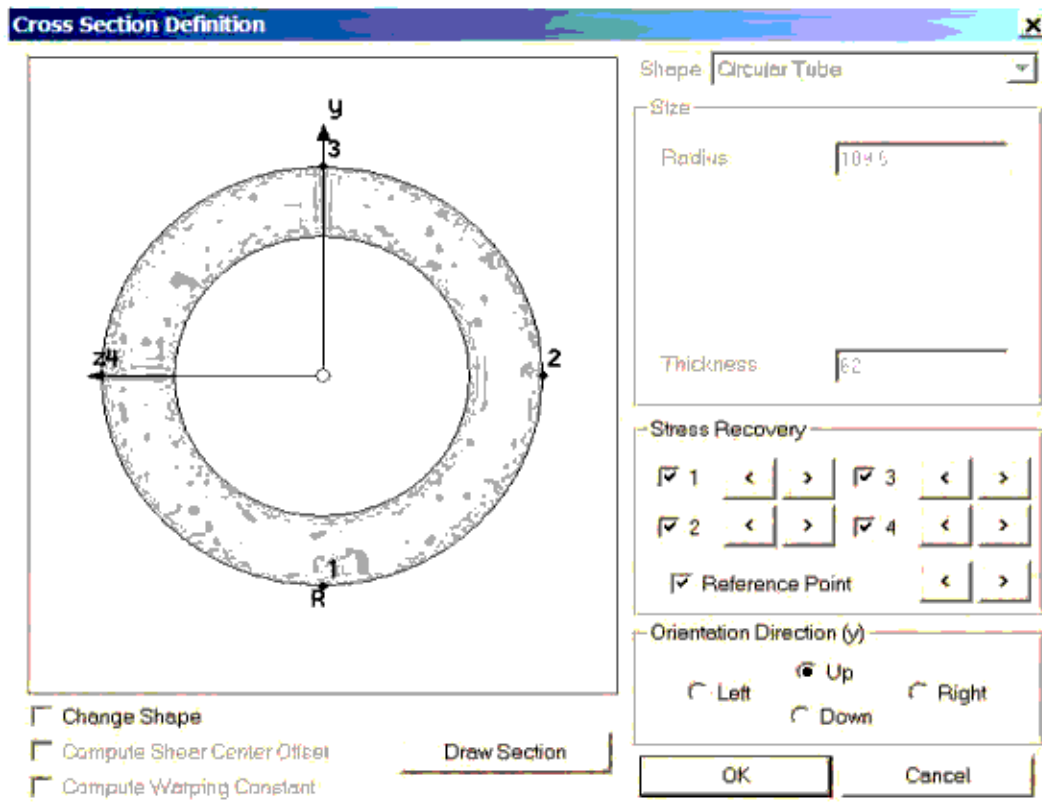


Fig.8.35. Caracteristicile geometrice, definirea axelor secțiunii și desenul secțiunii Prop.8 Tv. D=379x62 mm

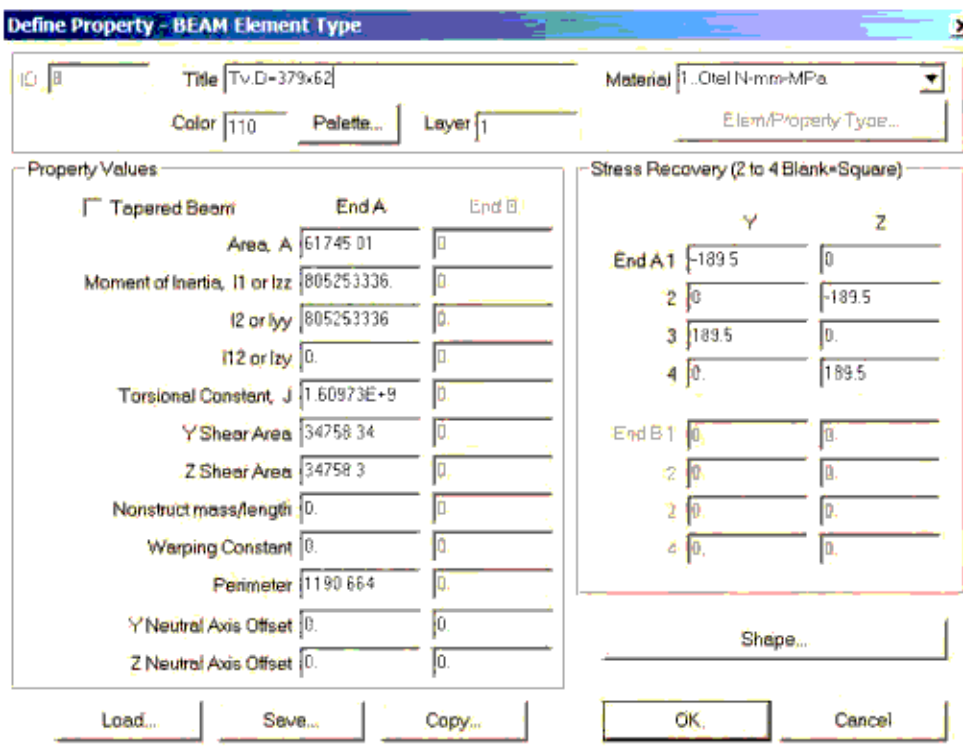


Fig 8.36. Caracteristicile geometrice și inerțiale ale Prop.8 Tv. D=379x62 mm.

9. Au fost folosite EG3, Elemente de tip RIGID, pentru modelarea elementelor de legătură rigide, între manetoane și palierele manetoanelor.

Cu aceste Seturi de Properties pentru definirea caracteristicilor geometrice și inerțiale ale secțiunii elementelor se poate face acum modelarea cu element finit a arborelui cotit prin discretizarea cu elemente finite (mesh-urarea elementelor) a elementelor geometrice ale arborelui cotit definite anterior.

În Fig. 8.37 este prezentată modelarea cu element finit a arborelui cotit, vedere trimetrică, elementele sunt reprezentate prin fibra lor, vedere wireframe, săgețile reprezintă orientarea elementelor tip Beam 3D.

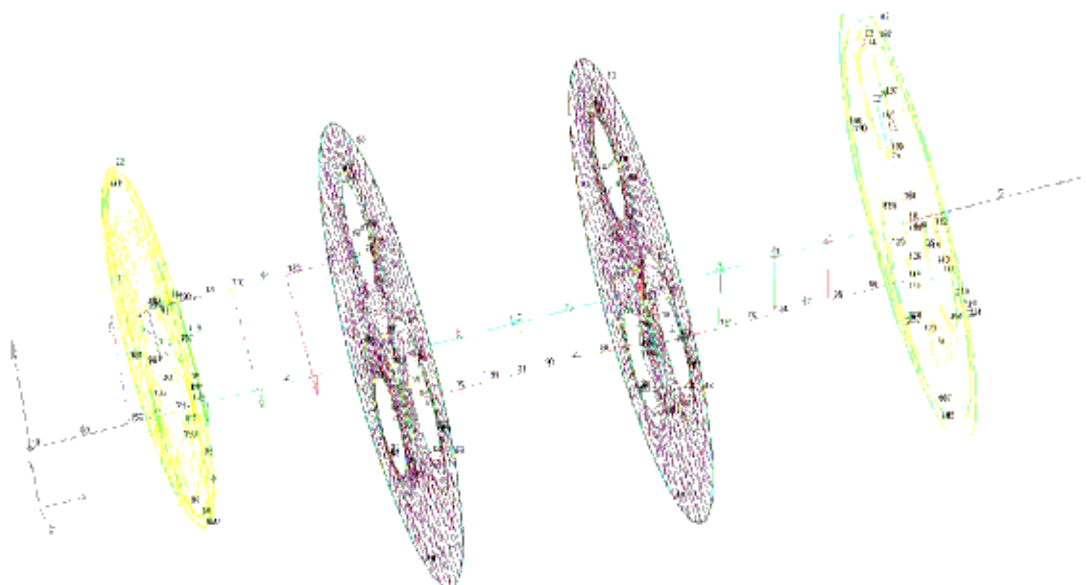


Fig. 8.37 Modelarea cu element finit a arborelui cotit, vedere trimetrică, elementele sunt reprezentate prin fibra lor, vedere wireframe, săgețile reprezintă orientarea elementelor tip Beam 3D.

În Fig. 8.38 este prezentată modelarea cu element finit a arborelui cotit, vedere trimetrică, elementele sunt reprezentate prin fibra lor, vedere Rendered Solid.

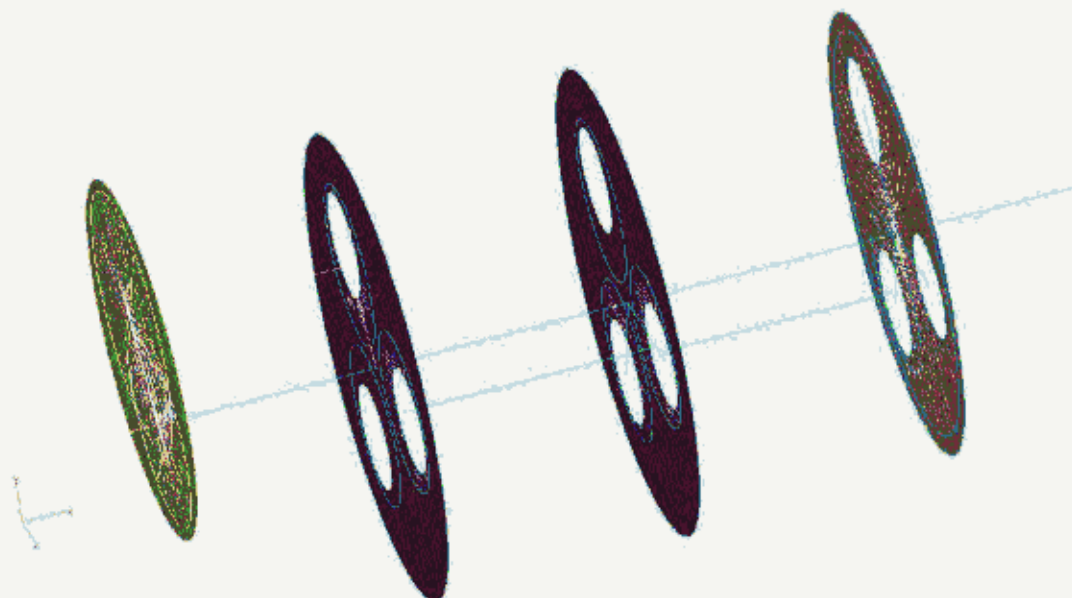


Fig. 8.38 Modelarea cu element finit a arborelui cotit, vedere trimetrică, elementele sunt reprezentate prin fibrelor, vedere Rendered Solid.

În Fig. 8.39 este prezentată modelarea cu element finit a arborelui cotit, vedere trimetrică, este prezentată secțiunea transversală a elementelor, vedere Rendered Solid.

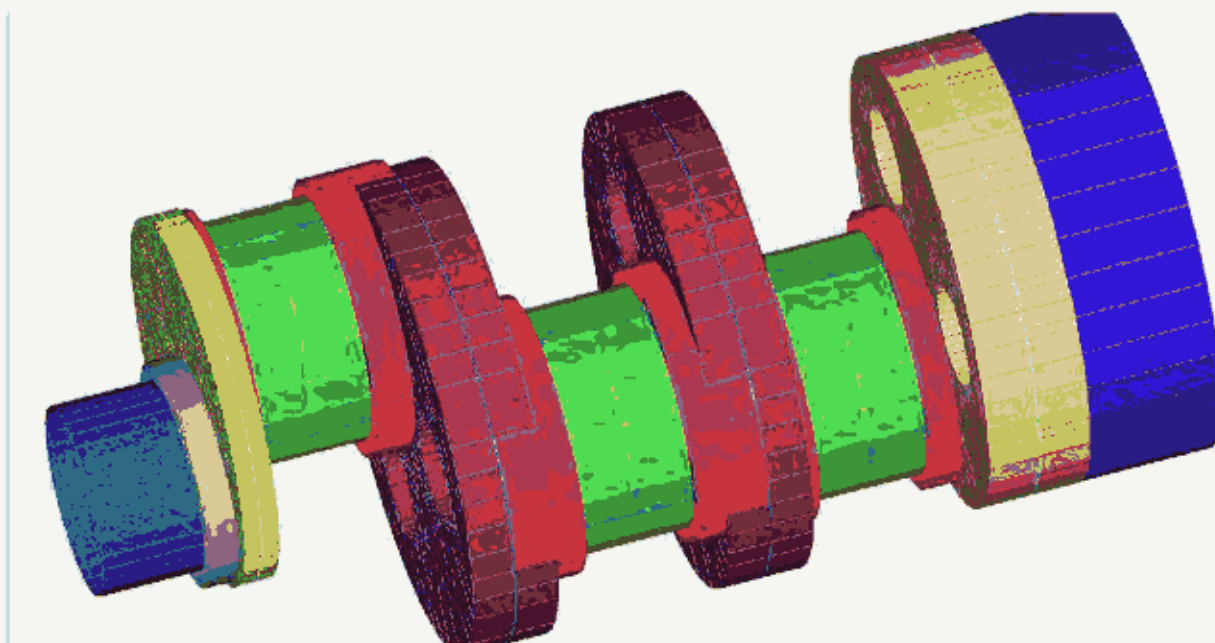


Fig. 8.39 Modelarea cu element finit a arborelui cotit, vedere trimetrică, este prezentată secțiunea transversală a elementelor, vedere Rendered Solid.

IV.10. Calcularea modurilor proprii de vibrație și a frecvenței proprii a arborelui cotit

Orice Analiză Dinamică cu element Finit începe cu o analiză de Moduri Proprii și Frecvențe proprii, deoarece acestea se vor folosi în continuare ca date de intrare pentru celelalte metode de analiza dinamică.

Este importantă cunoașterea modurilor proprii și a frecvențelor proprii ale unei structuri, deoarece în cadrul unui fenomen dinamic se produce un schimb substanțial între energia potențială stocată în elementele elastice ale structurii cu energia cinetică a maselor în mișcare care acționează asupra structurii. Când frecvențele proprii ale sistemului (cu energia potențială stocată în elementele elastice) sunt apropiate sau coincid cu frecvențele factorilor perturbatori (cu energia cinetică a maselor în mișcare) atunci apare fenomenul de rezonanță; se produce un schimb total, violent și periculos între energiile celor 2 sisteme care interacționează și care duce la un răspuns de mare amplitudine a structurii excitate.

Pentru structura arborelui cotit se vor calcula primele 10 moduri proprii și frecvențe proprii de vibrație. În Tab.10.1. Sunt prezentate primele 10 frecvențe proprii ale arborelui cotit.

Tab.10.1. Primele 10 frecvențe proprii ale arborelui cotit

Nr.mod propriu vibrație	Frecvență proprie [Hz]	Perioadă Proprie [sec]	Tip vibrație	Figura nr.
1	660.1486	0.001515	Longitudinală	10.1
2	1621.493	0.000617	Transversală	10.2
3	1838.789	0.000544	Torsională	10.3
4	2187.819	0.000457		
5	2471.826	0.000405		
6	2508.144	0.000399		
7	2512.193	0.000398		
8	2695.011	0.000371		
9	2980.886	0.000335		
10	3038.83	0.000329		

În Fig.10.1. este prezentată deformată Primului mod natural de vibrație, vibrație longitudinală, prima frecvență proprie de vibrație $F_1=660.1486$ Hz, prima perioadă proprie de vibrație, $T_1=0.001515$ sec.

În Fig.10.2. este prezentată deformată Celui de-al doilea mod natural de vibrație, vibrație transversală, a doua frecvență proprie de vibrație $F_2=1621.493$ Hz, a doua perioadă proprie de vibrație, $T_2=0.000617$ sec.

În Fig.10.3. este prezentată deformată Celui de-al treilea mod natural de vibrație, vibrație torsională, a treia frecvență proprie de vibrație $F_3=1838.789$ Hz, a treia perioadă proprie de vibrație, $T_3=0.000544$ sec.

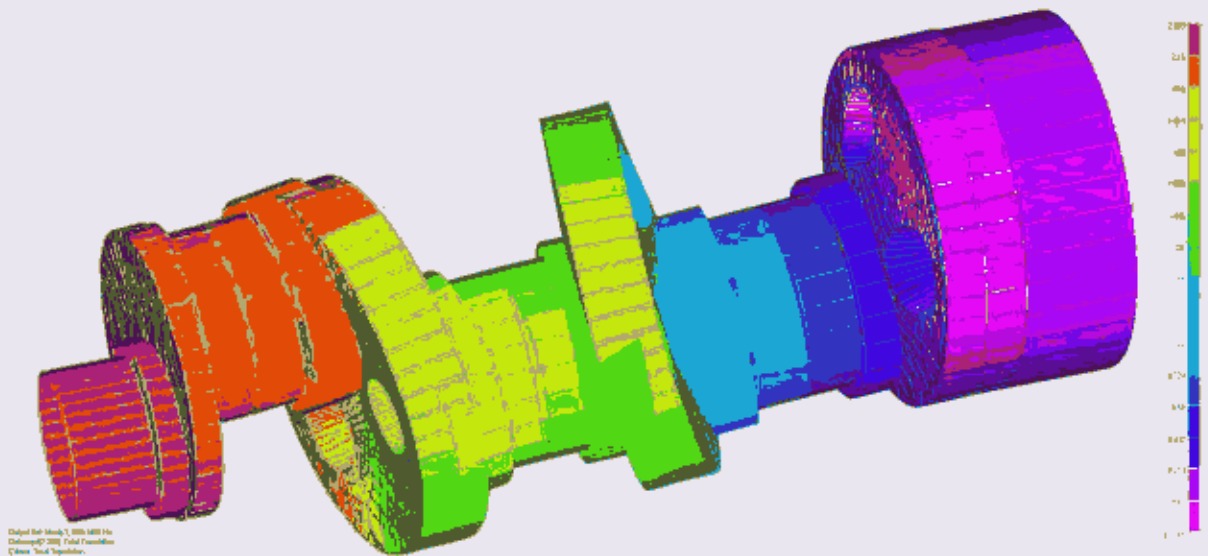


Fig.10.1. Deformata Primului mod natural de vibrație, vibrație longitudinală, prima frecvență proprie de vibrație $F1=660.1486$ Hz, prima perioadă proprie de vibrație, $T1=0.001515$ sec.

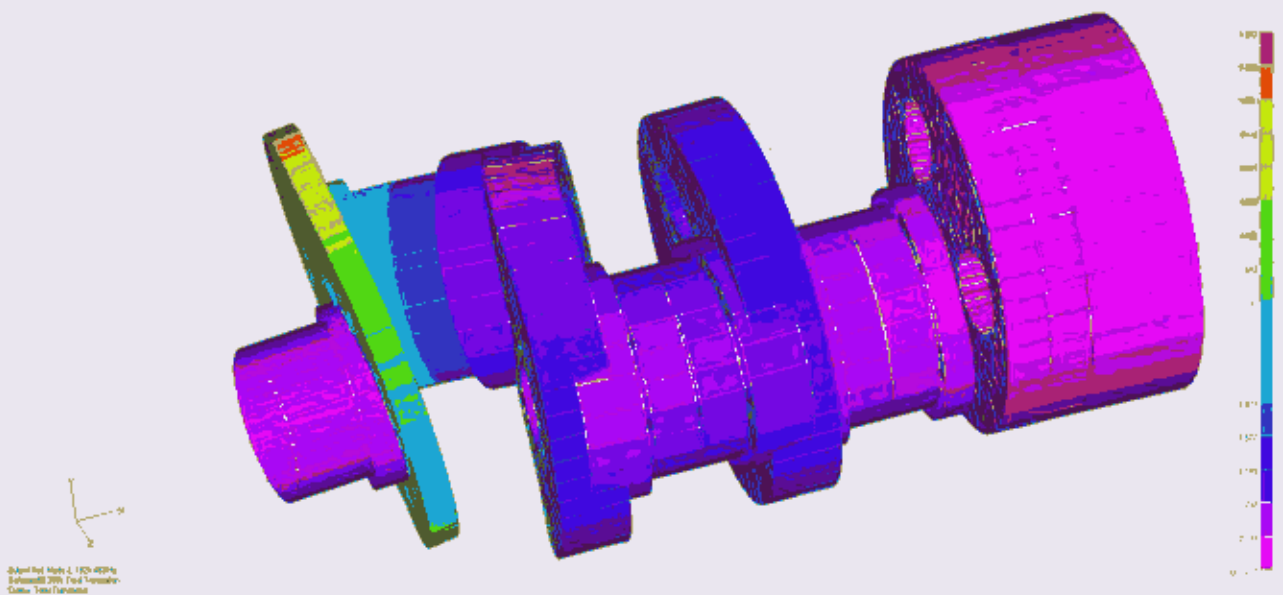


Fig.10.2. Deformata Celui de-al doilea mod natural de vibrație, vibrație transversală, a doua frecvență proprie de vibrație $F2=1621.493$ Hz, a doua perioadă proprie de vibrație, $T2=0.000617$ sec.

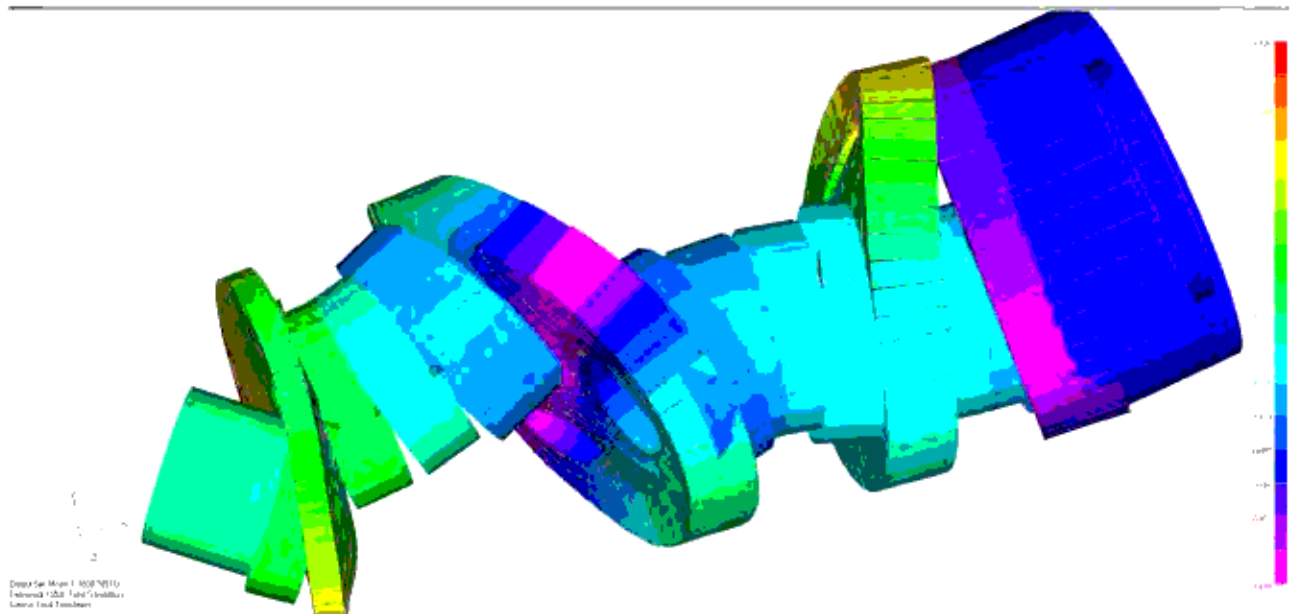


Fig.10.3. Deformata Celui de-al treilea mod natural de vibrație, vibrație torsională, a treia frecvență proprie de vibrație $F3=1838.789$ Hz, a treia perioadă proprie de vibrație, $T3=0.000544$ sec.

IV.11. Analiza Dinamica directa cu răspuns în Timp pentru arborele cotit

IV.11.1. Scopul analizei dinamice cu răspuns în timp

Scopul Analizei dinamice cu răspuns în timp este de a calcula comportarea unei structuri care este subiectul unei excitații care variază în timp. Excitația care variază în timp este explicit definită în funcție de timp (domeniul pe axa "x" este timpul). Toate perturbațiile aplicate structurii sunt cunoscute ca valoare în fiecare fracțiune în care este divizat intervalul de timp.

Are submetodele:

- Analiză Dinamică Directă cu răspuns în TIMP
- Analiza Dinamică Modală cu răspuns în TIMP

IV.11.2. Stabilirea parametrilor analizei dinamice cu răspuns în timp

La analiza dinamică cu element finit directă cu răspuns în timp efectul perturbator dinamic de intrare pentru arborele cotit este constituit din cele 3 seturi de forțe tangențiale $T(t)$ și normale $N(t)$, variabile în timp, în intervalul de o perioadă $T=0.294$ sec de rotație a arborelui cotit, în punctele M de pe manetoanele arborelui cotit și anume $M2[T2(t);N2(t)]$, $M3[T3(t);N3(t)]$ și $M1[T1(t);N1(t)]$, manetonul M2 fiind considerat de referință, rotindu-se din cadranul 1 trigonometric, de pe axa OX în jos, în sensul ceasului, cu un pas de calcul $\alpha=10$ grade, și anume la 360grd, 350grd, 340grd, 330grd, ..., 40grd, 30grd, 20grd, 10grd, 0grd. Celelalte manetoane M3 și M1, se rotesc decalat față de M2, decalajul fiind de 120° pentru fiecare.

Intervalul de timp total al analizei dinamice DRC=0.32 sec (Durata Răspunsului Calculat), acoperitor față de perioada perturbatoare $T=0.294$ sec, va fi parcurs pas cu pas, cu nr. de pași ai analizei STEP=320, cu incrementul de timp al unui pas=DT=0.001 sec.

Prin variația pas cu pas a acestor seturi M1, M2 și M3 de valori de forțe tangențiale $T(t)$ și normale $N(t)$ variabile din timp, cu incrementul de timp DT=0.001 sec, în cadrul analizei dinamice directe cu

Acești parametrii pentru Analiza Dinamică cu răspuns în Timp, trebuie să se încadreze în următoarele reguli:

Avem notațiile:

- F_{mod10} = Frecvența celui mai înalt mod propriu de vibrație = 3038.83 Hz
- F_p = Frecvența Perturbatoare = 3.4 Hz
- T_p = perioada perturbatoare = 0.294 sec
- T_{mod1} = 0.001515 sec = Perioada modului 1 de vibrație

Impunem condițiile care trebuie respectate pentru analiza dinamică cu răspuns în timp:

1. $F_{mod10} = 3038.83 \text{ Hz} > 2 * F_p = 2 * 3.4 \text{ Hz} = 6.4 \text{ Hz}$
2. $DT = \text{incrementul de timp pentru analiză } DT = 0,001 \text{ sec} = \text{aprox.} = T_{mod1} = 0.001515 \text{ sec}$
3. $DT = 0,001 \text{ sec} < T_p = 0.294 \text{ sec}$
4. $DRC = \text{Durata răspunsului calculat} = 0.32 \text{ sec} > 2 * T_{mod1} = 2 * 0,001515 \text{ sec} = 0.00303 \text{ sec.}$

Cazuri Elementare de Încărcare:

LC1. Gravity

S-a pus accelerația gravitațională Body $g_Y = -9810 \text{ [mm/sec}^2\text{]}$

LC2.

-Pentru Analiza Dinamică cu Răspuns în Timp (Directă sau Modală)

a). Maneton M2 (referință), Sistem de coordonate CS0

Se introduc forțele în pct. M2: $F_y = +1 * \text{funcția de variație în timp } T2(t)$
 $F_z = -1 * \text{funcția de variație în timp } N2(t)$

b). Maneton M3, Sistem de coordonate CS4

Se introduc forțele în pct. M3: $F_y = +1 * \text{funcția de variație în timp } N3(t)$
 $F_z = +1 * \text{funcția de variație în timp } T3(t)$

c). Maneton M1, Sistem de coordonate CS3

Se introduc forțele în pct. M1: $F_y = +1 * \text{funcția de variație în timp } N1(t)$
 $F_z = +1 * \text{funcția de variație în timp } T1(t)$

-Pentru Analiza Dinamică Directă cu Răspuns în Frecvență, pentru $F(t)$ și $N(t)$ în cele 3 puncte, M1, M2, M3, se atașează funcția de frecvență $F(\text{freq}) = \text{Frecvență_variabilă}$

-Pentru Analiza dinamică Modală cu Răspuns în Frecvență, pentru $F(t)$ și $N(t)$ în cele 3 puncte, M1, M2, M3, se atașează funcția de frecvență $F(\text{freq}) = \text{Forța_frecvență_variabilă (funcție de frecvențele proprii ale structurii)}$

Combinatii de încărcări elementare

$C1 = Lc1 + Lc2$

Funcții de variație pentru factori perturbatori asupra arborelui cotit pentru analiza dinamica cu element finit (Tab.12.1)

Aspectul Dinamic de Variație ai parametrilor perturbatori în funcție de timp sau frecvență este descris de funcțiile din Tab.11.1. Aceste funcții de variație a parametrilor dinamici se vor atașa fie forțelor $T(t)$ și $N(t)$, în cele 3 puncte M1, M2 și M3, fie vor constitui baze de date pentru descrierea amortizării sistemului sau a comportării acestuia în funcție de frecvențele proprii. Fiecare funcție va fi detaliată în timpul execuției fiecărui tip de Analiză Dinamică

IV.11.3. Realizarea Analizei Dinamice Directe cu răspuns în Timp

La analiza dinamică cu element finit directă cu răspuns în timp efectul perturbator dinamic de intrare pentru arborele cotit este constituit din cele 3 seturi de forțe tangențiale $T(t)$ și normale $N(t)$, variabile în timp, în intervalul de o perioadă $T=0.294$ sec de rotație a arborelui cotit, în punctele M de pe manetoanele arborelui cotit și anume $M2[T2(t);N2(t)]$, $M3[T3(t);N3(t)]$ și $M1[T1(t);N1(t)]$, manetonul M2 fiind considerat de referință, rotindu-se din cadrantul I trigonometric, de pe axa OX în jos, în sensul ceasului, cu un pas de calcul $\alpha=10$ grade.

Celelalte manetoane M3 și M1, se rotesc decalat față de M2, decalajul fiind de 120° pentru fiecare.

Intervalul de timp total al analizei dinamice $DRC=0.32$ sec (Durata Răspunsului Calculat), acoperitor față de perioada perturbatoare $T=0.294$ sec, va fi parcurs pas cu pas, cu nr. de pași ai analizei $STEP=320$, cu incrementul de timp al unui pas $DT=0.001$ sec.

Prin variația pas cu pas a acestor seturi M1, M2 și M3 de valori de forțe tangențiale $T(t)$ și normale $N(t)$ variabile din timp, cu incrementul de timp $DT=0.001$ sec, în cadrul analizei dinamice directe cu răspuns în timp se vor efectua $STEP=320$ de pași ai analizei dinamice, în intervalul de timp total al analizei dinamice $DRC=0.32$ sec (Durata Răspunsului Calculat) și se vor efectua efectiv în total 320 de analize statice ale arborelui cotit, pentru a se determina momentul de timp t_{max} din cadrul analizei dinamice directe cu răspuns în timp în care încărcarea arborelui cotit este maximă.

Factorii perturbatori ai analizei dinamice directe cu răspuns în timp, sunt:

a). Maneton M2 (referință), Sistem de coordonate CS0

- Variația pe manetonul M2 a forței tangențiale, funcție de timp, $T2(t)$ în intervalul de timp de o perioadă de rotație a arborelui cotit $Tp=0.294$ sec, frecvența de rotație $Fp=3.4$ Hz
- Variația pe manetonul M2 a forței normale, funcție de timp, $N2(t)$ în intervalul de timp de o perioadă de rotație a arborelui cotit $Tp=0.294$ sec, frecvența de rotație $Fp=3.4$ Hz

Se introduc forțele în pct. M2: $Fy = +1$ * funcția de variație în timp $T2(t)$
 $Fz = -1$ * funcția de variație în timp $N2(t)$

b). Maneton M3, Sistem de coordonate CS4

- Variația pe manetonul M3 a forței tangențiale, funcție de timp, $T3(t)$ în intervalul de timp de o perioadă de rotație a arborelui cotit $Tp=0.294$ sec, frecvența de rotație $Fp=3.4$ Hz
- Variația pe manetonul M3 a forței normale, funcție de timp, $N3(t)$ în intervalul de timp de o perioadă de rotație a arborelui cotit $Tp=0.294$ sec, frecvența de rotație $Fp=3.4$ Hz

Se introduc forțele în pct. M3: $Fy = +1$ * funcția de variație în timp $N3(t)$
 $Fz = +1$ * funcția de variație în timp $T3(t)$

c). Maneton M1, Sistem de coordonate CS3

- Variația pe manetonul M1 a forței tangențiale, funcție de timp, $T1(t)$ în intervalul de timp de o perioadă de rotație a arborelui cotit $Tp=0.294$ sec, frecvența de rotație $Fp=3.4$ Hz
- Variația pe manetonul M1 a forței normale, funcție de timp, $N1(t)$ în intervalul de timp de o perioadă de rotație a arborelui cotit $Tp=0.294$ sec, frecvența de rotație $Fp=3.4$ Hz

Se introduc forțele în pct. M1: $Fy = +1$ * funcția de variație în timp $N1(t)$
 $Fz = +1$ * funcția de variație în timp $T1(t)$

În cadrul programului FEA, aspectul temporal al variației funcției $T2(t)$ este definit ca o funcție de timp. Se alege comanda (Model/Function), se dă un titlu funcției de timp „L.T2(t)” și se selectează tipul funcției (Type=L.versus Time). Graficul funcției de timp va fi creat utilizând comanda: Function- Single Value și se introduc perechile de coordonate reprezentative (x,y) de pe graficul $T2(t)$. Se introduc seturile de valori de mai sus (Fig.11.1)

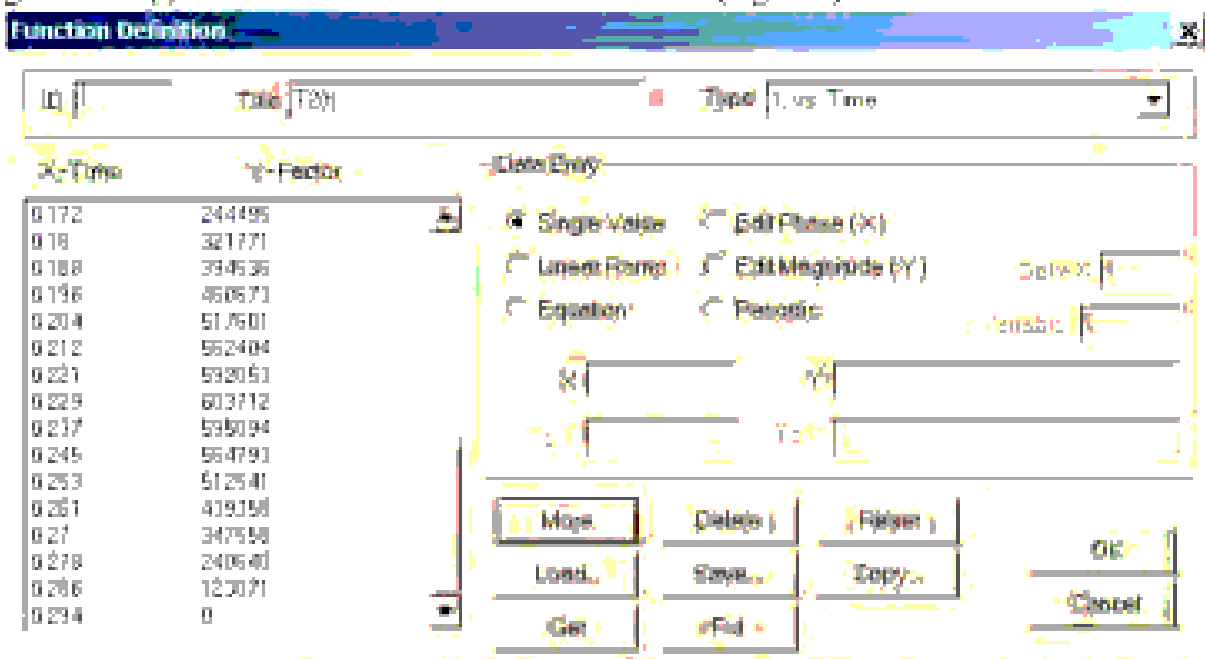


Fig.11.1. Fereastra programului FEA de realizare a graficului $T2(t)$

Pentru a putea fi vizualizat graficul L.T2(t), se selectează Meniul: View/Select/XY of Function/Model Data/Select L.T2(t) (Fig.11.20- Pag.104)

Pentru a fi editat acest grafic, se intră în Meniul: View/Options/Postprocessing, unde se selectează:

-XY Titles: Title=L.An.Dinamica Timp ; Subtitle=L.T2(t) ; Pallette=125 black; Apply;

-XY Legend: Titles ; Apply;

-XY Axis Styles: Plot Type=Linear ; Axis Color=125 black ; X Tics=37 ; Y Tics=37 ; Apply;

-XY X Range grid: Automatic ; Grid Color=140 Gri ; Apply;

-XY Y Range grid: Automatic ; Grid Color=140 Gri ; Apply;

-XY curve 1: Contour style=Line with points ; Color=125 black ; Apply; OK.

În Fig. 11.20- este prezentat Graficul de intrare $T2(t)$, unde t variază cu increment $t_{af\bar{a}}=0.008\text{ sec}$ între 0 și $T_p=0.294\text{ sec}$

În cadrul programului FEA, aspectul temporal al variației funcției $N2(t)$ este definit ca o funcție de timp. Se alege comanda (Model/Function), se da un titlu funcției de timp "2.N2(t)" și se selectează tipul funcției (Type=1.versus Time). Graficul funcției de timp va fi creat utilizând comanda: **Function- Single Value** și se introduc perechile de coordonate reprezentative (x,y) de pe graficul $N2(t)$. Se introduc seturile de valori de mai sus (Fig.11.2)

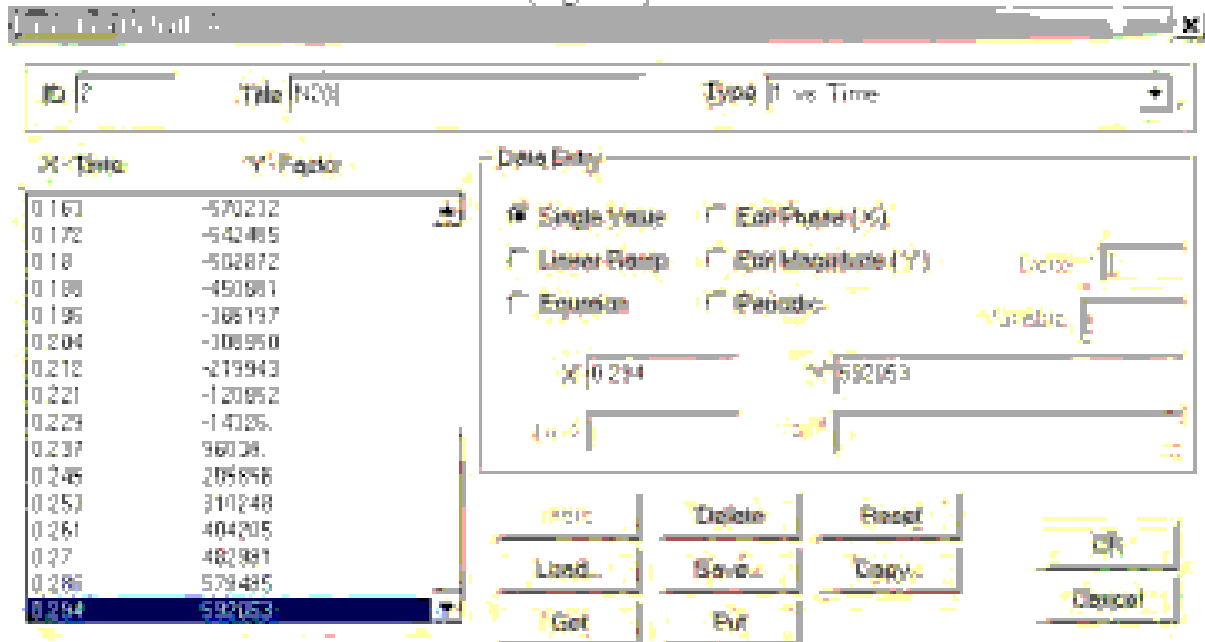


Fig. 11.2. Fereastra programului FEA de realizare a graficului $N2(t)$

Pentru a putea fi vizualizat graficul 1.N2(t) , se selecteaza Meniul: View/Select/NY of Function/Model Data/Select 2.N2(t) (Fig.11. 21)

Pentru a fi editat acest grafic, se intră în Meniul: View/Options/Postprocessing, unde se selecteaza:

-XY Titles: Title=1.An.Dinamica Timp ; Subtitle=2.N2(t) ; Palette=125 black; Apply;

-XY Legend: Titles ; Apply;

-XY Axis Style: Plot Type=Linear ; Axis Color=125 black ; X Tics=37 ; Y Tics=37 ; Apply;

-XY X Range grid: Automatic ; Grid Color=140 Gri ; Apply;

-XY Y Range grid: Automatic ; Grid Color=140 Gri ; Apply;

-XY curve 1: Contour style=Line with points ; Color=125 black ; Apply; OK.

În Fig. (1.2) este prezentat Graficul de intrare $N2(t)$, unde t variază cu increment $t_{al\text{fa}}=0.008 \text{ sec}$ între 0 și $T_p=0.294 \text{ sec}$

În cadrul programului FEA, aspectul temporal al variației funcției $T3(t)$ este definit ca o funcție de timp. Se alege comanda (Model/Function), se da un titlu funcției de timp "3.T3(t)" și se selectează tipul funcției (Type=L.versus Time). Graficul funcției de timp va fi creat utilizând comanda: Function- Single Value și se introduc perechile de coordonate reprezentative (x,y) de pe graficul $N2(t)$. Se introduc setările de valori de mai sus (Fig.11.3)

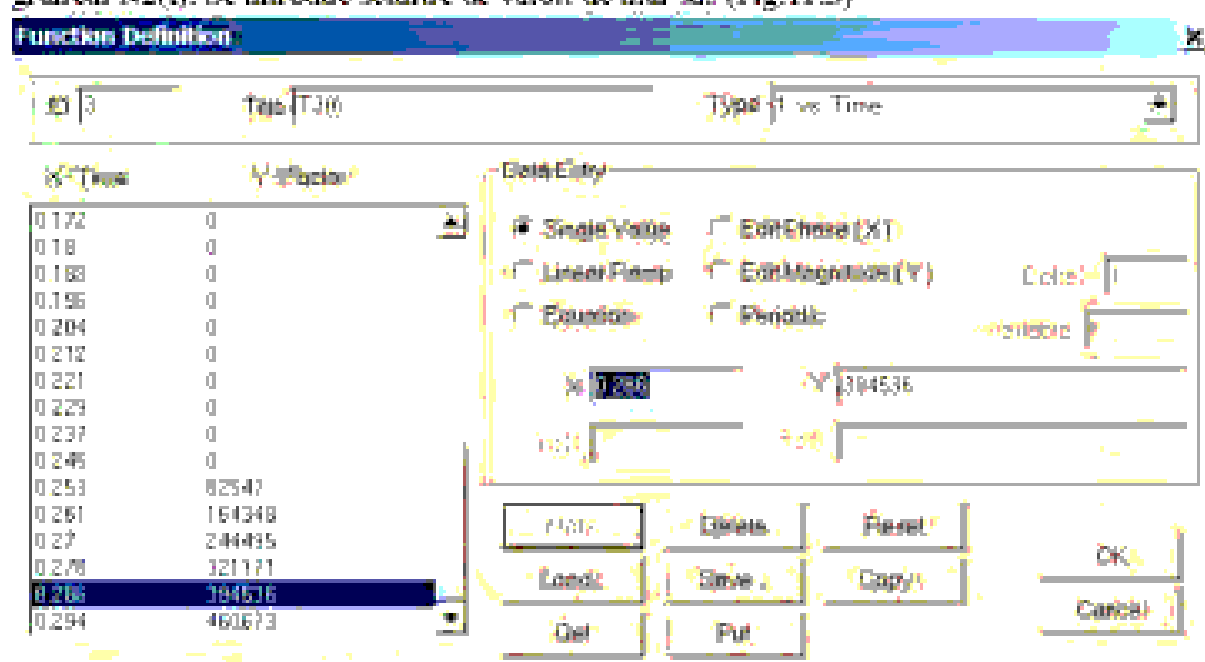


Fig.11.3. Fereastra programului FEA de realizare a graficului $T3(t)$

Pentru a putea fi vizualizat graficul $3.T3(t)$, se selectează Meniul: View/Select/XY of Function/Model Data/Select 3.T3(t) (Fig.11. 22)

Pentru a fi editat acest grafic, se intră în Meniul: View/Options/Postprocessing, unde se selectează:

-XY Titles: Title=L.An.Dinamica Timp ; Subtitle=3.T3(t) ; Paletete=125 black; Apply;

-XY Legend: Titles ; Apply;

-XY Axis Styles: Plot Type=Linear ; Axis Color=125 black ; X Tics=37 ; Y Tics=37 ; Apply;

-XY X Range grid: Automatic ; Grid Color=140 Gri ; Apply;

-XY Y Range grid: Automatic ; Grid Color=140 Gri ; Apply;

-XY curve 1: Contour style=Line with points; Color=125 black ; Apply; OK.

În Fig.11.22 este prezentat Graficul de intrare $T3(t)$, unde t variază cu increment $t_alfa=0.008$ sec între $0.....T_p=0.294$ sec

În cadrul programului FEA, aspectul temporal al variației funcției $N3(t)$ este definit ca o funcție de timp. Se alege comanda (Model/Function), se da un titlu funcției de timp "4.N3(t)" și se selectează tipul funcției (Type=1.versus Time). Graficul funcției de timp va fi creat utilizând comanda: Function- Single Value și se introduc perechile de coordonate reprezentative (x,y) de pe graficul $N2(t)$. Se introduc seturile de valori de mai sus (Fig.11.4)

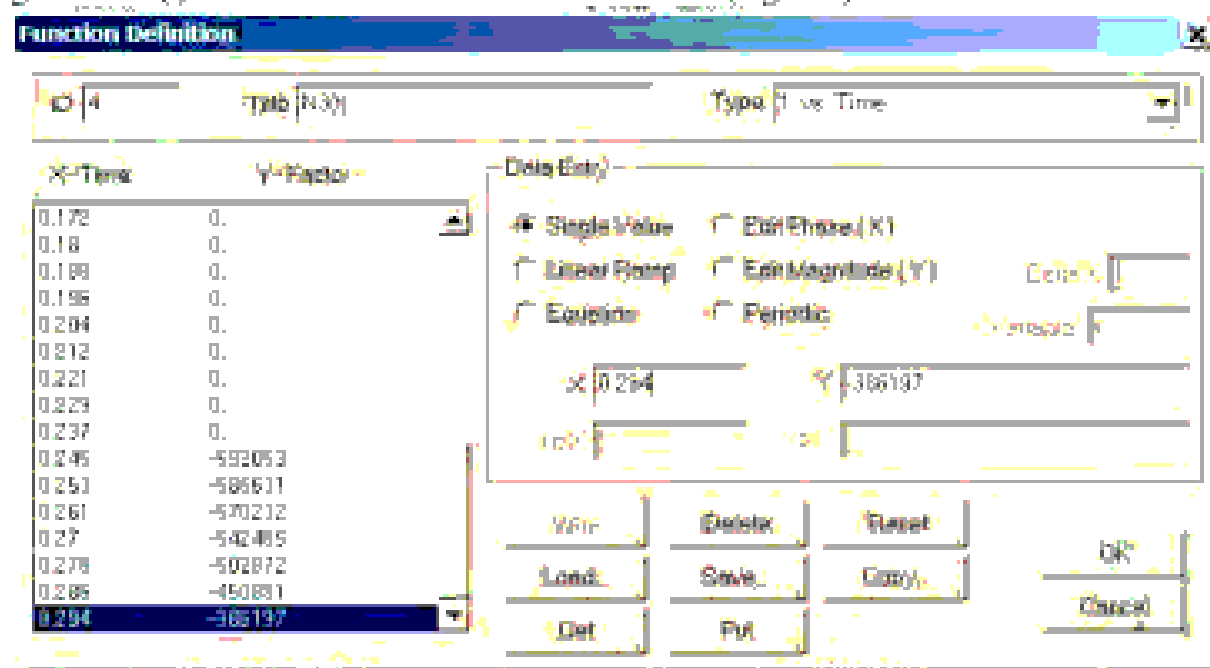


Fig. 11.4. Fereastra programului FEA de realizare a graficului $N3(t)$

Pentru a putea fi vizualizat graficul $4.N3(t)$, se selectează Meniul: View/Select/XY of Function/Model Data/Select 4.N3(t) (Fig.11.23).

Pentru a fi editat acest grafic, se intră în Meniul: View/Options/Postprocessing, unde se selectează:

- XY Titles: Title=1.An.Dinamica Timp ; Subtitle=4.N3(t) ; Palette=125 black ; Apply;
- XY Legend: Titles ; Apply;
- XY Axis Styles: Plot Type=Linear ; Axis Color=125 black ; X Tics=37 ; Y Tics=37 ; Apply;
- XY X Range grid: Automatic ; Grid Color=140 Gri ; Apply;
- XY Y Range grid: Automatic ; Grid Color=140 Gri ; Apply;
- XY curve 1: Contour style=Line with points ; Color= 125 black ; Apply; OK.

În Fig.11.23 este prezentat Graficul de intrare $N3(t)$, unde t variază cu increment $t_{alfa}=0.008$ sec între $0....Tp=0.294$ sec

În cadrul programului FEA, aspectul temporal al variației funcției $T1(t)$ este definit ca o funcție de timp. Se alege comanda (Model/Function), se da un titlu funcției de timp "5.T1(t)" și se selectează tipul funcției (Type-Linear versus Time). Graficul funcției de timp va fi creat utilizând comanda: Function- Single Value și se introduc perechile de coordonate reprezentative (x,y) de pe graficul $T1(t)$. Se introduc seturile de valori de mai sus (Fig.11.5)

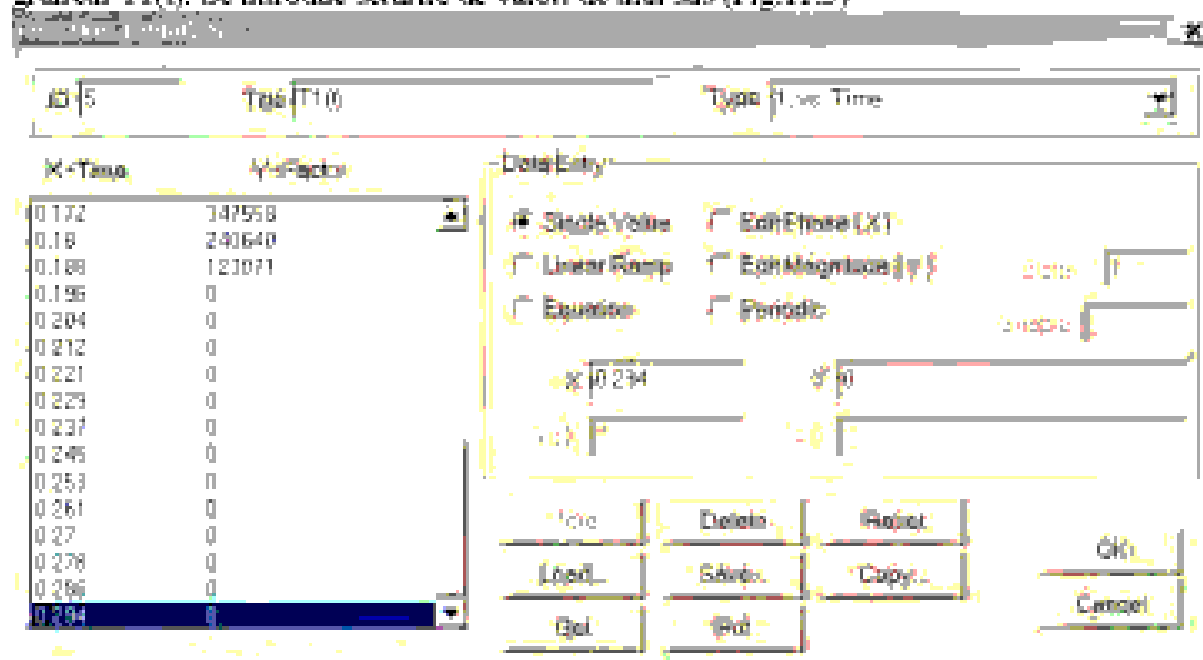


Fig.11.5. Fereastra programului FEA de realizare a graficului $T1(t)$

Pentru a putea fi vizualizat graficul $4.N3(t)$, se selectează Meniul: View/Select/XY of Function/Model Data/Select 5.T1(t) (Fig.12.2-0)

Pentru a fi editat acest grafic, se intră în Meniul: View/Options/Postprocessing, unde se selectează:

-XY Titles: Title=LAN.Dinamica Timp ; Subtitle=5.T1(t) ; Palette=125 black; Apply;

-XY Legend: Titles ; Apply;

-XY Axis Styles: Plot Type=Linear ; Axis Color=125 black ; X Tics=37 ; Y Tics=37 ; Apply;

-XY X Range grid: Automatic ; Grid Color=140 Gri ; Apply;

-XY Y Range grid: Automatic ; Grid Color=140 Gri ; Apply;

-XY curve 1: Contour style=Line with points ; Color=125 black ; Apply; OK.

În Fig. 11.24 este prezentat Graficul de intrare $T1(t)$, unde t variază cu incrementul $t_{alfa} = 0.008 \text{ sec}$ între 0 și $T_p = 0.294 \text{ sec}$

În cadrul programului FEA, aspectul temporal al variației funcției $N1(t)$ este definit ca o funcție de timp. Se alege comanda (Model/Function), se da un titlu funcției de timp "6.N1(t)" și se selectează tipul funcției (Type=1.versus Time). Graficul funcției de timp va fi creat utilizând comanda: Function- Single Value și se introduc perechile de coordonate reprezentative (x,y) de pe graficul $N1(t)$. Se introduc seturile de valori de mai sus (Fig.11.6)

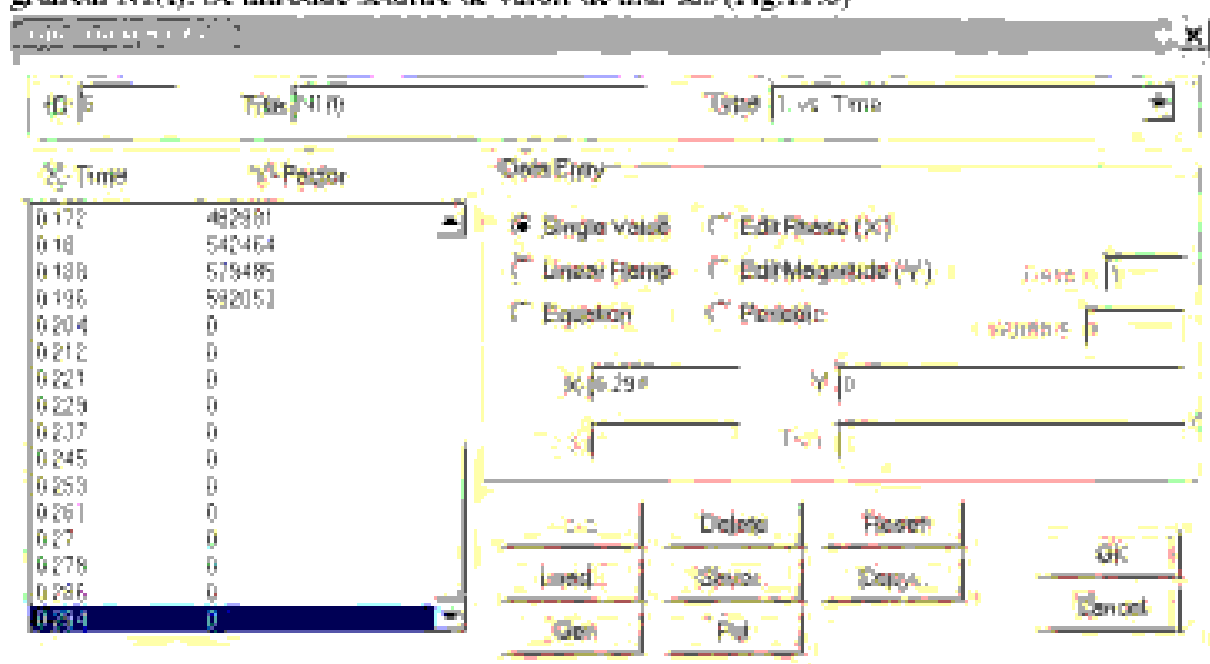


Fig. 11.6. Fereastra programului FEA de realizare a graficului $N1(t)$

Pentru a putea fi vizualizat graficul $4.N3(t)$, se selectează Meniul: View/Select/XY of Function/Model Data/Select 6.N1(t) (Fig.11.25)

Pentru a fi editat acest grafic, se intră în Meniul: View/Options/Postprocessing, unde se selectează:

- XY Titles: Title=1.An.Dinamica Timp ; Subtitle=6.N1(t) ; Palette=125 black ; Apply;
- XY Legend: Titles ; Apply;
- XY Axis Styles: Plot Type=Linear ; Axis Color=125 black ; X Tics=37 ; Y Tics=37 ; Apply;
- XY X Range grid: Automatic ; Grid Color=140 Gri ; Apply;
- XY Y Range grid: Automatic ; Grid Color=140 Gri ; Apply;
- XY curve 1: Contour: style=Line with points ; Color=125 black ; Apply; OK.

În Fig. 11.25 este prezentat Graficul de intrare $N1(t)$, unde t variază cu increment $t_{alfa}=0.008$ sec între 0 și $T_p=0.294$ sec

În Tab. 11.2 Sunt prezente sintetizat Graficele funcțiilor $T(t)$ și $N(t)$, pentru punctele de ancoră M1, M2, și M3

Tab.11.2. Prezentarea sintetizată a Graficele funcțiilor $T(t)$ și $N(t)$, pentru punctele de ancoră M1, M2, și M3

Nr. Crt.	Grafic forță în funcție de timp	Sistem de coordonate
1	T2(t)	CS0
2	N2(t)	CS0
3	T3(t)	CS4.M3
4	N3(t)	CS4.M3
5	T1(t)	CS3.M1
6	N1(t)	CS3.M1

În continuare se vor introduce forțele $T(t)$ și $N(t)$ pe nodurile manetonelor M1, M2 și M3 ale arborelui cotit.

a). Maneton M2 (referință), Sistem de coordonate CS0

Se introduc forțele în nodul M2:

$F_y=+1$ * funcția de variație în timp T2(t). Se asociază Forței $F_y=+1$ în nodul de maneton M2, graficul de variație în timp a forței 1.T2(t)

În Fig.11.7 este prezentată fereastra de introducere a forțelor T2(t) pe nodul de maneton M2.

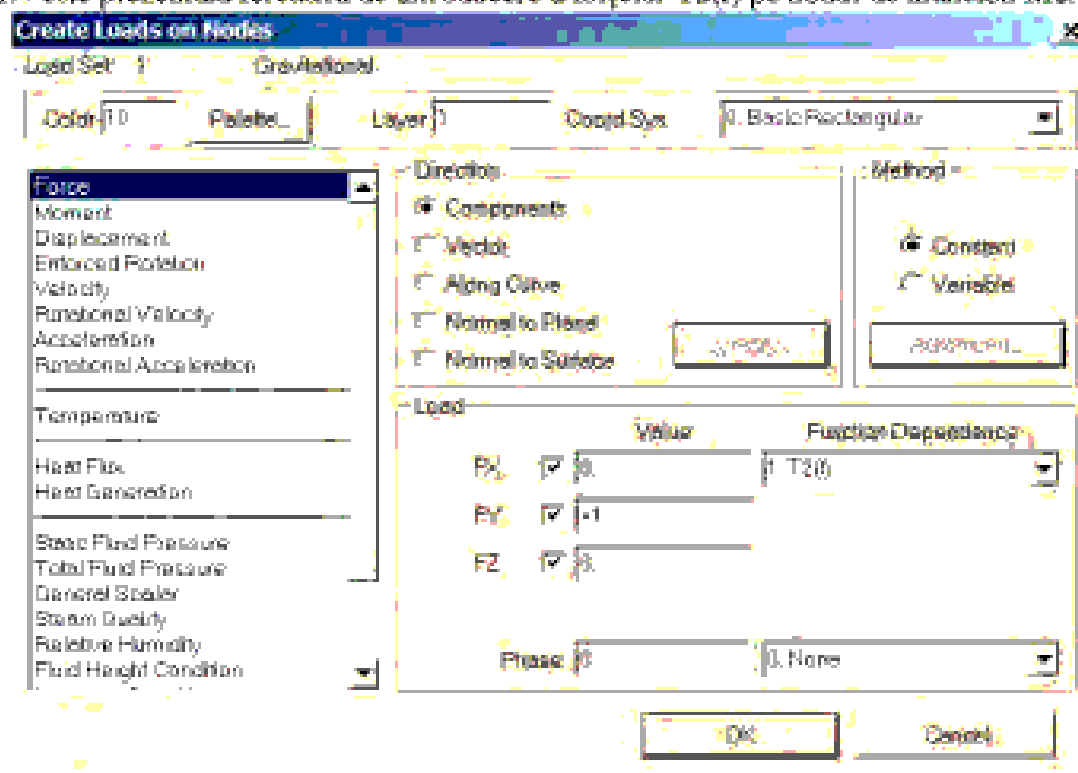


Fig.11.7 Fereastra de introducere a forțelor T2(t) pe nodul de maneton M2

$F_z=-1$ * funcția de variație în timp N2(t). Se asociază Forței $F_z=-1$ în nodul de maneton M2, graficul de variație în timp a forței 2.N2(t).

În Fig. 11.8 este prezentată fereastra de introducere a forțelor N2(t) pe nodul de maneton M2.

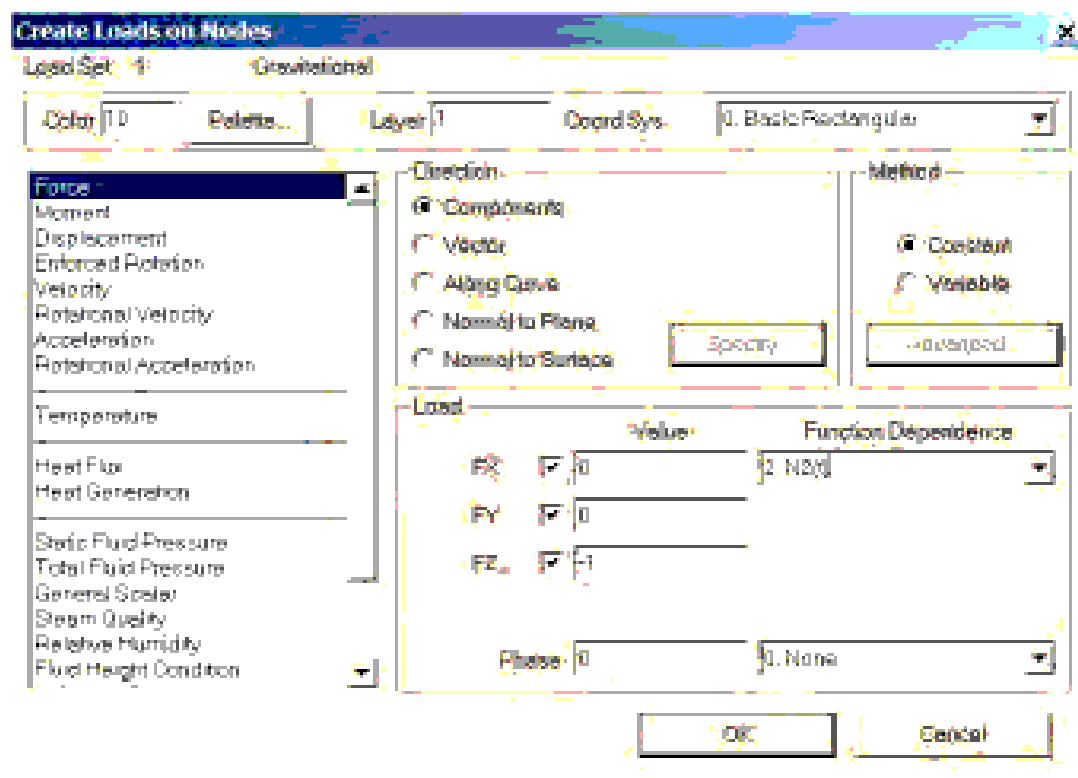


Fig.11.8 Fereastra de introducere a forțelor $N2(t)$ pe nodul de maneton $M2$

b). Maneton $M3$, Sistem de coordonate $CS4$

Se introduce forțele în pct. $M3$:

$Fy \rightarrow +1$ * funcția de variație în timp $N3(t)$. Se asociază Forței $Fy \rightarrow +1$ în nodul de maneton $M3$, graficul de variație în timp a forței $4.N3(t)$.

În Fig. 11.9. este prezentată fereastra de introducere a forțelor $N3(t)$ pe nodul de maneton $M3$.

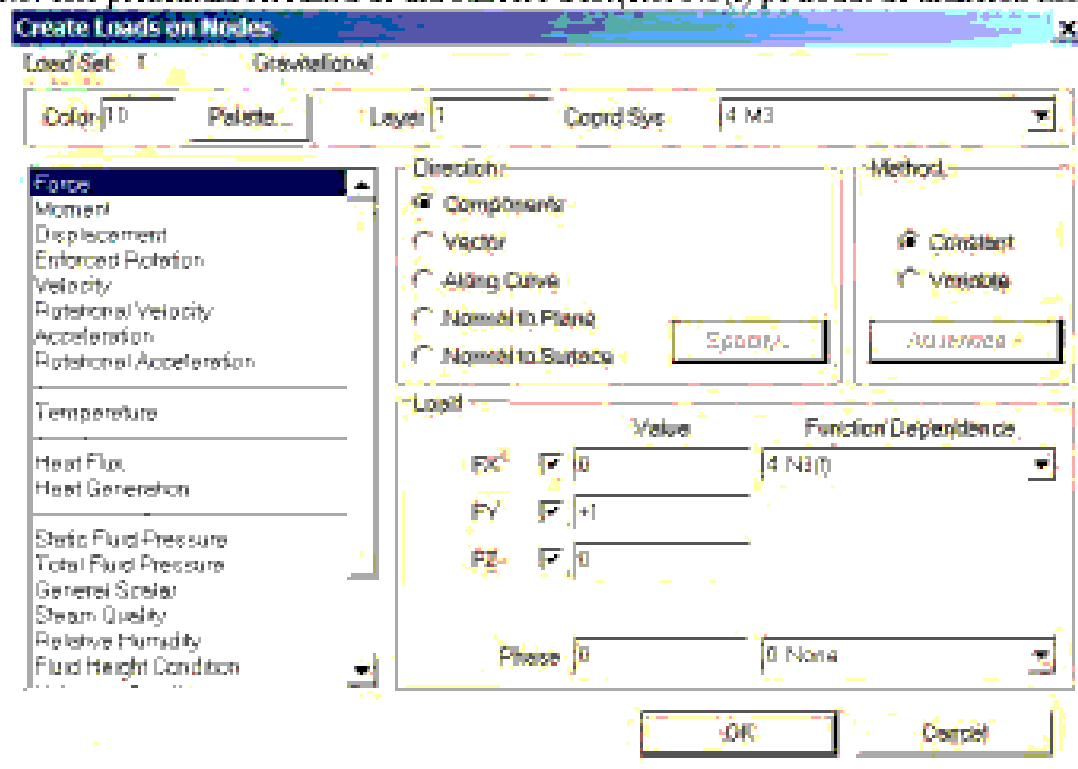


Fig.11.9. Fereastra de introducere a forțelor $N3(t)$ pe nodul de maneton $M3$

$Fz \rightarrow +1$ * funcția de variație în timp $T3(t)$. Se asociază Forței $Fz \rightarrow +1$ în nodul de maneton $M3$, graficul de variație în timp a forței $3.T3(t)$.

În Fig. 11.10 este prezentată fereastra de introducere a forțelor $T3(t)$ pe nodul de maneton $M3$.

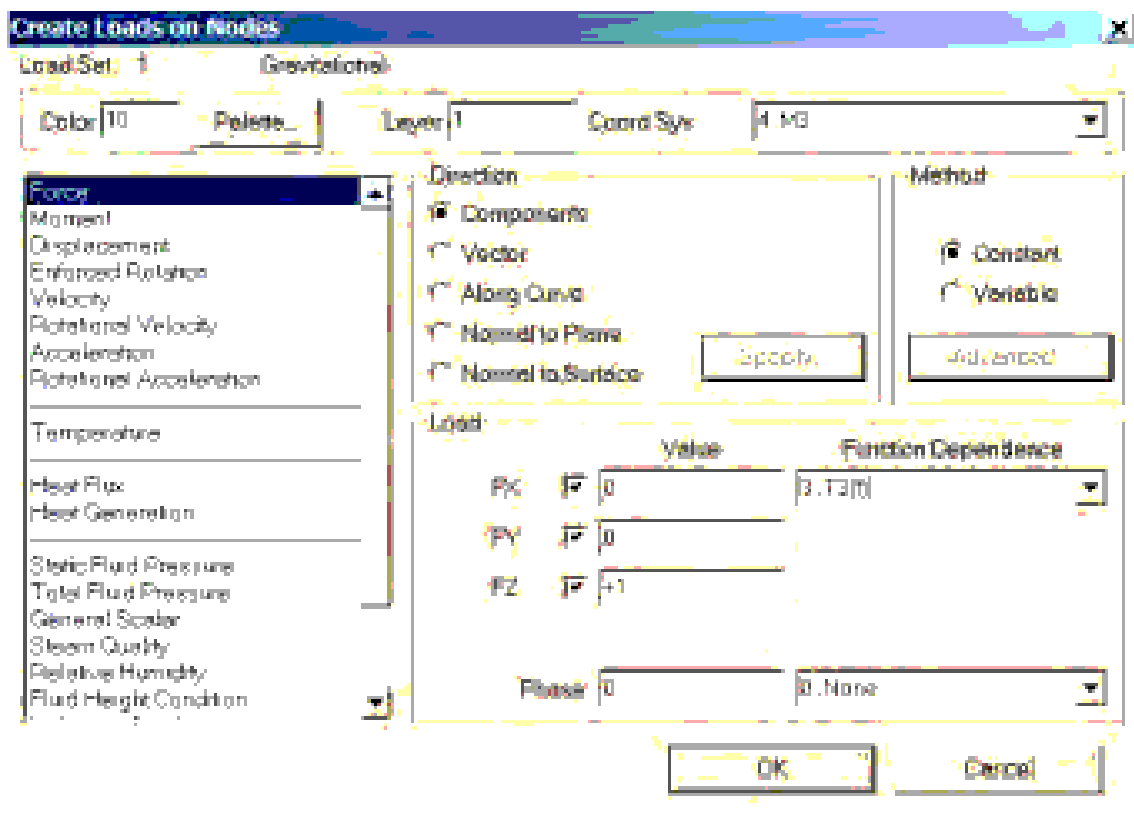


Fig.11.10. Fereastra de introducere a forțelor $T3(t)$ pe nodul de maneton M3

c). Maneton M1 , Sistem de coordonate CS3

Se introduc forțele în pct. M1:

$P_y = +1$ * funcția de variație în timp $N1(t)$. Se asociază Forței $P_y = +1$ în nodul de maneton M1, graficul de variație în timp a forței $6.N1(t)$.

În Fig. 11.11. este prezentată fereastra de introducere a forțelor $N1(t)$ pe nodul de maneton M1.

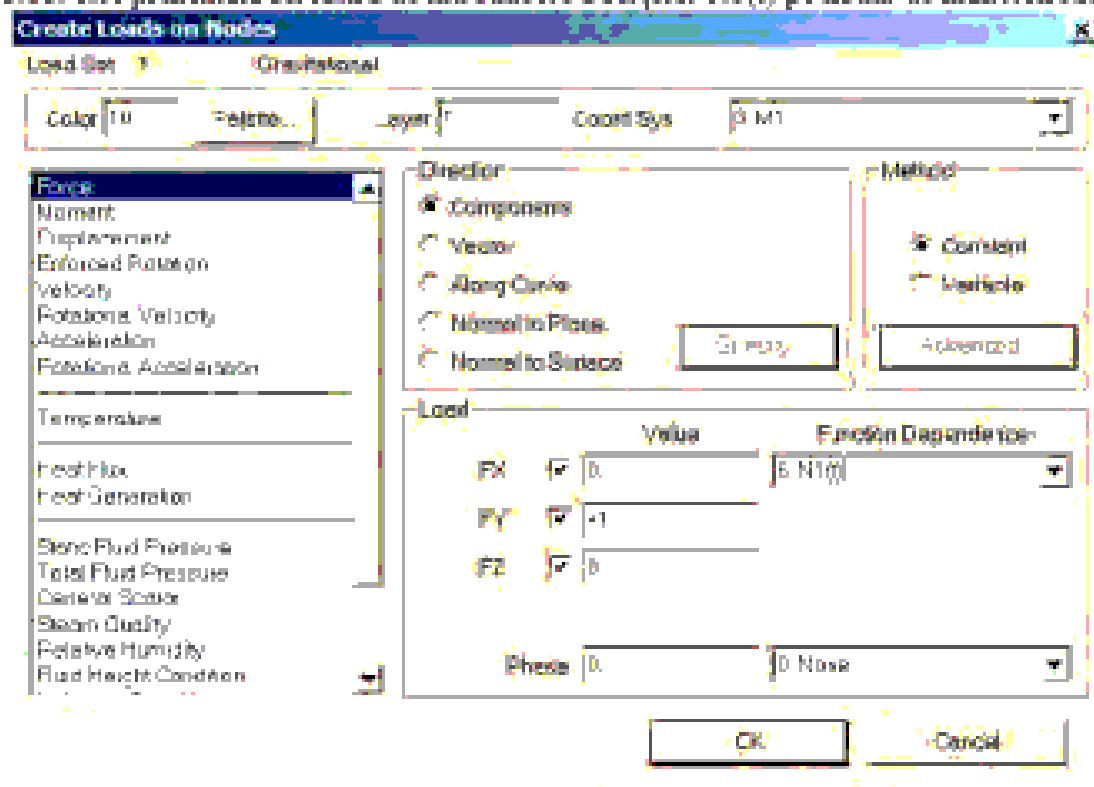


Fig.11.11. Fereastra de introducere a forțelor $N1(t)$ pe nodul de maneton M1

$F_z=+1$ * funcția de variație în timp $T1(t)$. Se asociază Forței $F_z=+1$ în nodul de maneton M1, graficul de variație în timp a forței $S.T1(t)$.

În Fig.11.12 este prezentată fereastra de introducere a forțelor $T1(t)$ pe nodul de maneton M1.

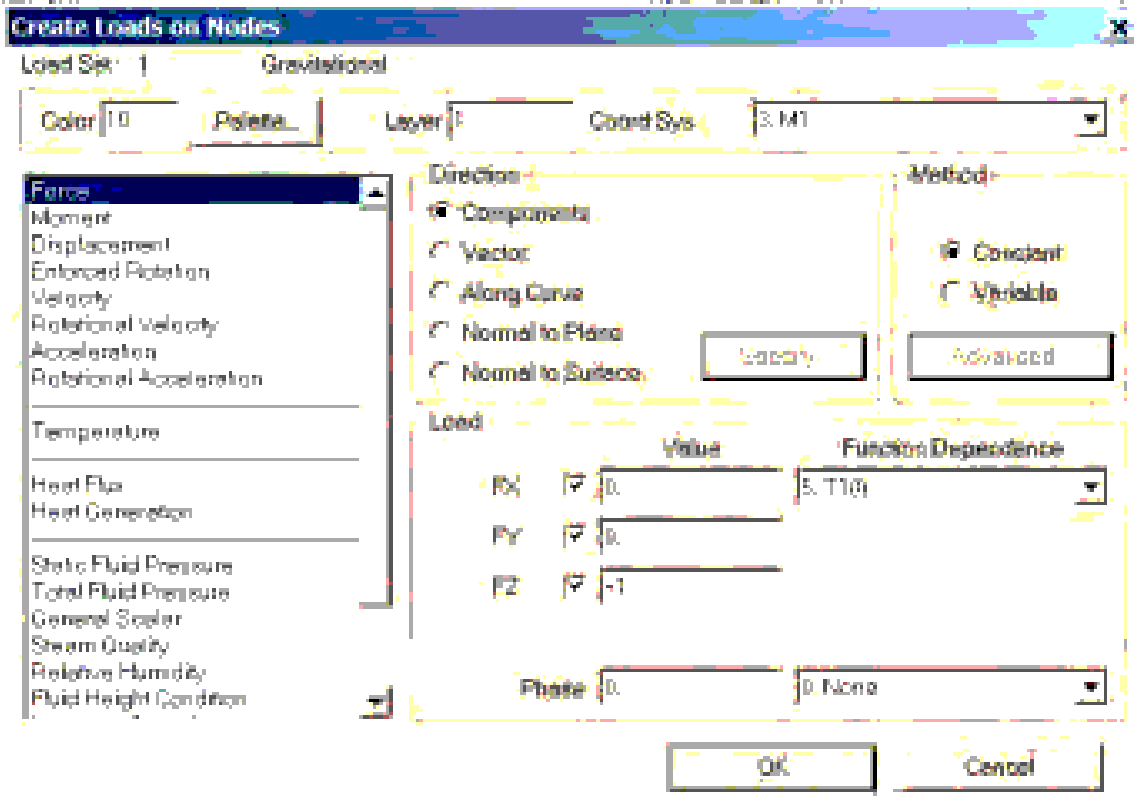


Fig.11.12. Fereastra de introducere a forțelor $T1(t)$ pe nodul de maneton M1

În Fig.11.13 este prezentată introducerea grafică a forțelor $T(t)$ și $N(t)$ pe cele 3 noduri de manetoane, M1, M2 și M3, vedere trimetrică.

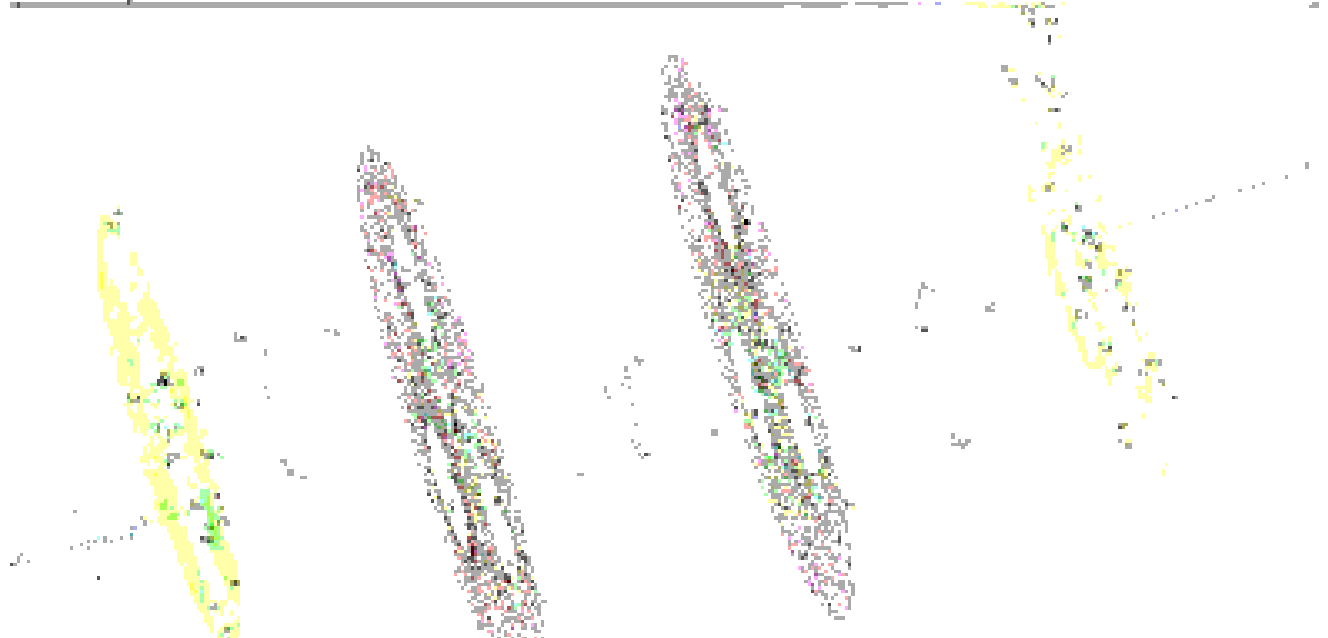


Fig. 11.13. Introducerea grafică a forțelor $T(t)$ și $N(t)$ pe cele 3 noduri de manetoane, M1, M2 și M3, vedere trimetrică.

În Fig.11.14 este prezentată introducerea grafică a forțelor $T(t)$ și $N(t)$ pe cele 3 noduri de manetoane, M1, M2 și M3, vedere din lateral stg., dinspre rulmentul din capăt stg.

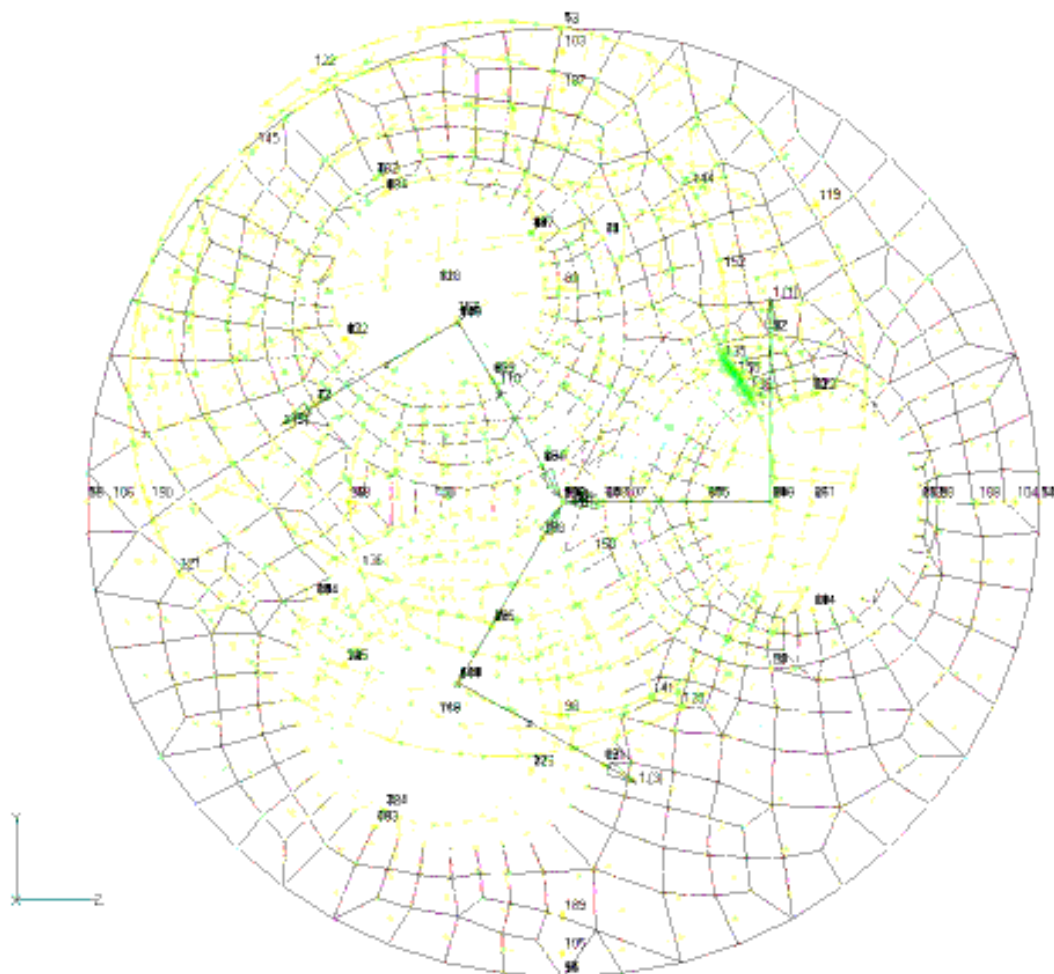


Fig.11.14. Introducerea grafică a forțelor $T(t)$ și $N(t)$ pe cele 3 noduri de manetoane, M1, M2 și M3, vedere din lateral stg., dinspre rulmentul din capăt stg.

Pasul final pentru a realiza Analiza Dinamică Directă cu Răspuns în Timp este să definim **Parametrii Analizei Tranziente**. Definirea acestora se face în căsuța de dialog (**Model\Load\Dynamic Analysis**). Selectăm metoda soluției în căsuța de dialog (**Load Set Options for Dynamic Analysis**)- selectăm opțiunea **Direct Transient** pentru metoda soluției. Referitor la metoda **Direct Transient** trebuie să introducem următorii parametri:

-**Overall structural Damping Coefficient (G)=0,1** ; **G=Coeficientul Global structural de amortizare**= $2 \cdot (\text{amortizarea critică} = 5\% = 0,05)$, deci $G = 2 \cdot 5\% = 2 \cdot 0,05 = 0,1$

-**Frequency for System Damping (W3)= 660.1486** (Frecvența amortizării sistemului); se introduce valoarea primei frecvențe proprii a arborelui cotit $F1 = 660.1486$ Hz calculate mai sus.

-**Number of Steps=320** (Nr. de pași ai soluției)

-**Time per Step= 0,001** sec (Durata unui increment de timp al soluției)

-**Output Interval= 1** (Un set de date de ieșire pentru fiecare pas de timp)

Apoi selectăm **OK** (Vezi Fig.11.15)

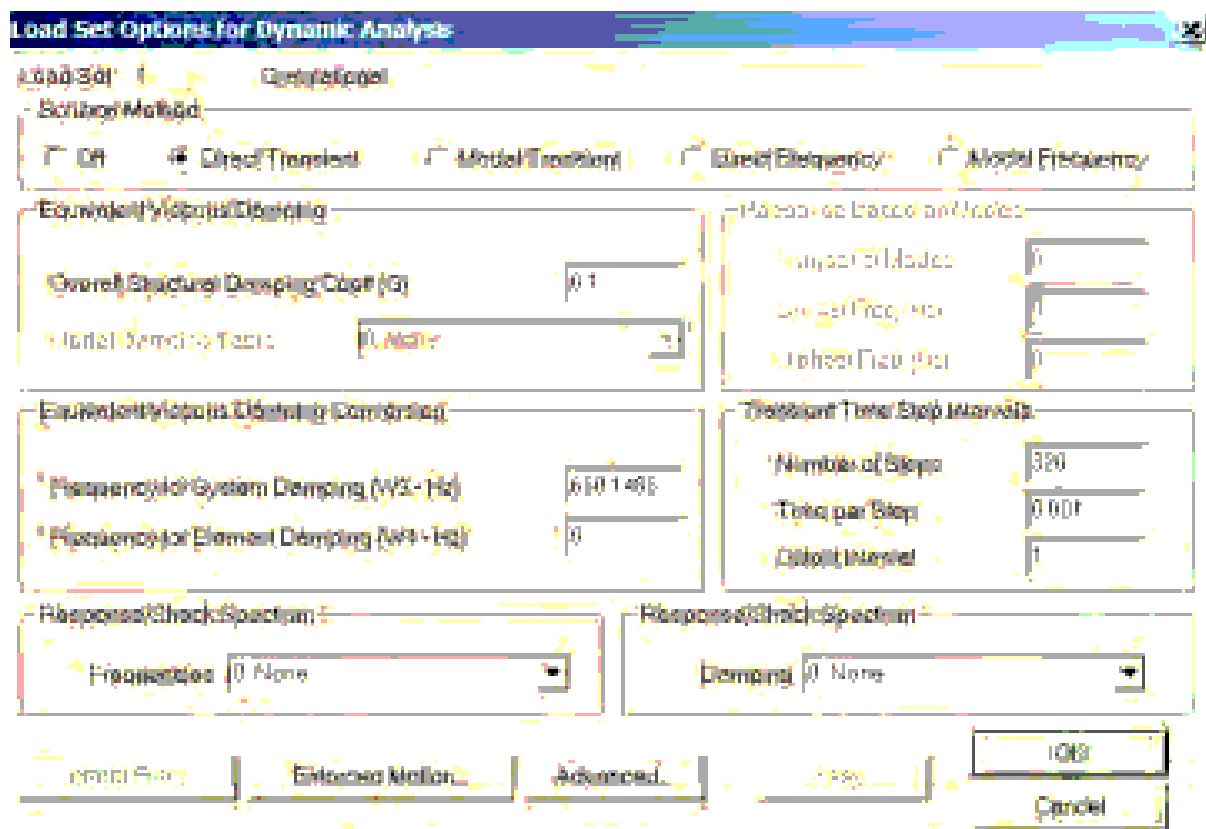


Fig. 11.15. Fereastra programului FEA de definire a parametrilor analizei dinamice directe cu răspuns în timp pentru arborele cotă

Comentariu la Valorile introduse mai sus:

Valoarea coeficientului structural de amortizare 0.1 servește la calcularea amortizării vâscoase echivalente ($G=2^*$ (raportul critic de amortizare=5%). Coeficientul amortizării vâscoase echivalente este calculat la frecvența $F1=660.1486$ Hz , frecvența modului nr.1 fundamental de deformare al structurii, frecvență proprie care a fost calculată anterior în cadrul Analizei Modale. Aceasta este frecvența la care este cel mai probabil ca structura să fie excitată de către Forțele variabile în timp $T(t)$ și $N(t)$ de pe nodurile maneton M1, M2 și M3 și de asemenea este modal de vibrație în cadrul căruia participă ce mai mare parte a maselor structurii.

Incrementul de timp a fost setat la $DT=Time\ per\ Step=0.001$ sec . Incrementul de timp $DT=0.001$ sec permite realizarea a $DRC / DT=0.32 / 0.001=320$ de pași pentru acoperirea perioadei factorului perturbator $Tp=0.294$ sec. Aceasta permite o acoperire adecvată pentru răspunsul așteptat al structurii.

Numărul total de pași $STEP=Number\ of\ Steps=320$ realizează timpul total de acoperire al analizei , și anume Durata Răspunsului Calculat= $DRC= ((320)*0.001=0.32$ sec), mai mare decât mărimea unei perioade perturbatoare $Tp=0.294$ sec.

Valoarea introdusă **Output Interval =1** va crea un set de date de ieșire (deplasări , eforturi etc..) pentru fiecare pas de timp al analizei ; vom avea astfel 320 de seturi de date de ieșire.

Prin impunerea a 320 de pași ptr. analiza în timp se vor crea după analiză 320 de seturi de date de ieșire (Output Set) rezervate analizei dinamice; ele vor fi numerotate de la 1 la 321.

Nodurile relevante unde apar deformațiile maxime la momentul de timp T_{max} de încărcare maximă sunt nodurile maneton M1, M2 și M3 (Maneton M1=Nod.2481 , Maneton M2=Nod.14 , Maneton M3=Nod.3120). Pentru aceste noduri relevante, unde apar deformațiile maxime, se vor face, după încheierea Analizei Dinamice Directe cu răspuns în Timp, Graficele Deformații – funcție de timp, pentru depistarea momentului T_{max} de încărcare maximă.

Elementele relevante în care apar eforturile unitare maxime la momentul de timp T_{max} de încărcare maximă a arborelui cotit sunt (Elemente Maneton M1 –El.2225, El.2226 , Elemente Maneton M2–El.1429, El.1430 și Elemente Maneton M3–2966, 2967). Pentru aceste elemente relevante, unde apar eforturile unitare maxime, se vor face, după încheierea Analizei Dinamice Directe cu răspuns în

Timp, Graficele Eforturi Unitare = funcție de timp, pentru depistarea momentului T_{max} de încărcare maximă.

În Tab.11.3, sunt prezentate Nodurile relevante unde apar deformațiile maxime la momentul de timp T_{max} de încărcare maximă de pe Manetoanele M1, M2 și M3 și Elementele relevante în care apar eforturile unitare maxime la momentul de timp T_{max} de încărcare maximă de pe manetoanele M1, M2, și M3.

Tab.11.3. Nodurile relevante unde apar deformațiile maxime la momentul de timp T_{max} de încărcare maximă de pe Manetoanele M1, M2 și M3 și Elementele relevante în care apar eforturile unitare maxime la momentul de timp T_{max} de încărcare maximă de pe manetoanele M1, M2, și M3

<i>Nr. Crt.</i>	<i>Maneton</i>	<i>Nodurile relevante unde apar deformațiile maxime la momentul de timp T_{max} de încărcare maximă de pe Manetoanele M1, M2 și M3</i>	<i>Elementele relevante în care apar eforturile unitare maxime la momentul de timp T_{max} de încărcare maximă de pe manetoanele M1, M2, și M3</i>
1	M1	2481	2225 , 2226
2	M2	14	1429 , 1430
3	M3	3120	2966 , 2967

În Fig.11.16 sunt prezentate grafic Nodurile relevante unde apar deformațiile maxime la momentul de timp T_{max} de încărcare maximă de pe Manetoanele M1, M2 și M3

În Fig.11.17 sunt prezentate grafic Elementele relevante în care apar eforturile unitare maxime la momentul de timp T_{max} de încărcare maximă de pe Manetoanele M1, M2 și M3.

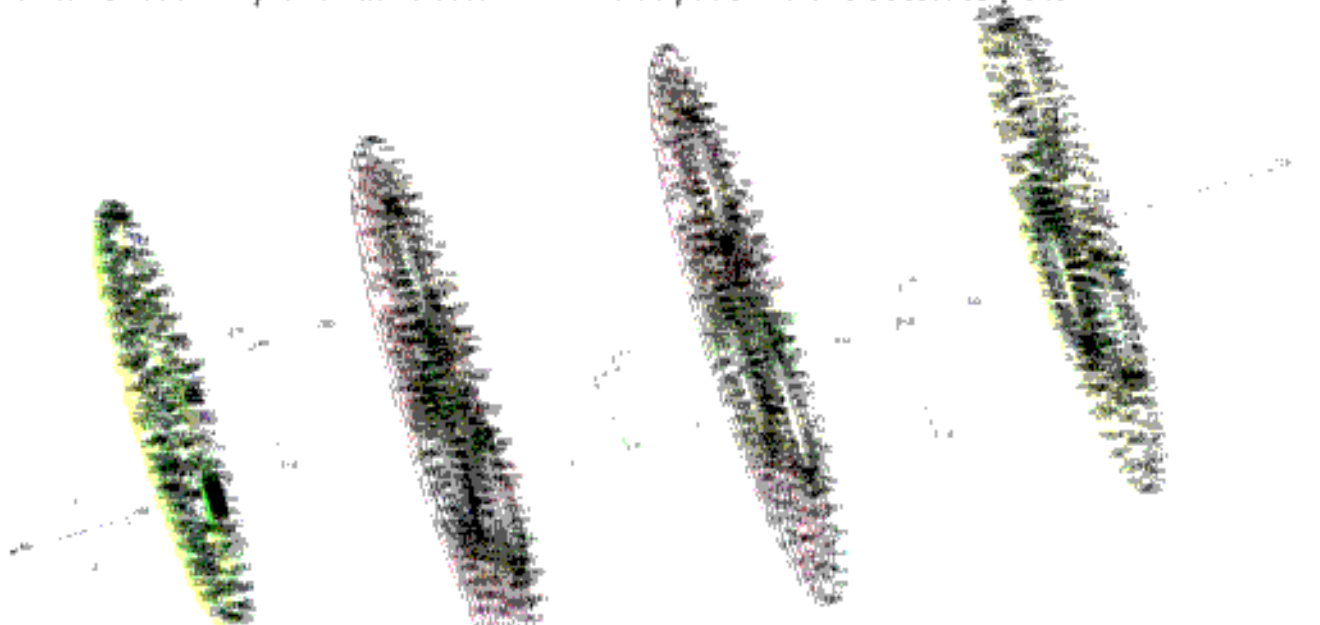
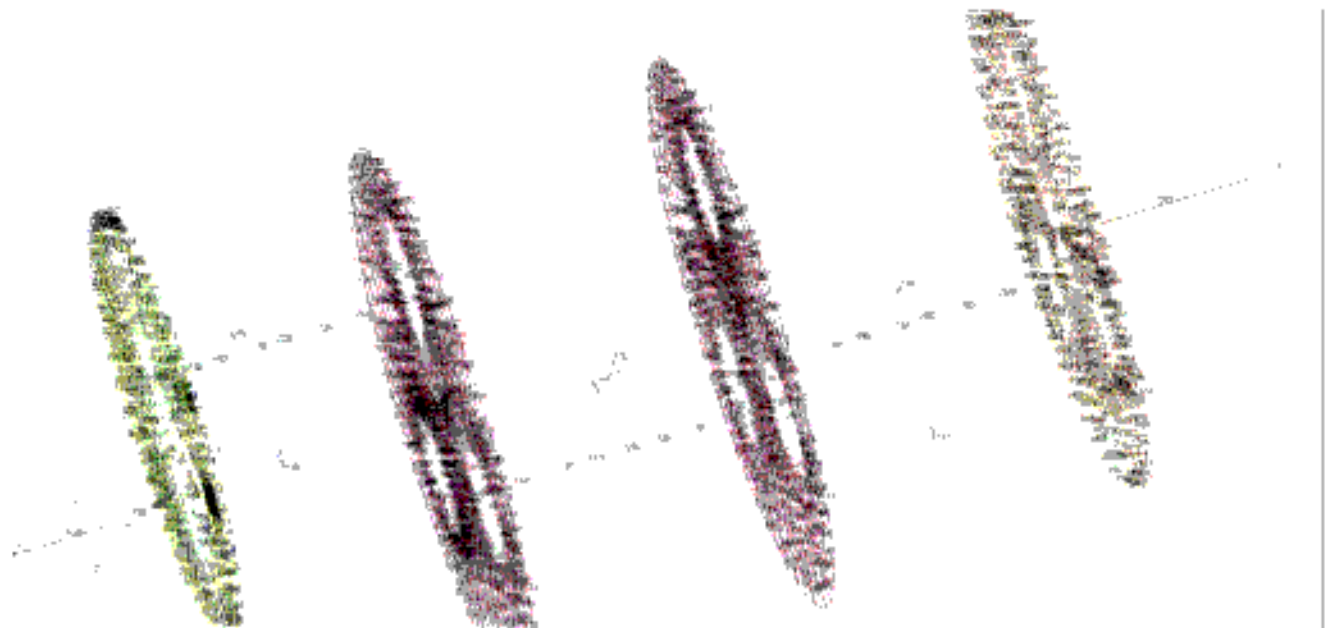


Fig.11.16. Prezentarea grafică a Nodurilor relevante unde apar deformațiile maxime la momentul de timp T_{max} de încărcare maximă de pe Manetoanele M1, M2 și M3.



În Fig.11.17 Prezentarea grafică a Elementelor relevante în care apar eforturile unitare maxime la momentul de timp T_{max} de încărcare maximă de pe Manetoanele M1, M2 și M3.

Parametrii Analizei dinamice au fost aleși judicios după indicațiile teoretice anterioare și anume:

1. Au fost reținute ptr. analiză primele 10 moduri naturale: s-a respectat regula: "Numărul de moduri trebuie să fie suficient de mare ptr. a acoperi frecvență forței perturbatoare; trebuie să fie suficiente moduri pentru a acoperi de 2 ori frecvența perturbatoare".
 $F_{mod10} = 3038.83 \text{ Hz} > 2 * F_p = 2 * 3.4 \text{ Hz} = 6.4 \text{ Hz}$: regula este respectată;
2. Trebuie să fie reținute suficiente moduri naturale ptr. a acoperi distribuția spațială și temporară a structurii, sunt suficiente 10 moduri;
3. Parametrul **DT (Time per Step)**, pasul de timp trebuie să fie suficient de mic ptr. a captura magnitudinea răspunsului de vârf; DT trebuie să fie mai mic sau egal decât perioada modului propriu nr. 1. DT are semnificația D= Direct , T= Timp.
 $DT = \text{incrementul de timp pentru analiză} = 0,001 \text{ sec} \approx T_{mod1} = 0.001515 \text{ sec}$; condiția este respectată;
4. DT trebuie să fie suficient de mic pentru a putea reprezenta cu acuratețe frecvența forței perturbatoare: $DT = 0,001 \text{ sec} < T_p = 0.294 \text{ sec}$; condiția este respectată;
5. DT trebuie să fie suficient de mic pentru a acoperi nelinearitățile forțelor perturbatoare
6. **Durata Răspunsului Calculat = Number of Steps x Time per Step** (Număr de pași x DT). Durata Răspunsului Calculat trebuie să fie suficient de mare ca să permită ca cel mai jos mod natural să oscileze cel puțin un ciclu. Durata Răspunsului Calculat trebuie să fie mai mare de cel puțin 2 ori decât perioada celui mai jos mod natural.

$DRC = \text{Durata răspunsului calculat} = 0.32 \text{ sec} > 2 * T_{mod1} = 2 * 0,001515 \text{ sec} = 0.00303 \text{ sec}$ condiția este respectată.

Rularea Analizei Dinamice Directe cu Răspuns în Timp

Cu datele de intrare introduse până acum, putem să rulăm la acest moment Analiza dinamică directă cu răspuns în timp a structurii. Selectăm din căsuța de dialog (File/Analize) tipul de analiză dorit.

(3. Transient Dynamic/Time History) și apoi apăsăm pe butonul Run Analysis (Fig.11.18-11.19)

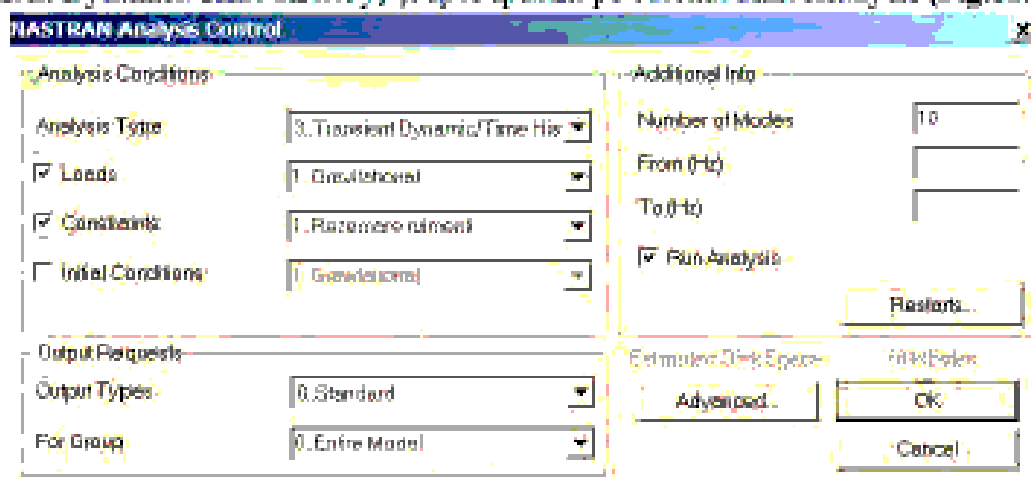


Fig.11.18. Fereastra de startare a Analizei dinamice directe cu răspuns în timp. Alegerea analizei dinamice directe cu răspuns în timp pentru rulare.

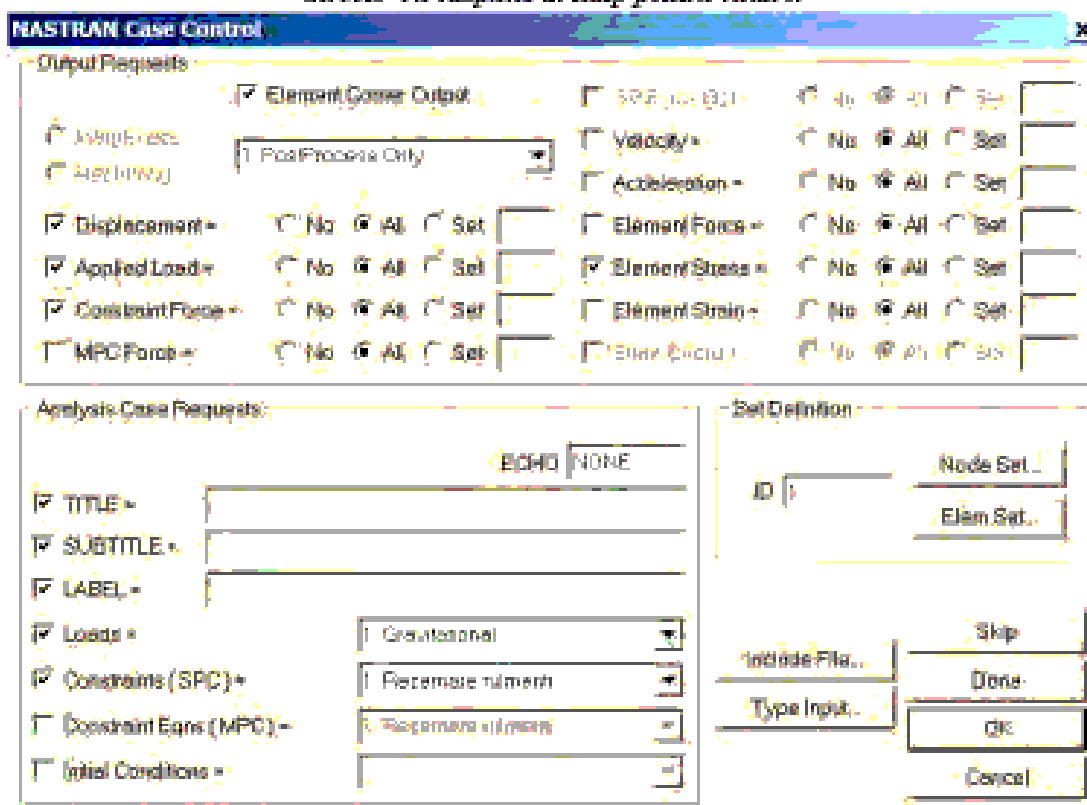


Fig.11.19. Fereastra de startare a Analizei dinamice directe cu răspuns în timp. Alegerea Element Stress (Eforturilor unitare în elemente), ca și rezultate în urma analizei dinamice. Se remarcă bifarea butonului „Element Stress”, pentru a putea fi afișate și eforturile unitare din cele 320 de seturi de valori

În Tab.11.4. sunt prezentate Graficele și Planșele care au fost realizate în urma Analizei dinamice directe cu răspuns în timp a arborelui cotit

Tab.11.4. Graficele și Planșele care au fost realizate în urma Analizei dinamice directe cu răspuns în timp a arborelui cotit

Nr. Crt	Grafic sau Planșă	Descriere
1	11.20	T2(t)
2	11.21	N2(t)
3	11.22	T3(t)
4	11.23	N3(t)
5	11.24	T1(t)
6	11.25	N1(t)
7	11.26	Def=F(t) [mm]
8	11.27	Def [mm] la Tmax=0.147 sec, Set Valori=148, alfa=180°
9	11.28	Sigma Max Intindere=F(t) [MPa]
10	11.29	Sigma Max Intindere [MPa] la Tmax=0.188 Set Valori=189, alfa=130°
11	11.30	Sigma Max Compresiune=F(t) [MPa]
12	11.31	Sigma Max Compresiune [MPa] la Tmax=0.188 Set Valori=189, alfa=130°

IV.12. Realizarea Analizei Dinamice Modale cu răspuns în Timp pentru arborele cotit

Diferența față de analiza dinamică directă cu răspuns timp, este că la analiza dinamică modală cu răspuns în timp, amortizarea arborelui cotit va fi o funcție de frecvențele proprii ale sale, obținându-se astfel un răspuns dinamic mai corect decât la analiza dinamică directă cu răspuns în timp.

Elementul perturbator pentru analiza dinamică modală cu răspuns în timp, este același, ca și la analiza dinamică directă cu răspuns în timp și anume efectul perturbator dinamic de intrare este constituit din cele 3 seturi de forțe tangențiale $T(t)$ și normale $N(t)$, variabile în timp, în intervalul de o perioadă $T=0.294$ sec de rotație a arborelui cotit, în punctele M de pe manetoanele arborelui cotit și anume $M2[T2(t);N2(t)]$, $M3[T3(t);N3(t)]$ și $M1[T1(t);N1(t)]$, manetonul M2 fiind considerat de referință, rotindu-se din cadranul 1 trigonometric, de pe axa OX în jos, în sensul ceasului, cu un pas de calcul $\alpha=10$ grade, și anume la 360grad, 350grad, 340grad, 330grad...40grad, 30grad, 20grad, 10grad, 0grad. Celelalte manetoane M3 și M1, se rotesc decalat față de M2, decalajul fiind de 120° pentru fiecare.

Intervalul de timp total al analizei dinamice DRC=0.32 sec (Durata Răspunsului Calculat), acoperitor față de perioada perturbatoare $T=0.294$ sec, va fi parcurs pas cu pas, cu nr. de pași ai analizei STEP=320, cu incrementalul de timp al unui pas=DT=0.001 sec.

Prin variația pas cu pas a acestor seturi M1, M2 și M3 de valori de forțe tangențiale $T(t)$ și normale $N(t)$ variabile din timp, cu incrementalul de timp DT=0.001 sec, în cadrul analizei dinamice directe cu răspuns în timp se vor efectua STEP=320 de pași ai analizei dinamice, în intervalul de timp total al analizei dinamice DRC=0.32 sec (Durata Răspunsului Calculat) și se vor efectua efectiv în total 320 de analize statice ale arborelui cotit, pentru a se determina momentul de timp t_{max} din cadrul analizei dinamice directe cu răspuns în timp în care încălcarea arborelui cotit este maximă.

Diferența față de Analiza Directă Tranzientă, este că, la Analiza Modală Tranzientă se mai creează o funcție suplimentară depinzând de frecvență (în intervale de frecvență apropiate frecvențelor proprii naturale), care se va stașa amortizării structurii arborelui cotit.

Se formează a doua funcție prin căsuța de dialog (Model/Function) (Fig.12.1) Funcția are nr.7; denumim funcția "7. Amortizare Modală". Selectăm tipul funcției (7.Critical damping versus Frequency)

La comanda (Data Entry) selectăm (Single Value) și introducem setul de valori:

X=0 Y=0.05 (valoarea amortizării critice)

More

X=3100 Hz Y=0.05 More OK

Apoi așez intervalul de frecvență x [0...3100 Hz] ptr. ca să fie acoperitor față de intervalul primelor 10 frecvențe naturale proprii ale arborelui cotit.

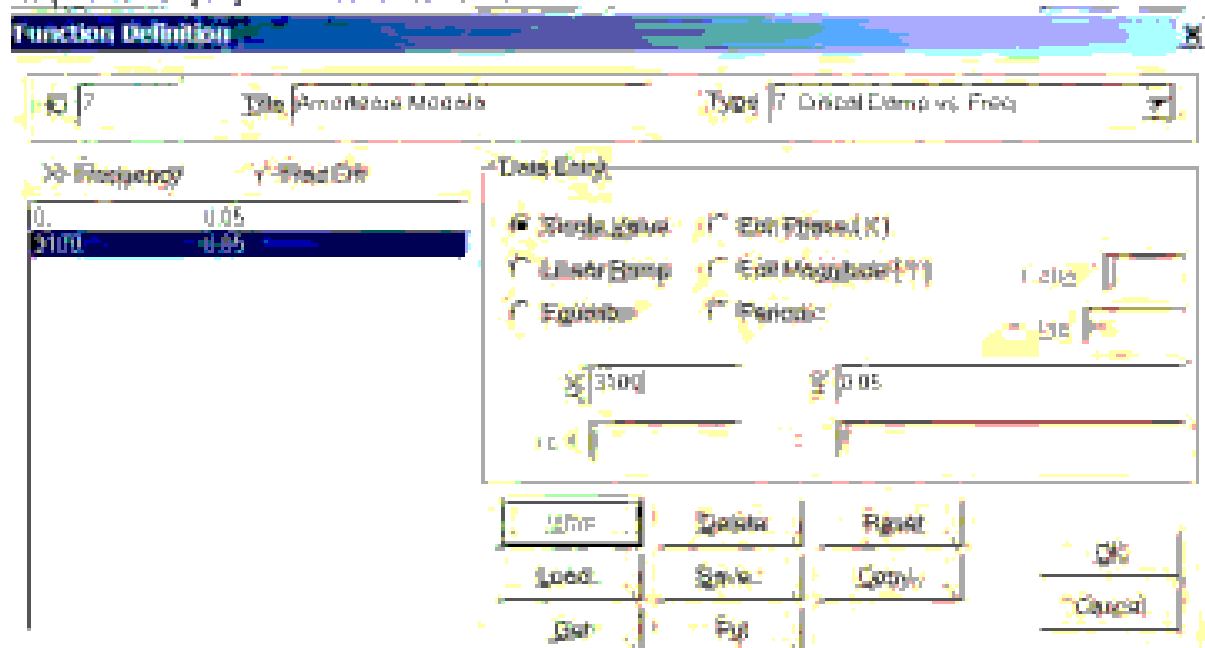


Fig.12.1. Fereastra programului FEA pentru realizarea funcției de amortizare modală

Definim în continuare parametrii analizei dinamice prin căsuța de dialog (Model Load/Dynamic Analysis) (Fig.12.2)

Selectăm pentru (Solution Method)...Modal Transient

Selectăm pentru comanda: (Modal damping table)).....funcția definită mai sus:
7..Amortizare_Modală

Sub comanda (Transient Time Step Intervals), introducem aceeași increment de timp ca la Analiza directă transientă:

- Number of Steps.... 320
- Time per Step..... 0.001 sec
- Output Interval..... 1 ; semnificația acestor 3 variabile și justificarea alegerii lor a fost prezentată pe larg la cap-Analiza Directă Transientă

Pentru comanda (Frequency for System Damping,W3) introducem valoarea=660.1486 Hz-prima frecvență naturală proprie.

Sub comanda (Response Based on Modes), introducem Number of Modes...10; primele 10 moduri naturale ale arborelui cotit. Am justificat în subcapitolul anterior necesitate alegerii unui nr. acoperitor de frecvențe naturale

Intrăm în submeniul (Advanced) și selectăm ptr, (Mass Formulation)....(Coupled) (Fig.12.3)

Părăsim co (OK) meniul (Dynamic Analysis)

Începem rularea analizei dinamice prin căsuța de dialog(File/Analyse). Alegem tipul analizei (3..Transient Dynamic/Time History) (Fig.12.4), intrăm în submeniul (Advanced) (Fig.12.5) și selectăm ptr. comanda :

- (Solution Type)...Modal
- (Modal Solution Method).....Lanczos
- Eigenvalues and Eigenvectors/Number desired....10 (se cere nr. primelor moduri naturale proprii și frecvențe proprii)

Apăsăm pe butonul Run Analysis. În continuare, algoritmul de lucru este identic cu cel de la Analiza directă cu răspuns în timp anterioară

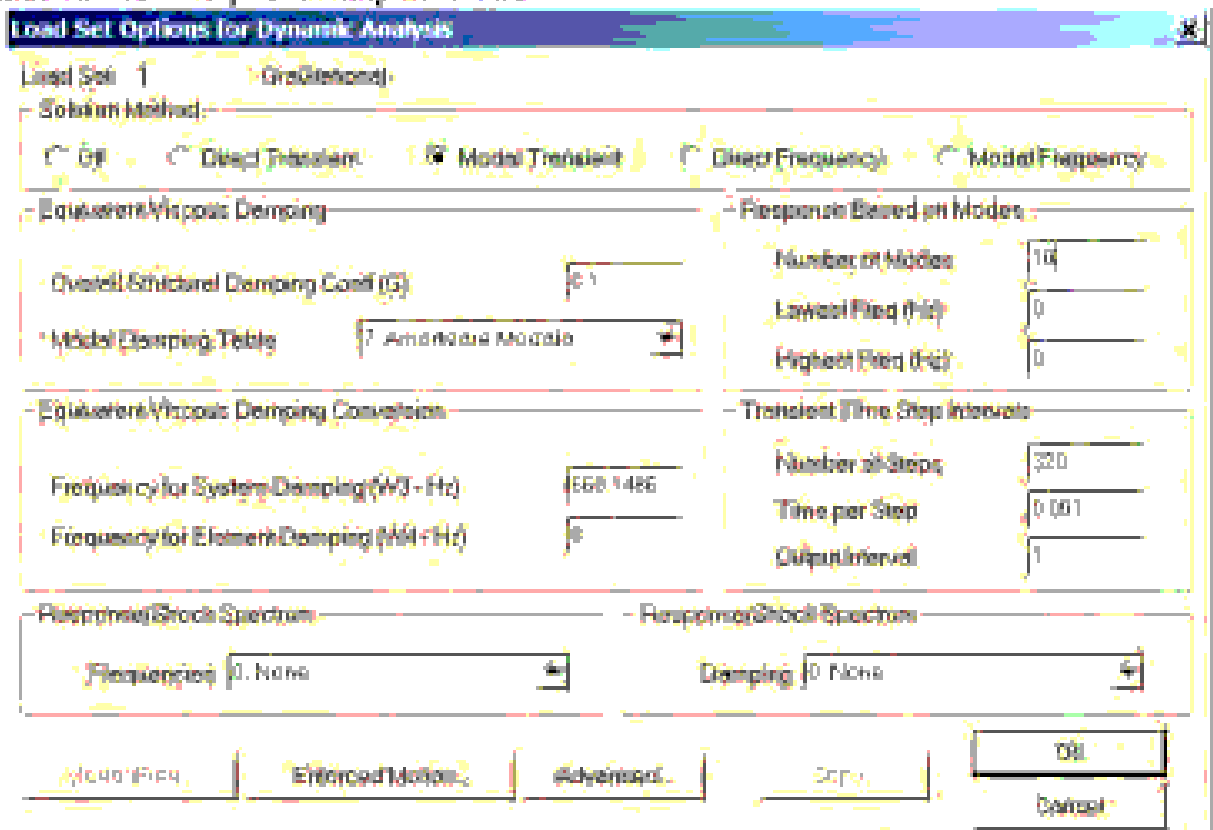


Fig.12.2. Fereastra de definire a parametrilor analizei dinamice modale cu răspuns în timp. Folosirea funcției 7.Mortizare_Modală pentru definirea amortizării structurii

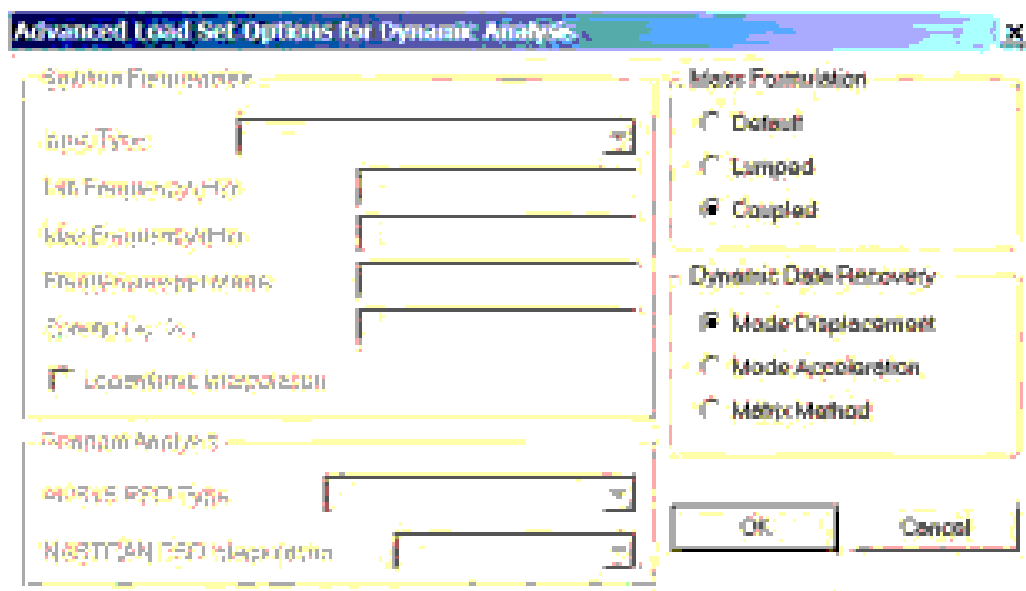


Fig.12.3. Fereastra de definire a parametrilor analizei dinamice modale cu răspuns în timp. Definierea masei cuplate

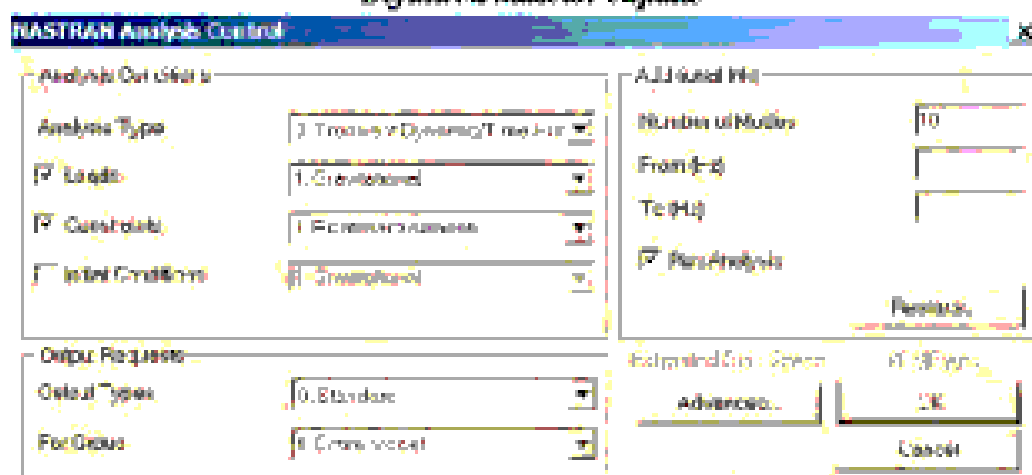


Fig.12.4. Fereastra de startare a analizei dinamice modale cu răspuns în timp. Definierea analizei tranziente.

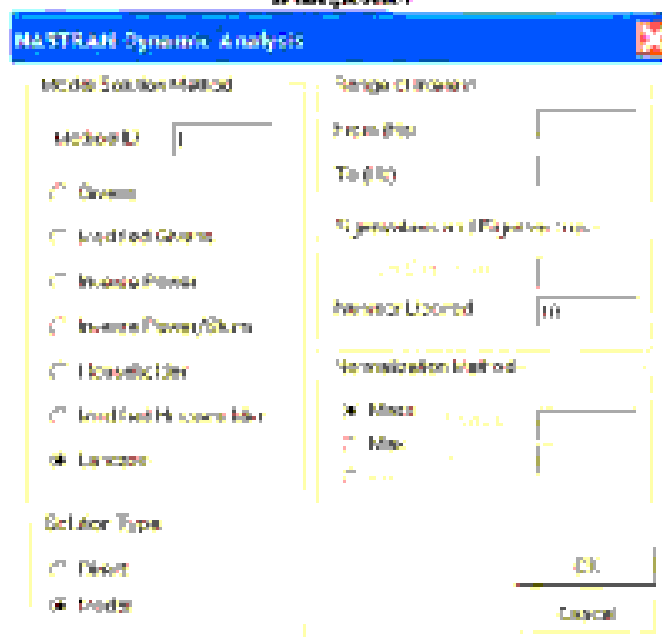


Fig.12.5. Fereastra de startare a analizei dinamice modale cu răspuns în timp. Meniul Advanced. Definierea tipului soluției-Modală tip Lanczos cu 10 frecvențe proprii de vibrație

În Fereastra de startare a Analizei dinamice directe cu răspuns în timp, Meniul Advanced din Fig.12.6 se face Alegerea Element Stress (Eforturilor unitare in elemente) , ca și rezultate in urma analizei dinamice. Se remarcă bifarea butonului „Element Stress”, pentru a putea fi afișate și eforturile unitare din cele 320 de seturi de valori

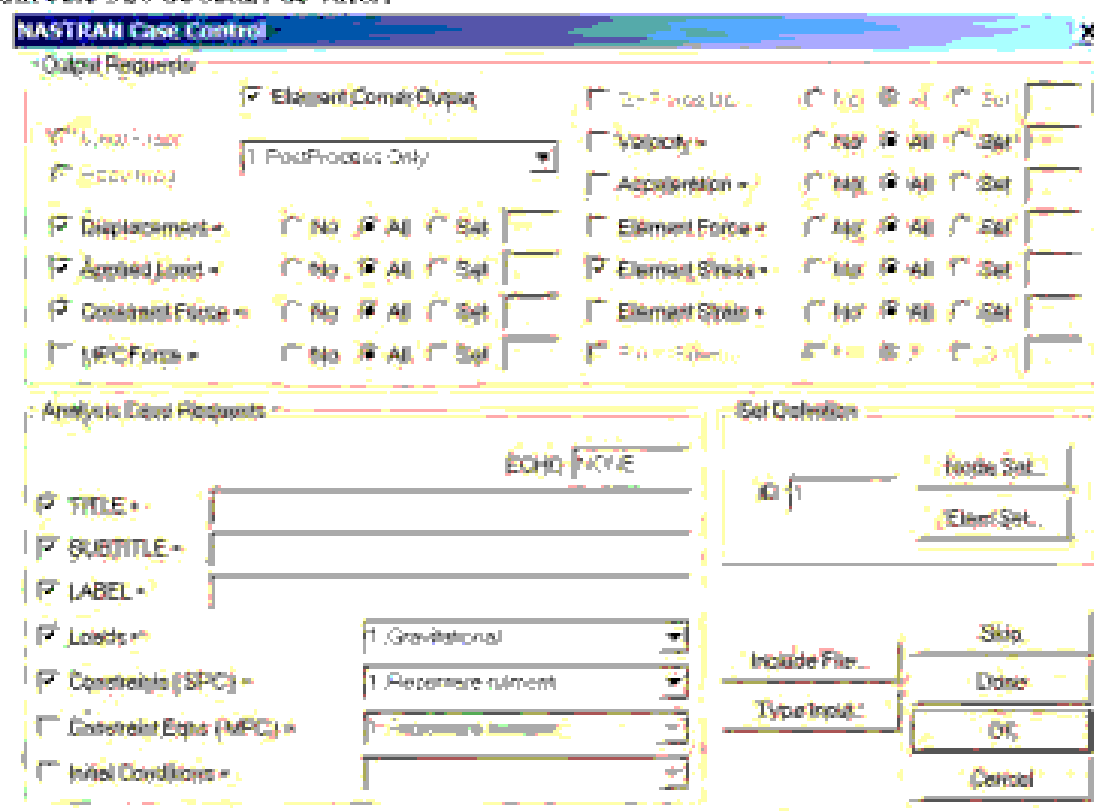


Fig.12.6. Fereastra de startare a Analizei dinamice directe cu răspuns în timp, Meniul Advanced Alegerea Element Stress (Eforturilor unitare in elemente) , ca și rezultate in urma analizei dinamice. Se remarcă bifarea butonului „Element Stress”, pentru a putea fi afișate și eforturile unitare din cele 320 de seturi de valori

În Tab.12.1.sunt prezentate Graficele și Planșele care au fost realizate în urma Analizei dinamice directe cu răspuns în timp a arborelui cotit

Tab.12.1. Graficele și Planșele care au fost realizate în urma Analizei dinamice directe cu răspuns în timp a arborelui cotit

Nr. Cri	Grafic sau Planșă	Descriere
1	12.7	Def=F(t) [mm]
2	12.8	Def [mm] la Tmax=0.147 sec, Set Valori=148, alfa=180°
3	12.9	Sigma Max Intindere=F(t) [MPa]
4	12.10	Sigma Max Intindere [MPa] la Tmax=0.188 Set Valori=189, alfa=130°
5	12.11	Sigma Max Compresiune=F(t) [MPa]
6	12.12	Sigma Max Compresiune [MPa] la Tmax=0.188 Set Valori=189, alfa=130°

Interpretarea rezultatelor analizei dinamice modale cu raspuns în timp pentru arborele cotit

Diferența față de analiza dinamică directă cu răspuns timp, este că la analiza dinamică modală cu răspuns în timp, amortizarea arborelui cotit va fi o funcție de frecvențele proprii ale sale, obținându-se astfel un răspuns dinamic mai corect decât la analiza dinamică directă cu răspuns în timp.

După efectuarea Analizei Dinamice Modale cu Răspuns în Timp a arborelui cotit, se studiază următoarele grafice de Deformații=F(t) și Eforturi_Unitare=F(t) , obținute:

A. Nodurile relevante unde apar deformațiile maxime la momentul de timp T_{max} de încărcare maximă pentru arborele cotit sunt nodurile maneton M1, M2 și M3 (Maneton M1=Nod.2481, Maneton M2=Nod.14, Maneton M3=Nod.3120).

Pentru aceste noduri relevante, unde apar deformațiile maxime, se studiază, după încheierea Analizei Dinamice Directe cu răspuns în Timp, Graficele Deformații = Funcție de timp, pentru depistarea momentului T_{max} de încărcare maximă. Se aplică comanda : (**View / Select_XY vs. Set Value / XY Data**) pentru nodurile reprezentative maneton M1, M2 și M3 (Maneton M1=Nod.2481, Maneton M2=Nod.14, Maneton M3=Nod.3120). (Fig.12.6)

Se obțin deplasările cele mai mari $D_{dinamic}=0.036$ mm la momentul de timp $T_{max}=0.147$ sec, Set_valori=148, alfa=180°, în Nodul 2481, Maneton M1,

În Fig.12.7 este prezentată Planșa cu curbele deplasărilor dinamice ale arborelui cotit funcție de timp. Deplasarea maxima este $D_{max}=0.036$ mm în Nodul 2481, Maneton M1 (curba culoare neagră), la momentul de timp $T_{max}=0.147$ sec, Set_valori=148, alfa=180°

În Fig.12.8. este prezentată Planșa cu deplasările dinamice ale arborelui cotit la momentul de încărcare maximă $T_{max}=0.147$ sec, Set_valori=148, alfa=180°, deplasarea maxima este $D_{max}=0.077$ mm pe nodurile discului excentric stânga $D=310$ mm, $g=30$ mm.

B. Elementele relevante în care apar eforturile unitare maxime la momentul de timp T_{max} de încărcare maximă a arborelui cotit sunt (Elemente Maneton M1=El.2225, El.2226, Elemente Maneton M2=El.1429, El.1430, Elemente Maneton M3=El.2966, El.2967 și elementul El.2228, capăt arbore stânga, $D=160$ mm, coaxial cu axa de rotație, cu rulment oscilant).

Pentru aceste elemente relevante, unde apar eforturile unitare maxime, se studiază, după încheierea Analizei Dinamice Directe cu răspuns în Timp, Graficele Eforturi Unitare (Eforturi unitare maxime de întindere pe fibra maxim întinsă, Sigma_Max_Intindere (Beam_End_A_Max_Comb_Stress) = Funcție de timp, pentru depistarea momentului T_{max} de încărcare maximă.

În Fig.12.9 este prezentată planșa cu Eforturi unitare maxime de întindere pe fibra maxim întinsă, Sigma_Max_Intindere (Beam_End_A_Max_Comb_Stress) = Funcție de timp, pentru depistarea momentului T_{max} de încărcare maximă, pentru (Elemente Maneton M1=El.2225, El.2226, Elemente Maneton M2=El.1429, El.1430 și Elemente Maneton M3=El.2966, El.2967 și elementul El.2228, capăt arbore stânga, $D=160$ mm, coaxial cu axa de rotație, cu rulment oscilant).

Se obțin cele mai mari Eforturi unitare maxime de întindere pe fibra maxim întinsă, Sigma_Max_Intindere (Beam_End_A_Max_Comb_Stress) =+50.3 MPa la momentul de timp $T_{max}=0.188$ sec, Set_valori=189, unghiul alfa=130°, în Elementul 2228 (El.2228, capăt arbore stânga, $D=160$ mm, coaxial cu axa de rotație, cu rulment oscilant, culoare maro curba eforturi unitare element 2228).

În Fig.12.10 este prezentată planșa cu Eforturi unitare maxime de întindere pe fibra maxim întinsă, Sigma_Max_Intindere (Beam_End_A_Max_Comb_Stress), la momentul de timp de încărcare maximă $T_{max}=0.188$ sec, Set_valori=189, unghiul alfa=130°.

Se obțin cele mai mari Eforturi unitare maxime de întindere pe fibra maxim întinsă, Sigma_Max_Intindere (Beam_End_A_Max_Comb_Stress) =+50.3 MPa la momentul de timp $T_{max}=0.188$ sec, Set_valori=189, unghiul alfa=130°, în Elementul 2228 (El.2228, capăt arbore stânga, $D=160$ mm, coaxial cu axa de rotație, cu rulment oscilant, culoare roșie Sigma_Max_Intindere).

Materialul arborelui cotit este 34CrNiMo6. SR ISO 1025-3, cu Limita de Curgere, Sigma_C=490 MPa și Limita de Rupere, Sigma_R=700 MPa.

Se obține un coeficient de siguranță calculat față de limita de curgere $Cc_i = \text{Limita_Curgere} / \text{Sigma_Max_Intindere} = 490 / 50.3 = 9.74$

Coeficientul de siguranță recomandat este $Cr=3$

$Cc_i > Cr$, deci arborele cotit rezistă la încărcările dinamice de întindere ale forțelor variabile în timp $T(t)$ și $N(t)$ pentru cele 3 manetoane, M1, M2 și M3.

C. Elementele relevante în care apar eforturile unitare maxime la momentul de timp T_{max} de încărcare maximă a arborelui cotit sunt (Elemente Maneton M1=El.2225, El.2226, Elemente Maneton

M2=El.1429, El.1430, Elemente Maneton M3=2966, 2967, și elementul El.2228, capăt arbore stânga, D=160mm, coaxial cu axa de rotație, cu rulment oscilant).

Pentru aceste elemente relevante, unde apar eforturile unitare maxime, se studiază, după încheierea Analizei Dinamice Directe cu răspuns în Timp, Graficele Eforturi Unitare (Eforturi unitare maxime de compresiune pe fibra maxim comprimată, $\text{Sigma_Max_Compresiune}$ = Funcție de timp, pentru depistarea momentului Tmax de încărcare maximă.

În Fig.12.11 este prezentată planșa cu Eforturi unitare maxime de compresiune pe fibra maxim comprimată, $\text{Sigma_Max_Compresiune}$ (Beam_End_A_Min_Comb_Stress) = Funcție de timp, pentru depistarea momentului Tmax de încărcare maximă, pentru (Elemente Maneton M1=El.2225, El.2226, Elemente Maneton M2=El.1429, El.1430, Elemente Maneton M3=El.2966, El.2967 și elementul El.2228, capăt arbore stânga, D=160mm, coaxial cu axa de rotație, cu rulment oscilant).

Se obțin cele mai mari Eforturi unitare maxime de compresiune pe fibra maxim comprimată, $\text{Sigma_Max_Compresiune}$ (Beam_End_A_Min_Comb_Stress) = -50.3 MPa la momentul de timp Tmax=0.188 sec, Set_valori=189, alfa=130°, în Elementul 2228, (El.2228, capăt arbore stânga, D=160mm, coaxial cu axa de rotație, cu rulment oscilant, culoare maro curba eforturi unitare element 2228).

În Fig.12.12 este prezentată planșa cu Eforturi unitare maxime de compresiune pe fibra maxim comprimată, $\text{Sigma_Max_Compresiune}$ (Beam_End_A_Min_Comb_Stress), la momentul de timp de încărcare maximă Tmax=0.188 sec, Set_valori= 189, alfa=130°.

Se obțin cele mai mari Eforturi unitare maxime de compresiune pe fibra maxim comprimată, $\text{Sigma_Max_Compresiune}$ (Beam_End_A_Min_Comb_Stress) = -50.3 MPa la momentul de timp Tmax=0.188 sec, Set_valori=189, alfa=130°, în Elementul 2228, (El.2228, capăt arbore stânga, D=160mm, coaxial cu axa de rotație, cu rulment oscilant, culoare magenta $\text{Sigma_Max_Compresiune}$).

Materialul arborelui cotit este 34CrNiMo6, SR ISO 10250-3, cu Limita de Curgere, Sigma_C =490 MPa și Limita de Rupere, Sigma_R =700 MPa.

Se obține un coeficient de siguranță la compresiune calculat față de limita de curgere $Cc_c = \text{Limita_Curgere} / \text{Sigma_Max_Compresiune} = 490 / 50.3 = 9.74$

Coeficientul de siguranță recomandat este Cr=3

$Cc_c > Cr$, deci arborele cotit rezistă la încărcările dinamice de compresiune ale forțelor variabile în timp T(t) și N(t) pentru cele 3 manetoane, M1, M2 și M3.

D. Concluzii la analiza dinamică modală cu răspuns în timp:

Se obțin cele mai mari Eforturi unitare maxime de întindere pe fibra maxim întinsă, $\text{Sigma_Max_Intindere}$ (Beam_End_A_Max_Comb_Stress) = +50.3 MPa la momentul de timp Tmax=0.188 sec, Set_valori=189, unghiul alfa=130°, în Elementul 2228 (El.2228, capăt arbore stânga, D=160mm, coaxial cu axa de rotație, cu rulment oscilant, culoare maro curba eforturi unitare element 2228).

Se obține un coeficient de siguranță la întindere calculat față de limita de curgere $Cc_i = \text{Limita_Curgere} / \text{Sigma_Max_Intindere} = 490 / 50.3 = 9.74$

Coeficientul de siguranță recomandat este Cr=3

- $Cc_i > Cr$, deci arborele cotit rezistă la încărcările dinamice de întindere ale forțelor variabile în timp T(t) și N(t) pentru cele 3 manetoane, M1, M2 și M3.

- Se obțin cele mai mari Eforturi unitare maxime de compresiune pe fibra maxim comprimată, $\text{Sigma_Max_Compresiune}$ (Beam_End_A_Min_Comb_Stress) = -50.3 MPa la momentul de timp Tmax=0.188 sec, Set_valori=189, alfa=130°, în Elementul 2228, (El.2228, capăt arbore stânga, D=160mm, coaxial cu axa de rotație, cu rulment oscilant, culoare maro curba eforturi unitare element 2228).

Se obține un coeficient de siguranță la compresiune calculat față de limita de curgere $Cc_c = \text{Limita_Curgere} / \text{Sigma_Max_Compresiune} = 490 / 50.3 = 9.74$

Coeficientul de siguranță recomandat este Cr=3

- $Cc_c > Cr$, deci arborele cotit rezistă la încărcările dinamice de compresiune ale forțelor variabile în timp T(t) și N(t) pentru cele 3 manetoane, M1, M2 și M3.

- Se confirmă previziunile teoretice ale analizei dinamice, se produce transferul dintre energia potențială a elementelor elastice a sistemului (caracterizate de moduri proprii și frecvențe proprii

de vibrație), cu energia cinetică a maselor în mișcare, rezultând o creștere semnificativ încărcărilor dinamice față de cele statice.

- Diferența față de analiza dinamică directă cu răspuns timp, este că la analiza dinamică modală cu răspuns în timp, amortizarea arborelui cotit va fi o funcție de frecvențele proprii ale sale, obținându-se astfel un răspuns dinamic mai corect decât la analiza dinamică directă cu răspuns în timp.

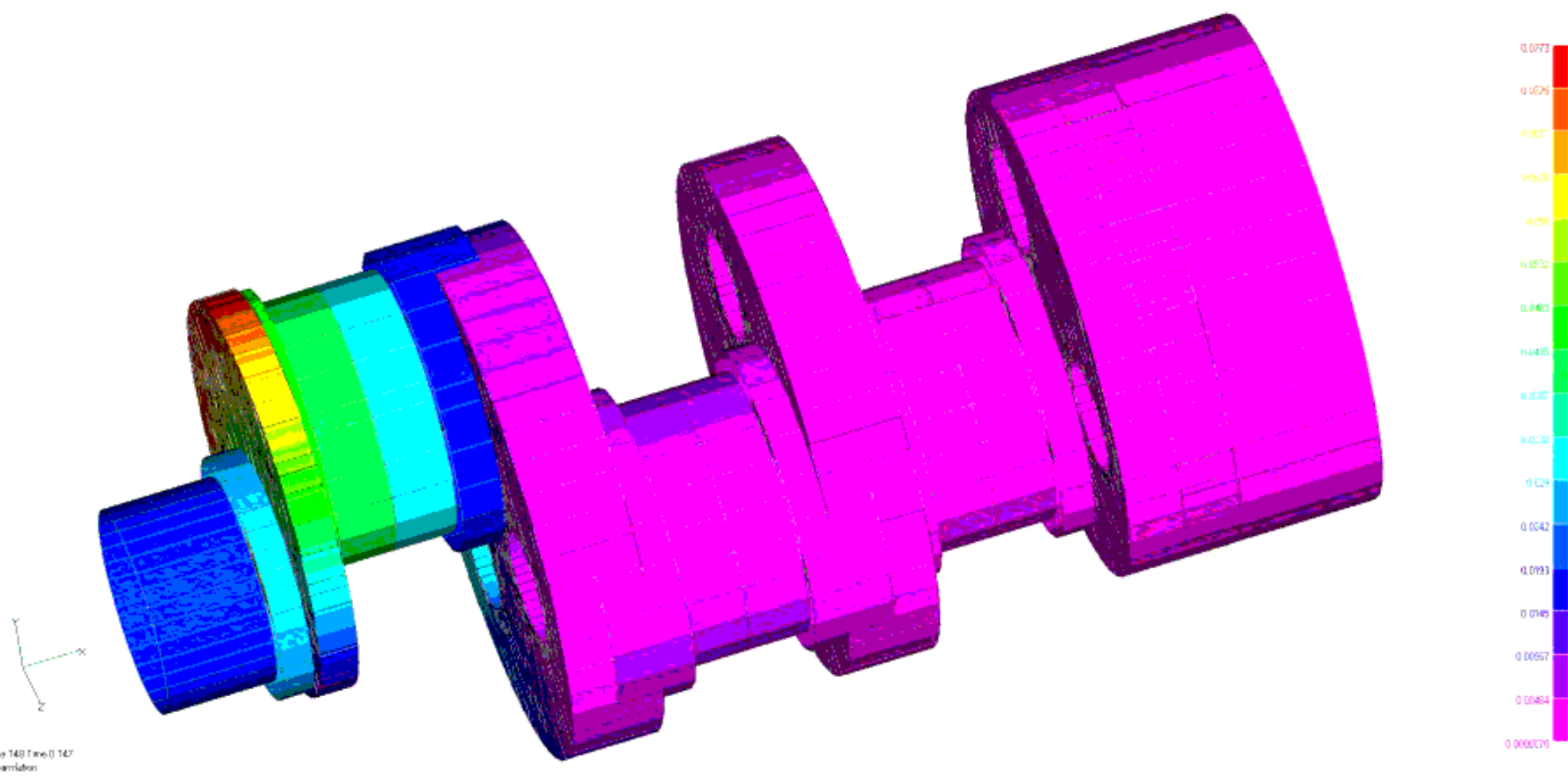
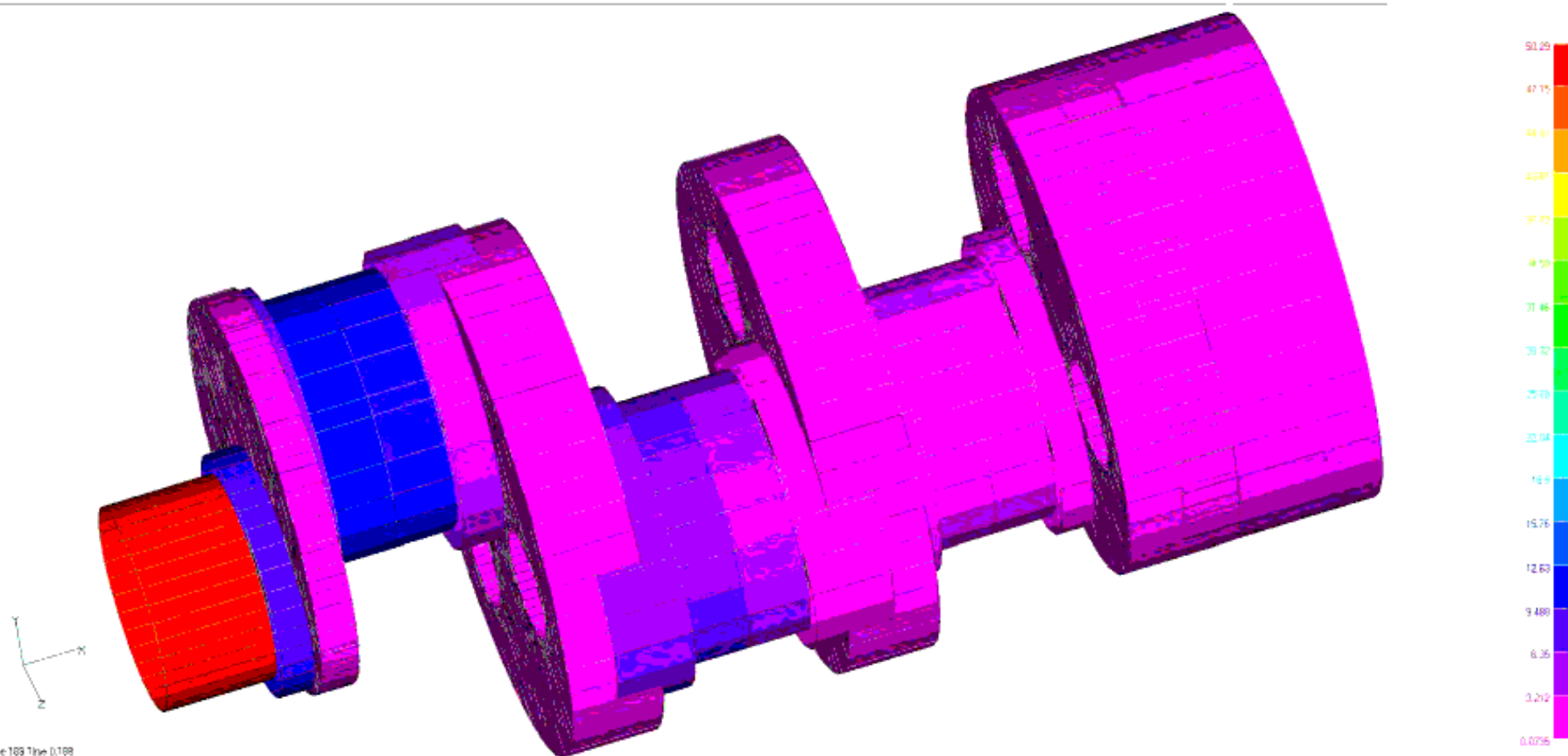


Fig. 12.8. Analiza Dinamică Modală cu Răspuns în Timp, Planșa cu deplasările dinamice ale arborelui cotit la momentul de încărcare maximă $T_{max}=0.147$ sec, Set_valori=148, alfa=180°, deplasarea maximă este $D_{max}=0.077$ mm pe nodurile discului excentric stânga $D=310$ mm, $g=30$ mm.



Output Sol. Case:189 Time:0.188
 Criteria: Beam End A Max Comb Stress

Fig.12.10. Analiza Dinamică Modală cu Răspuns în Timp, Planșa cu Eforturi unitare maxime de întindere pe fibra maxim întinsă, $\text{Sigma_Max_Intindere}$ ($\text{Beam_End_A_Max_Comb_Stress}$), la momentul de timp de încărcare maximă $T_{\text{max}}=0.188$ sec, $\text{Set_valori}=189$, unghiul $\alpha=130^\circ$. Se obțin cele mai mari Eforturi unitare maxime de întindere pe fibra maxim întinsă, $\text{Sigma_Max_Intindere}$ ($\text{Beam_End_A_Max_Comb_Stress}$) = +50.3 MPa la momentul de timp $T_{\text{max}}=0.188$ sec, $\text{Set_valori}=189$, unghiul $\alpha=130^\circ$, în Elementul 2228 (EL.2228, capăt arbore stânga, $D=160$ mm, coaxial cu axa de rotație, cu rulment oscilant, culoare roșie $\text{Sigma_Max_Intindere}$).

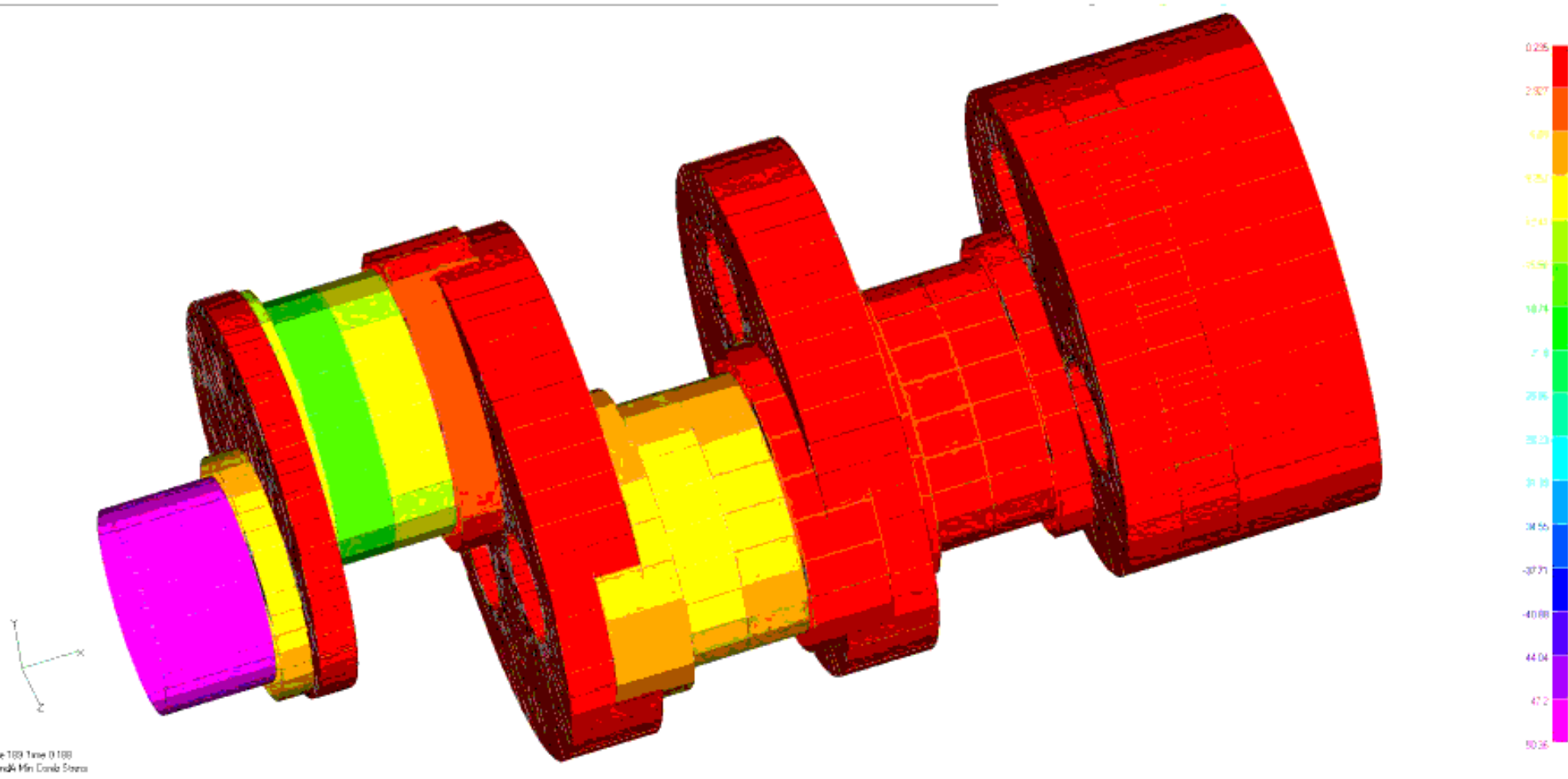


Fig.12.12. Analiza Dinamică Modală cu Răspuns în Timp, Planșa cu Eforturi unitare maxime de compresiune pe fibra maxim comprimată, $\text{Sigma_Max_Compresiune}$ ($\text{Beam_End_A_Min_Comb_Stress}$), la momentul de timp de încărcare maximă $T_{\text{max}}=0.188$ sec, $\text{Set_valori}=189$, $\text{alfa}=130^\circ$. Se obțin cele mai mari Eforturi unitare maxime de compresiune pe fibra maxim comprimată, $\text{Sigma_Max_Compresiune}$ ($\text{Beam_End_A_Min_Comb_Stress}$) = -50.3 MPa la momentul de timp $T_{\text{max}}=0.188$ sec, $\text{Set_valori}=189$, $\text{alfa}=130^\circ$, în Elementul 2228, (El.2228, capăt arbore stânga, $D=160\text{mm}$, coaxial cu axa de rotație, cu rulment oscilant, culoare magenta $\text{Sigma_Max_Compresiune}$)

IV.13. Realizarea Analizei dinamice directe cu răspuns în frecvență pentru arborele cotit

Spre deosebire de analiza dinamică cu răspuns în timp, intervalul de studiu este reprezentat de un interval incrementat de frecvențe, acoperitor față de frecvențele proprii ale sistemului. În urma analizei dinamice cu răspuns în frecvență, se identifică frecvențele periculoase de rezonanță pentru care perturbațiile asupra sistemului pot conduce la un răspuns dramatic cu amplitudine mărită a sistemului. În analiza dinamică în răspuns de frecvență, excitarea este explicit definită în domeniul de frecvență; toate forțele aplicate sunt cunoscute ca valoare la fiecare frecvență a forței.

În natură, forma cea mai normală și des întâlnită de încărcare oscilatorie este aceea de încărcare oscilatorie sinusoidală. În cea mai simplă formă, acest tip de încărcare este definit ca având o amplitudine cunoscută la o frecvență specifică. Răspunsul oscilatoriu stabil apare la aceeași frecvență ca și încărcarea. Răspunsul poate fi decalat însă în timp datorită amortizărilor sistemului; acest decalaj de răspuns este numit decalaj de fază, deoarece vârful de încărcare și vârful de răspuns nu apar la același moment de timp.

Două metode numerice diferite pot fi utilizate în Analiza Dinamică cu răspuns în frecvență :

- Analiza Dinamică Directă cu răspuns în Frecvență;
- Analiza Dinamică Modală cu răspuns în Frecvență.

Scopul analizei dinamice directe cu răspuns în frecvență în acest caz este acela să depistăm frecvențele periculoase de rezonanță unde poate apărea un răspuns dramatic amplificat obținut în urma perturbațiilor dinamice la arborele cotit. Aceste frecvențe de rezonanță se caută într-un interval de frecvențe de [1..3100 Hz], acoperitor față de frecvențele proprii ale arborelui cotit, interval care în cazul analizei directe este parcurs pas cu pas cu incrementul de frecvență $\Delta F=10$ Hz.

Mai întâi se face o Analiză Modală și se descoperă primele 10 frecvențe naturale și primele 10 moduri naturale de vibrație ale arborelui cotit. (Tab.13.1)

Tab 13.1. Frecvențele proprii și perioadele proprii de vibrație ale arborelui cotit

Nr.mod propriu vibrație	Frecvență proprie [Hz]	Perioadă Proprie [sec]	Tip vibrație	Figura nr.
1	660.1486	0.001515	Longitudinală	13.1
2	1621.493	0.000617	Transversală	13.2
3	1838.789	0.000544	Torsională	13.3
4	2187.819	0.000457		
5	2471.826	0.000405		
6	2508.144	0.000399		
7	2512.193	0.000398		
8	2695.011	0.000371		
9	2980.886	0.000335		
10	3038.83	0.000329		

Apoi se creează o funcție dependentă de frecvență pentru a o atașa răspunsului în frecvență ale forței perturbatoare T și N în punctele de maneton M1, M2 și M3 (Fig.13.1). Folosim meniul (Model/Function):

-Definim un titlu pentru funcție: (Title):.....7. Frecventa_variabila

-indicăm tipul funcției (Type):.....3..Vs.Frequency

-pentru submeniul (Data Entry:) ...alegem comanda...(Single Value) ; introducem:

X=0

Y=1

X=3100

Y=1 More OK

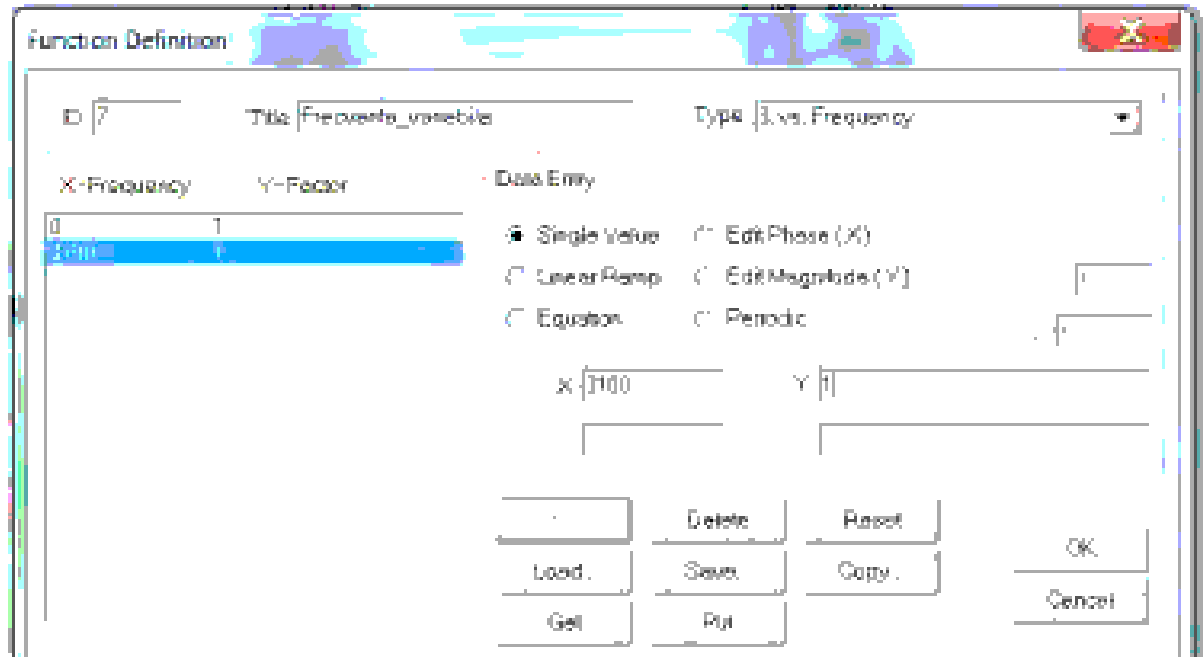


Fig.13.1.Fereastra de definire a funcției 7.Frecventa_variabila care va fi atașată răspunsului în frecvență ale forței perturbatoare T și N în punctele de maneton M1, M2 și M3

Realizăm a doua funcție pentru intervalul de soluție al frecvenței;

-Definim un titlu pentru funcție (Fig.13.2.): (Title):.....8. Solutia_frecventei

-indicăm tipul funcției (Type):.....3..Vs.Frequency

-pentru submeniul (Data Entry:) ...alegem comanda...(Linear Ramp) ; introducem:

incrementul de frecvență (Delta X=10 Hz)

X=0

Y=1

X=3100

Y=1 More OK

Cancel, astfel am terminat de definit cele 2 funcții

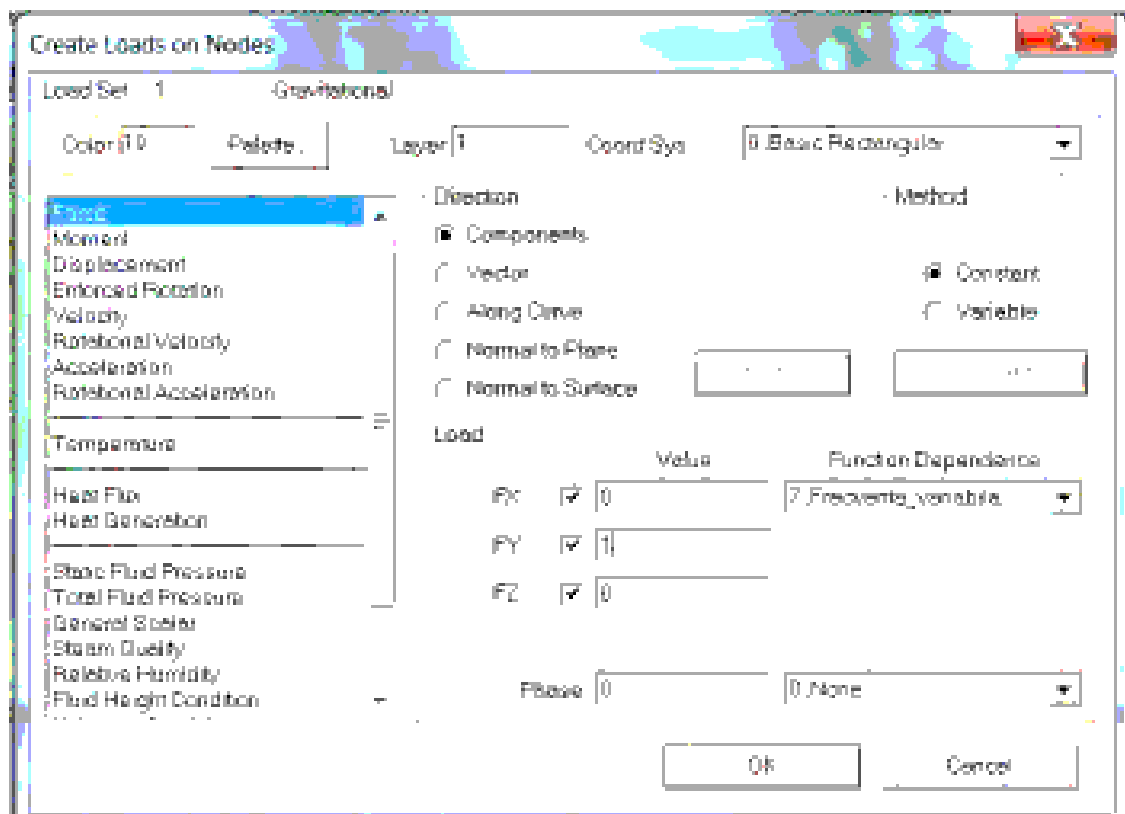


Fig.13.3 Fereastra de introducere a forței $T2=1$ pe nodul de maneton $M2$

$Fz = -1$ * (funcția de frecvență 7. Frecvență variabilă)

Se asociază Forței $Fz = -1$ în nodul de maneton $M2$, funcția de frecvență 7. Frecvență variabilă.

În Fig.13.4 este prezentată fereastra de introducere a forței $N2 = -1$ pe nodul de maneton $M2$.

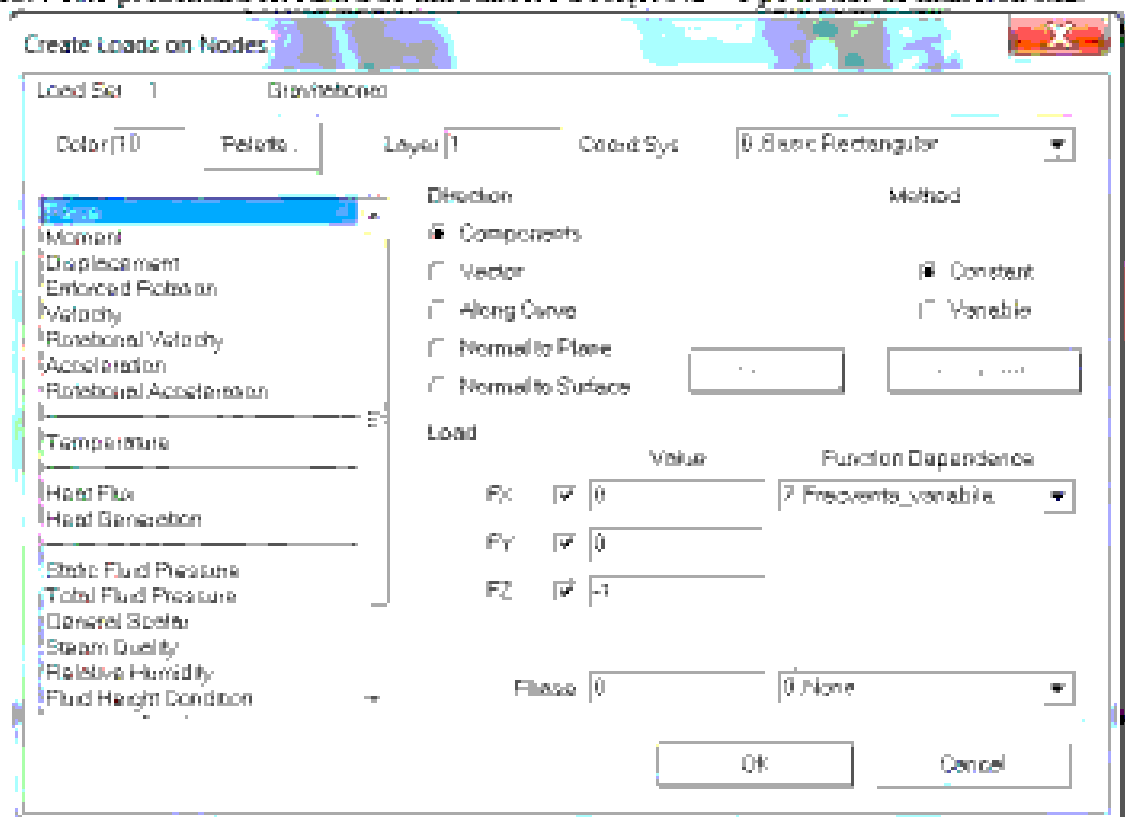


Fig.13.4. Fereastra de introducere a forțelor $N2 = -1$ pe nodul de maneton $M2$

b). Maneton $M3$, Sistem de coordonate $CS4$

Se introduc forțele în pct. $M3$:

$Fy = +1$ * (funcția de frecvență 7. Frecvență variabilă).

Se asociază Forței $Fy = +1$ în nodul de maneton $M3$, funcția de frecvență 7. Frecvență variabilă.

In Fig.13.5. este prezentată fereastra de introducere a forțelor N3=1 pe nodul de maneton M3.

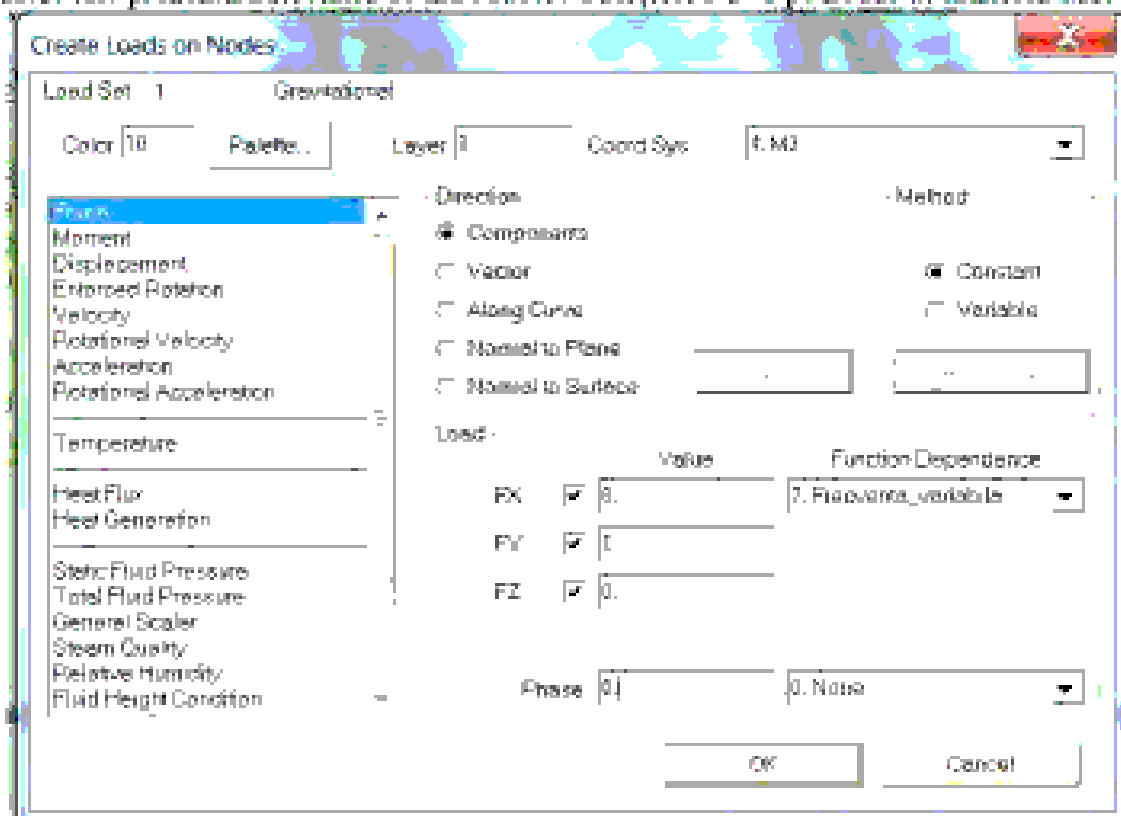


Fig.13.5. Fereastra de introducere a forțelor N3=1 pe nodul de maneton M3

$F_z=+1$ *(funcția de frecvență 7. Frecvență variabilă) .

Se asociază Forței $F_z=+1$ în nodul de maneton M3, funcția de frecvență 7. Frecvență variabilă.

In Fig.13.6. este prezentată fereastra de introducere a forțelor T3=1 pe nodul de maneton M3.

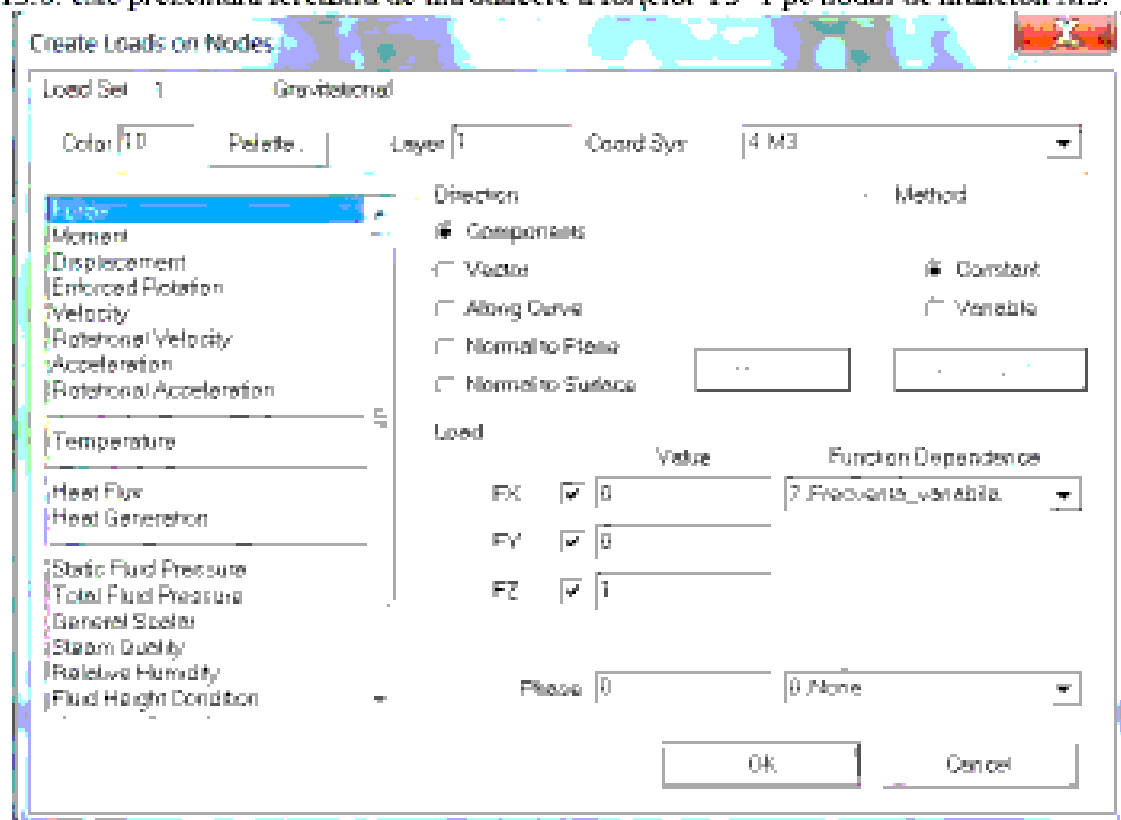


Fig.13.6. Fereastra de introducere a forțelor T3=1 pe nodul de maneton M3

c). Maneton M1 , Sistem de coordonate CS3

Se introduc forțele în pct. M1:

$F_y= +1$ * (funcția de frecvență 7. Frecvență variabilă).

În Fig.13.9 este prezentată introducerea grafică a forțelor $T=1$ și $N=1$, având atașate funcția de frecvență 7. Frecvență variabilă, pe cele 3 noduri de manetoane, M1, M2 și M3, vedere trimetrică.

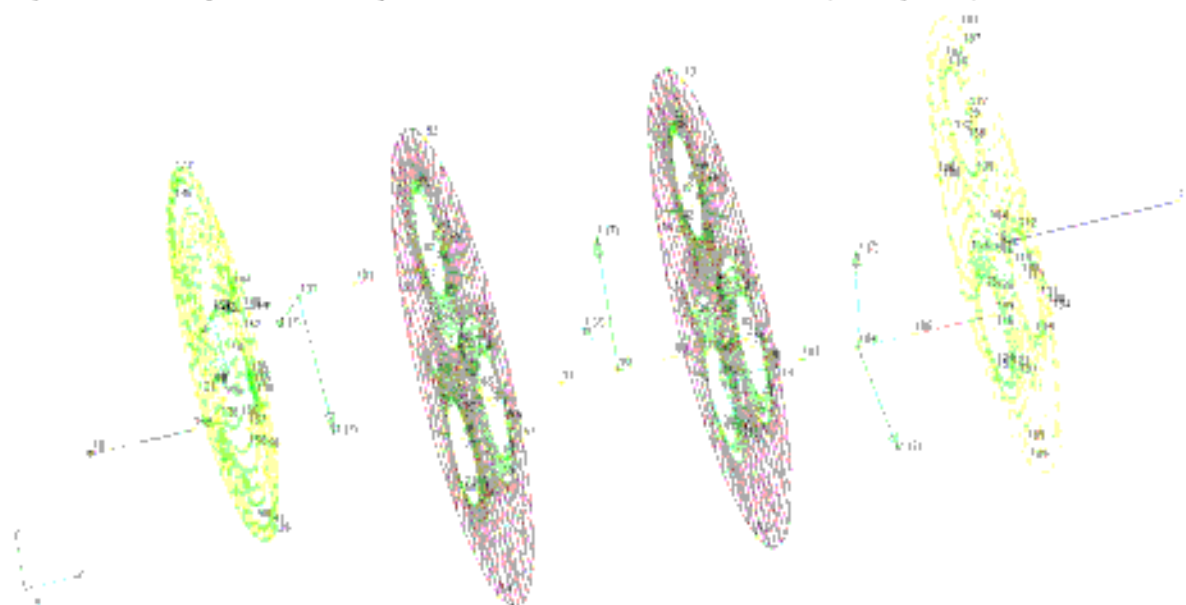


Fig. 13.9. Introducerea grafică a forțelor $T=1$ și $N=1$, având atașate funcția de frecvență 7. Frecvență variabilă, pe cele 3 noduri de manetoane, M1, M2 și M3, vedere trimetrică

În Fig.13.10. este prezentată introducerea grafică a forțelor $T=1$ și $N=1$, având atașate funcția de frecvență 7. Frecvență variabilă, pe cele 3 noduri de manetoane, M1, M2 și M3, vedere din lateral stg., dinspre rulmentul din capăt stg.

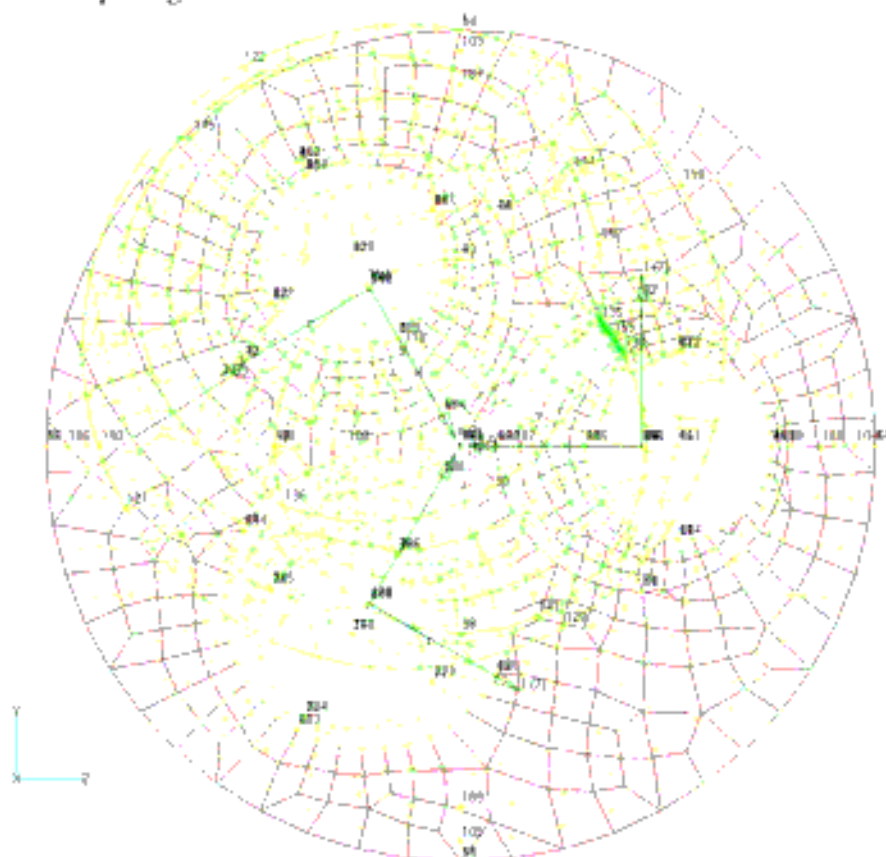


Fig. 13.10 Introducerea grafică a forțelor $T=1$ și $N=1$, având atașate funcția de frecvență 7. Frecvență variabilă, pe cele 3 noduri de manetoane, M1, M2 și M3, vedere din lateral stg., dinspre rulmentul din capăt stg.

Putem să începem acum rularea Analizei dinamice directe cu răspuns în frecvență. Denumirea de "răspuns în frecvență" a fost justificată la începutul capitolului; termenul "directă" înseamnă că se parcurge pas cu pas cu incrementul Delta $\alpha=10$ Hz stabilit anterior, intervalul de frecvență 0÷3100 Hz; incrementul de frecvență se mai notează și DF (D=direct F=frecvență), după cum incrementul de timp se nota DT (D=direct T=timp). În opoziție cu analiza "directă", după cum s-am mai arătat, există analiza "modală". Termenul "modal" arată că, neapărat, mai întâi se execută o analiză de moduri naturale, care vor fi utilizate apoi pentru realizarea analizei modale, cu răspuns în frecvență sau cu răspuns în timp.

Rularea Analizei dinamice directe cu răspuns în frecvență se face din meniul (File/Analyse) (Fig.13.13.). Alegem tipul analizei cu comanda (Type:)4..Frequency/Harmonic Response. Din submeniul (Advanced) (Fig.13.14) selectăm tipul analizei (Direct); acum putem să rulăm analiza.

După efectuarea analizei dinamice directe cu răspuns în frecvență putem să studiem graficul răspunsului deformațiilor funcție de frecvență în nodurile reprezentative maneton M1=2481, M2=14 și M3=3120. A fost parcurs intervalul de frecvențe de [0 .. 3100 Hz] cu incrementul de 10 Hz (310 pași de analiză)

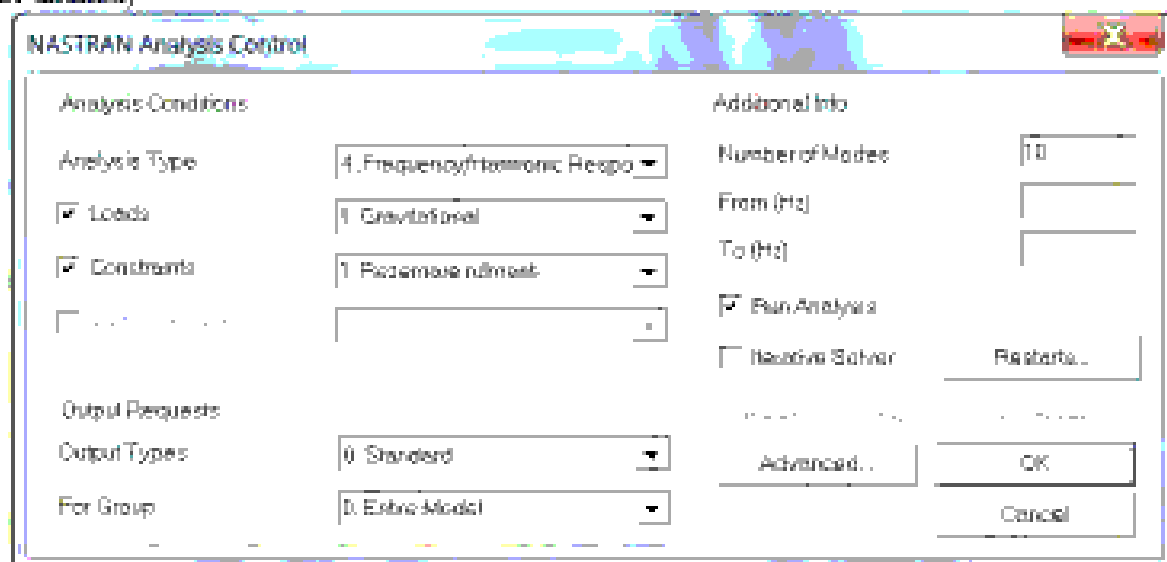


Fig.13.13. Fereastra principală de startare a analizei dinamice directe cu răspuns în frecvență

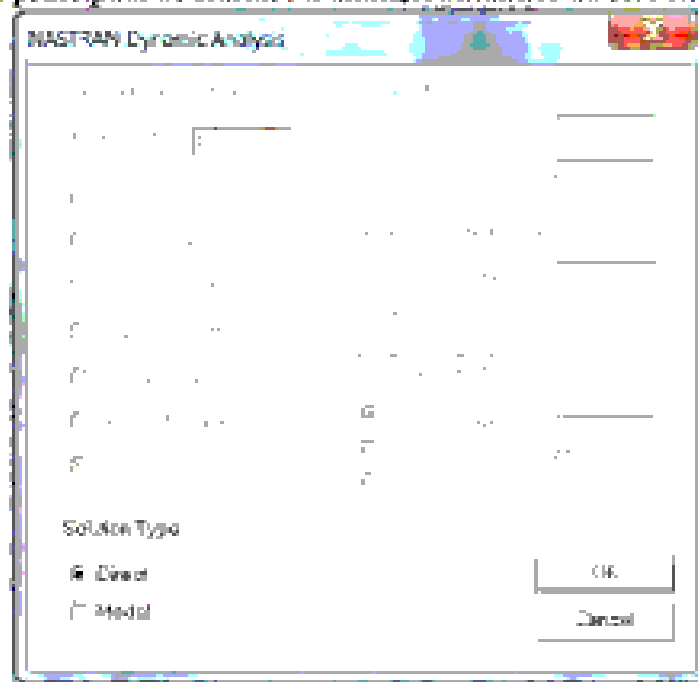


Fig.13.14. Fereastra „advanced” de startare a analizei dinamice directe cu răspuns în frecvență
Interpretarea rezultatelor analizei dinamice directe cu răspuns în frecvență, pentru arborcele cotii

IV.14. Realizarea Analizei Dinamice Modale cu răspuns în Frecvență pentru arborele cotit

Scopul analizei dinamice modale cu răspuns în frecvență este să depistăm frecvențele periculoase de rezonanță unde poate apărea un răspuns dramatic amplificat obținut în urma perturbațiilor dinamice la arborele cotit. La subcapitolul precedent s-a efectuat analiză directă cu în frecvență, s-a parcurs pas cu pas cu incrementul $\Delta F=10$ Hz, intervalul de frecvențe studiat $[0...3100$ Hz] pentru a descoperi frecvențele și implicit perioadele critice de rezonanță.

În cadrul analizei dinamice modale se execută mai întâi o analiză de moduri proprii și apoi se face o restartare a programului pentru a folosi frecvențele proprii în cadrul analizei dinamice modale cu răspuns în frecvență.

Diferența față de analiza dinamică directă în cu răspuns în frecvență este că la analiza dinamică modală cu răspuns în frecvență nu se mai definește intervalul de frecvențe de studiat pe care îl baleiem pas cu pas cu un increment de frecvență; la analiza modală cu răspuns în frecvență, intervalul de studiu se creează singur pe baza frecvențelor proprii; față de frecvențele proprii pivot se formează câte o bandă de frecvență stânga-dreapta de intrare față de care se studiază rezonanța răspunsului. Avem de a face astfel cu o analiză mult mai eficientă, deoarece nu o se caută frecvențele periculoase de rezonanță decât în jurul frecvențelor proprii ale structurii studiate, față de care o să se producă rezonanța.

Mai întâi se execută o analiză de moduri proprii cu restartare. Se selectează meniul (**File/Analyze**) și selectăm pentru tipul analizei... **2..Normal Modes/Eigenvalues**. Se alege pentru comanda (**Number of Modes**) primele 10 moduri naturale ale structurii. Se selectează butonul (**Restarts**) și (**Save Databases for Restart**). Se face analiza de moduri naturale, după analiză se creează un fișier *file.MASTER (DATA/arbore000.MASTER)*, în directorul de lucru care conține baza de date de frecvențe proprii, care va fi folosită mai târziu la crearea intervalului de frecvențe de cercetat.

Se formează forța dependentă de frecvență pe care o aplicăm în nodurile critice. Se folosește aceeași funcție **7. Frecvența variabilă** (cuplele de valori în frecvență ($x=0, y=1; x=230; y=1$) care se atașează amplitudinilor unitare $T=1$ și $N=1$ de pe punctele de manetoane $M1, M2$ și $M3$

Se creează Funcția dependentă de frecvență pentru a o atașa răspunsului în frecvență ale forței perturbatoare T și N în punctele de maneton $M1, M2$ și $M3$ (Fig.14.1). Folosim meniul (**Model/Function**):

-Definim un titlu pentru funcție: (**Title:**).... **7. Frecvența variabilă**

-indicăm tipul funcției (**Type:**)..... **3..Vs.Frequency**

-pentru submeniul (**Data Entry:**) ... alegem comanda... (**Single Value**) ; introducem:

$X=0$

$Y=1$

$X=3100$

$Y=1$ **More OK**



Fig.14.1. Fereastra de definire a funcției **7.Frecvența variabilă** care va fi atașată răspunsului în frecvență ale forței perturbatoare T și N în punctele de maneton $M1, M2$ și $M3$

Definim acum forțele perturbatoare pentru Analiza dinamică directă cu răspuns în frecvență. Forțele perturbatoare sunt forțele unitare=1 puse în locul forțelor T și N de pe manetoanele $M1, M2$ și

M3, cărora li se atașează funcția de frecvență 7. Frecvență variabilă (se utilizează comanda Function Dependence) din fereastra de definire a forțelor (Fig. 14.2+14.7)

În Tab. 14.1. Sunt prezentate numerotarea nodurilor de pe manetoanele M1, M2 și M3, unde se introduce forțele unitare pentru analiza dinamică directă cu răspuns în frecvență

Tab. 14.1. Numerotarea nodurilor de pe manetoanele M1, M2 și M3, unde se introduce forțele unitare pentru analiza dinamică directă cu răspuns în frecvență

Nr. Cri.	Maneton	Nodurile de pe Manetoanele M1, M2 și M3
1	M1	2481
2	M2	14
3	M3	3120

În continuare se vor introduce forțele T=1 și N=1 pe nodurile manetoanelor M1, M2 și M3 ale arborelui cotit, pentru analiza dinamică directă cu răspuns în frecvență.

a). Maneton M2 (referință) , Sistem de coordonate CS0

Se introduc forțele în nodul M2:

Fy=+1 * (funcția de frecvență 7. Frecvență variabilă)

Se asociază Forței Fy=+1 în nodul de maneton M2, funcția de frecvență 7. Frecvență variabilă.

În Fig.14.2 este prezentată fereastra de introducere a forței T2=1 pe nodul de maneton M2.

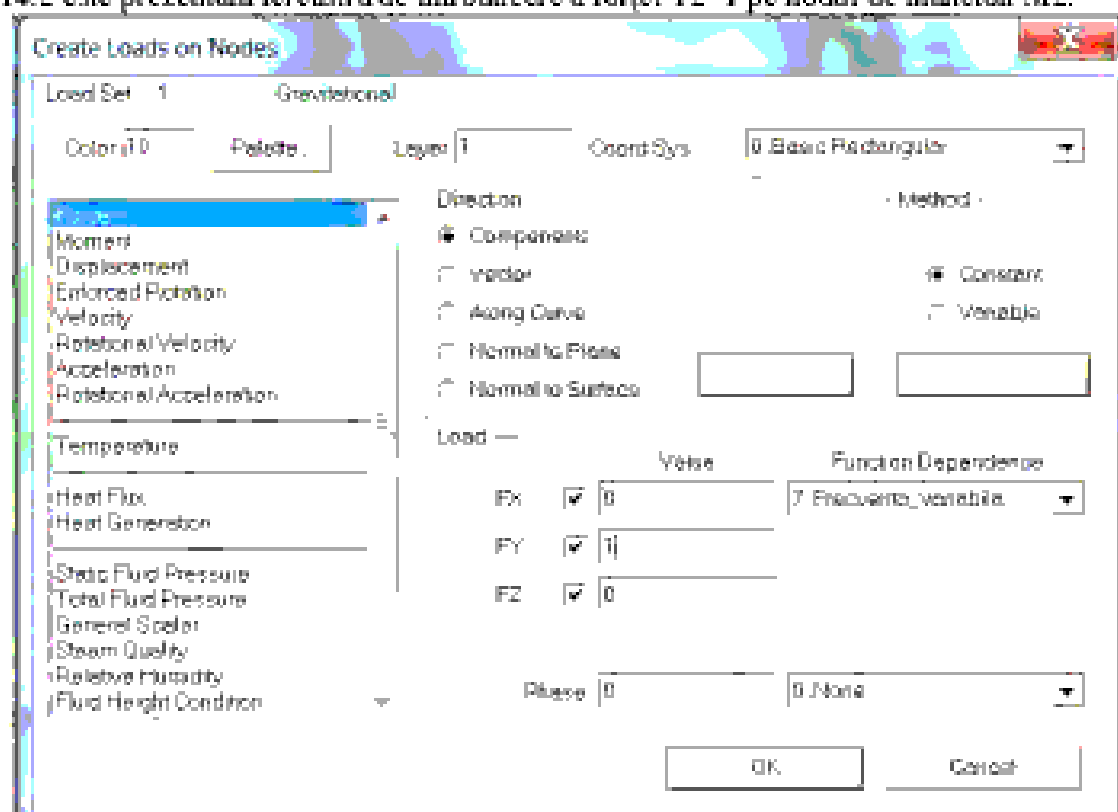


Fig.14.2. Fereastra de introducere a forței T2=1 pe nodul de maneton M2

Fz= -1 * (funcția de frecvență 7. Frecvență variabilă)

Se asociază Forței Fz=-1 în nodul de maneton M2, funcția de frecvență 7. Frecvență variabilă.

În Fig.14.3 este prezentată fereastra de introducere a forței N2=-1 pe nodul de maneton M2.

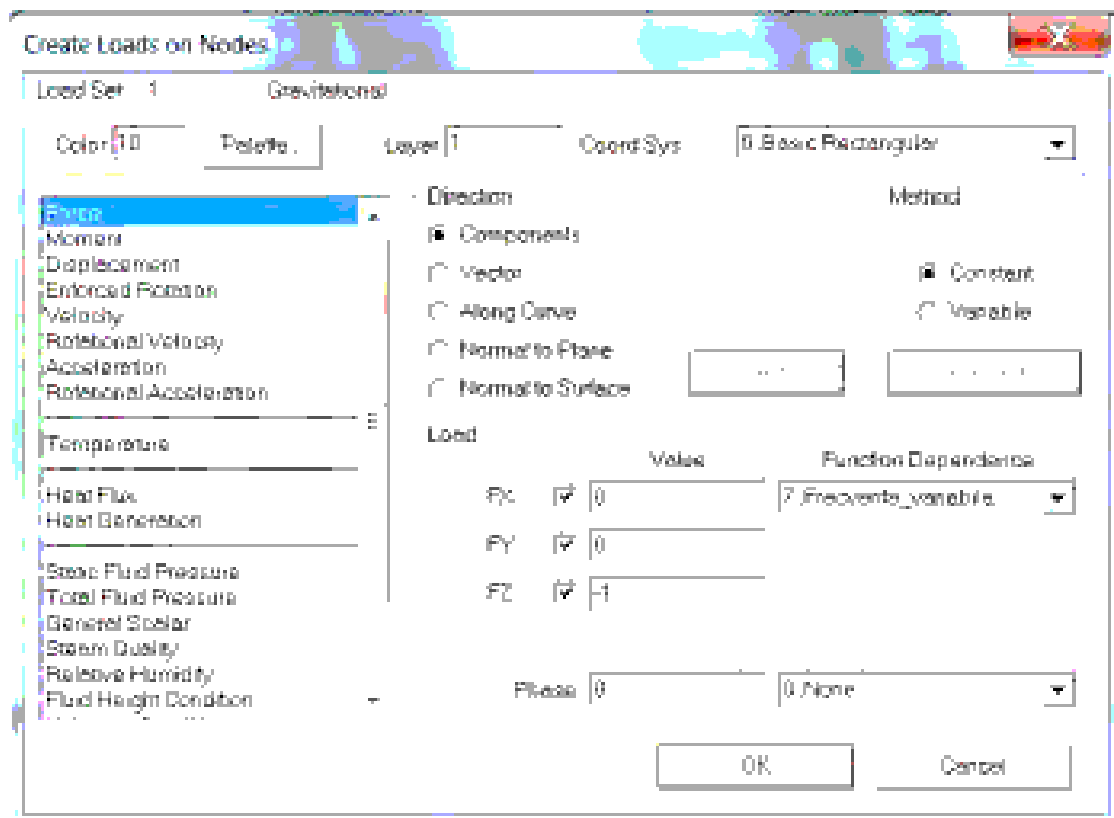


Fig.14.3. Fereastra de introducere a forțelor N2=1 pe nodul de maneton M2

b). Maneton M3 , Sistem de coordonate CS4

Se introduc forțele în pct. M3:

Fy= +1 *(funcția de frecvență 7, Frecvență variabilă).

Se asociază Forței Fy=+1 în nodul de maneton M3, funcția de frecvență 7, Frecvență variabilă.

În Fig.14.4, este prezentată fereastra de introducere a forțelor N3=1 pe nodul de maneton M3.

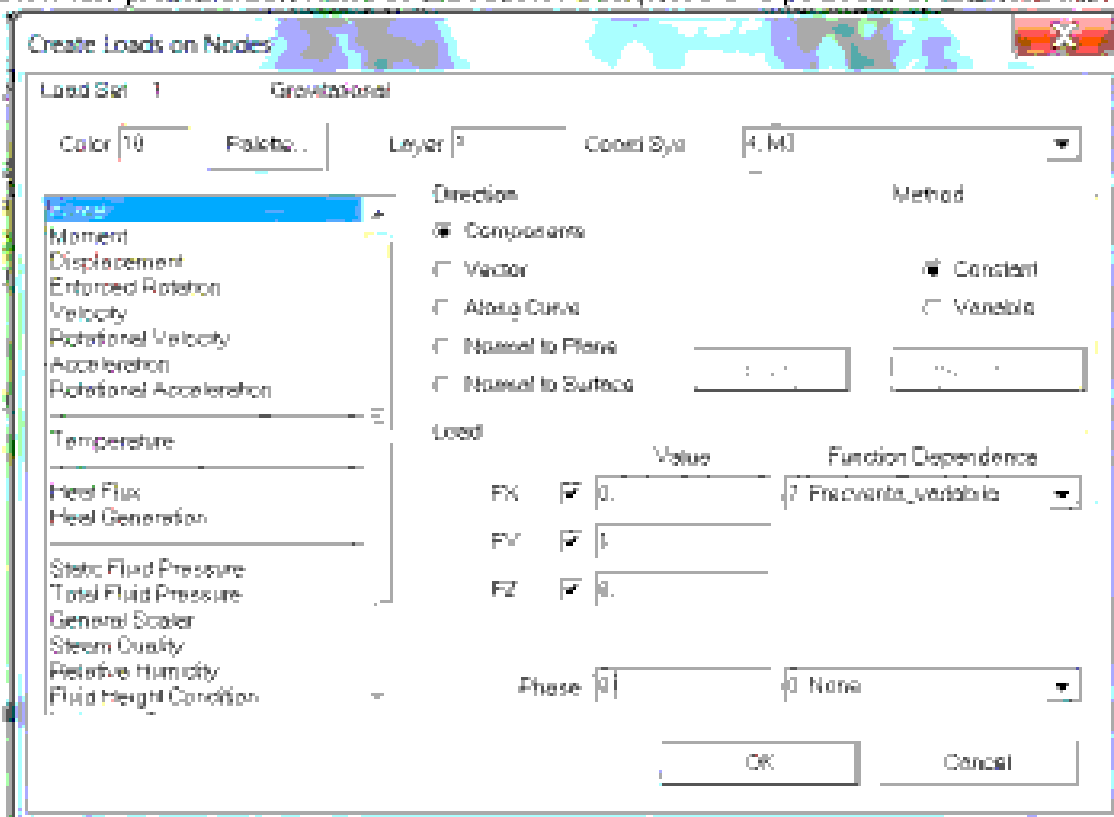


Fig.14.4.Fereastra de introducere a forțelor N3=1 pe nodul de maneton M3

Fz=+1 *(funcția de frecvență 7, Frecvență variabilă).

Se asociază Forței Fz=+1 în nodul de maneton M3, funcția de frecvență 7, Frecvență variabilă.

Se asociază Forței $Fz=1$ în nodul de maneton M1, funcția de frecvență 7. Frecvență variabilă. În Fig.14.7. este prezentată fereastra de introducere a forțelor $T1=1$ pe nodul de maneton M1.

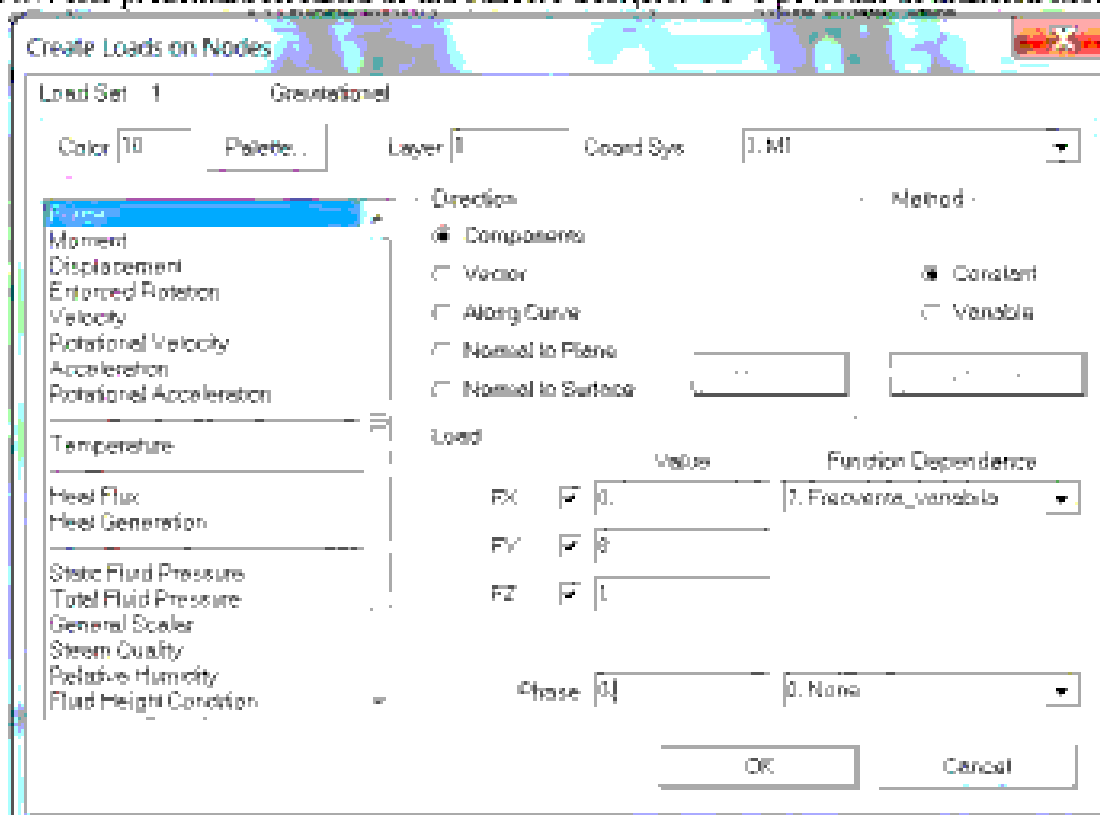


Fig.14.7. Fereastra de introducere a forțelor $T1=1$ pe nodul de maneton M1

În Fig.14.8. este prezentată introducerea grafică a forțelor $T=1$ și $N=1$, având atașate funcția de frecvență 7. Frecvență variabilă, pe cele 3 noduri de manetoane, M1, M2 și M3, vedere trimetrică.

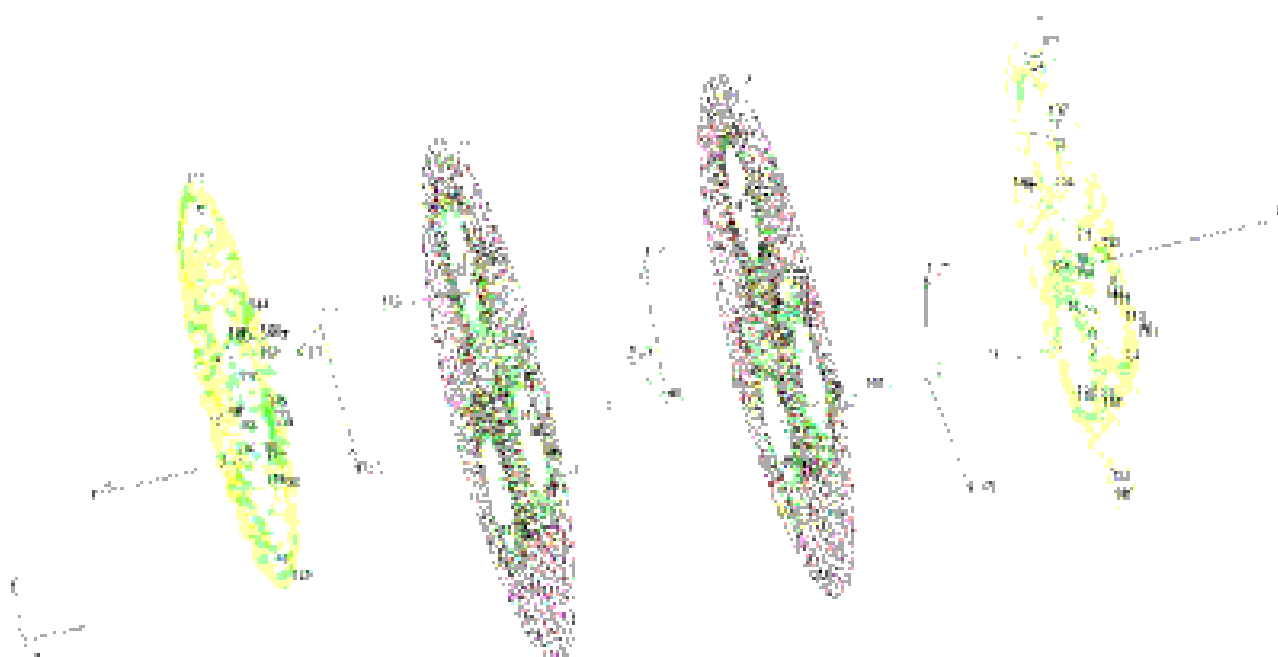


Fig.14.8. Introducerea grafică a forțelor $T=1$ și $N=1$, având atașate funcția de frecvență 7. Frecvență variabilă, pe cele 3 noduri de manetoane, M1, M2 și M3, vedere trimetrică

În Fig.14.9. este prezentată introducerea grafică a forțelor $T=1$ și $N=1$, având atașate funcția de frecvență 7. Frecvență variabilă, pe cele 3 noduri de manetoane, M1, M2 și M3, vedere din lateral stg., dinspre rulmentul din capăt stg.

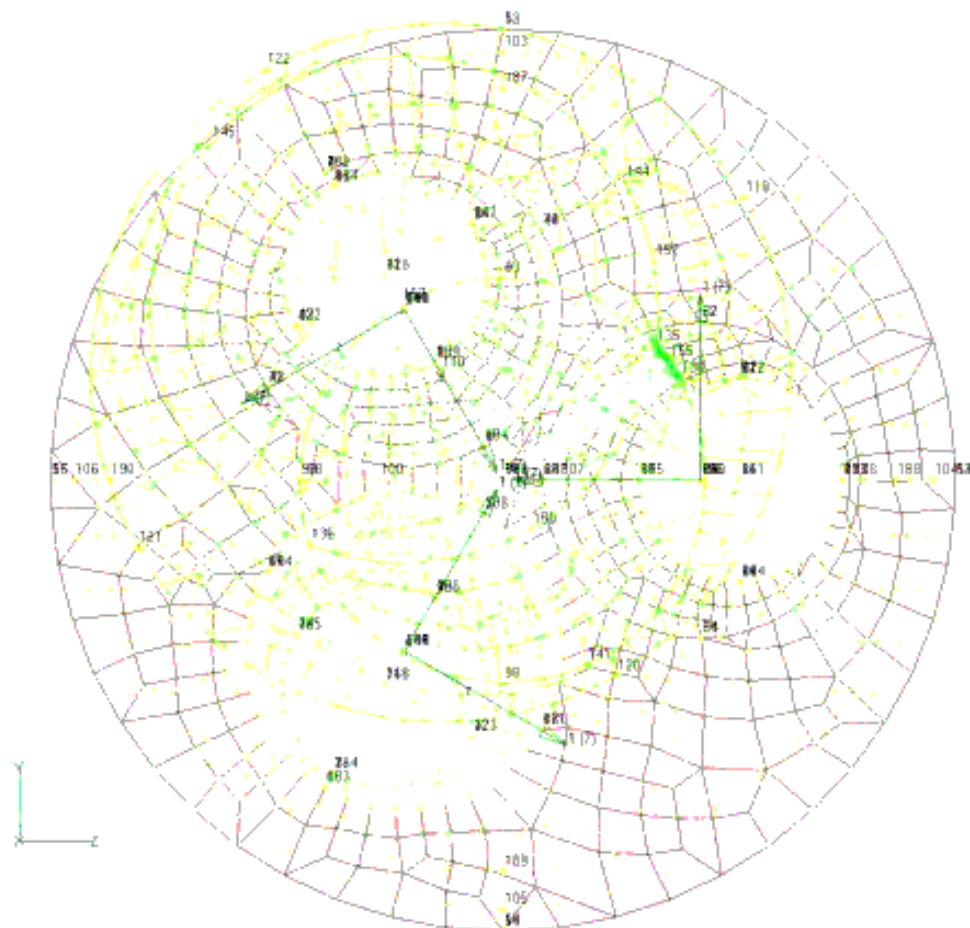


Fig.14.9. Introducerea grafică a forțelor $T=1$ și $N=1$, având atașate funcția de frecvență 7. Frecvență variabilă, pe cele 3 noduri de manetoane, M1, M2 și M3, vedere din lateral stg., dinspre rufamentul din capăt stg.

Pentru definirea amortizării funcție de frecvențe se folosește aceeași funcție 9. **Amortizare Modală** (este definită valoarea amortizării critice $5\% = 0,05$ definită pe intervalul $[0 \dots 3100 \text{ Hz}]$, acoperitor față de frecvențele proprii ale structurii). Se definește o amortizare critica $a=0,05$ constantă pe tot intervalul de frecvențe proprii, dar folosind datele din literatura de specialitate, valoare amortizării globale se poate introduce cu valori diferite în funcție de frecvențele proprii ale structurii.

Diferența față de Analiza Directă Tranzientă, este că, la Analiza Modală Tranzientă se mai creează o funcție suplimentară depinzând de frecvență (în intervale de frecvență apropiate frecvențelor proprii naturale), care se va atașa amortizării structurii arborelui cotit.

Se formează funcția 9. **Amortizare Modală** prin căsuța de dialog (**Model/Function**) (Fig.14.10.) Funcția are nr.9; denumim funcția "9. Amortizare Modală". Selectăm tipul funcției (**7..Critical damping versus Frequency**)

La comanda (**Data Entry**) selectăm (**Single Value**) și introducem setul de valori:

X=0 Y=0.05 (valoarea amortizării critice)

More

X=3100 Hz Y=0.05 More OK

Am ales intervalul de frecvența $x [0 \dots 3100 \text{ Hz}]$ ptr. ca să fie acoperitor față de intervalul primelor 10 frecvențe naturale proprii ale arborelui cotit.

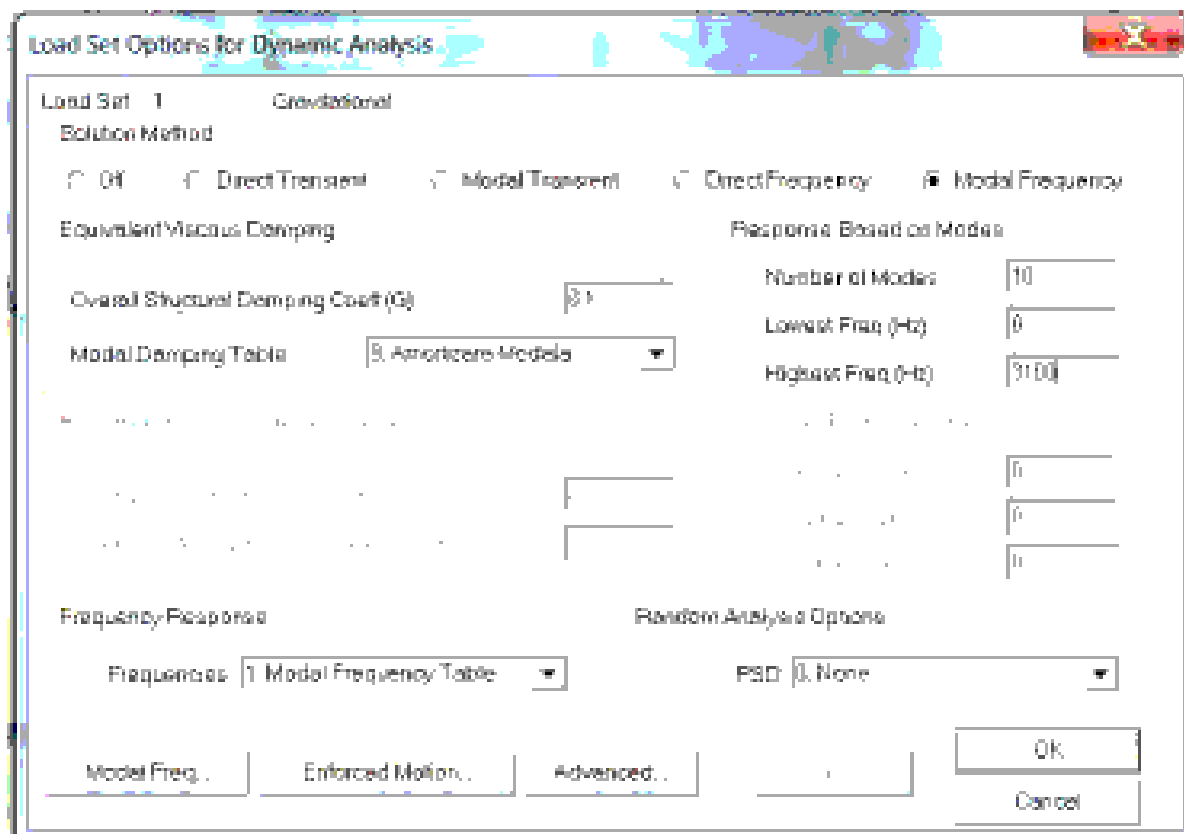


Fig.14.11. Fereastra de definiere a parametrilor analizei dinamice modale cu răspuns în frecvență

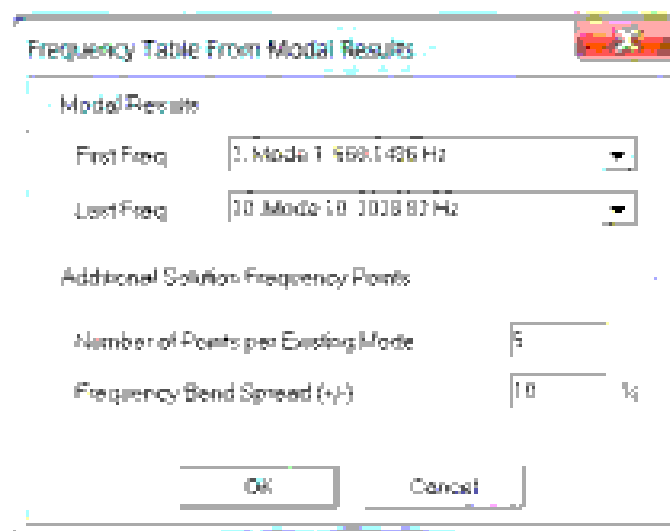


Fig.14.12. Fereastra de definiere pentru Modal Frequency Table

Tablelul cu funcția de frecvență modală (**Modal Frequency Table**) poate fi vizualizat sub formă de grafic "Modal Frequency Table" (vezi Fig. 14.16) și sunt relevante numai valorile de pe axa x (frecvențele de studiu din jurul frecvențelor pivot proprii); valorile de pe Y oferă decât niște indicații vizuale asupra situației frecvențelor care ne interesează în cadrul intervalului de calcul.

Cu aceste date de intrare introduse, se poate rula acum analiza dinamică modală cu răspuns în frecvență. Se selectează meniul (**File/Analyze**) (Fig. 14.13) și se indică tipul analizei (**4.Frequency /Harmonic response**), se introduce **Number of modes=10**, și se selectează butonul **Restart** și comanda **Restart Previous Analysis**. Se va încărca fișierul *file.MASTER* cu baza de date salvată din timpul analizei modale. Se dă **OK** și analiza modală în frecvență va fi executată. Se intră în submeniul **Advanced**, se selectează **Modal, Nr.Eigenvalues=10** (Fig. 15.14), **OK**.

În Fig.14.14.a. este prezentat Meniul de Restartare a Analizei dinamice modale cu răspuns în frecvență.

În Fig. 14.14.b. este prezentată Fereastra de selectare a fișierului „arbor001.MASTER” pentru Restartarea analizei dinamice modale cu răspuns în frecvență.

Fig.14.15. este prezentat Meniul Advanced din fereastra de startare a analizei dinamice modale cu răspuns în frecvență.

După efectuarea analizei dinamice directe cu răspuns în frecvență putem să studiem graficul răspunsului deformațiilor funcție de frecvență în nodurile reprezentative maneton M1=2481, M2=14 și M3=3120. Diferența față de analiza dinamică directă în cu răspuns în frecvență este că la analiza dinamică modală cu răspuns în frecvență nu se mai definește intervalul de frecvențe de studiat pe care îl baleiam pas cu pas cu un increment de frecvență; la analiza modală cu răspuns în frecvență, intervalul de studiu se creează singur pe baza frecvențelor proprii; față de frecvențele proprii pivot se formează câte o bandă de frecvență stânga-dreapta de intrare față de care se studiază rezonanța răspunsului. Avem de a face astfel cu o analiză mult mai eficientă, deoarece nu o se caută frecvențele periculoase de rezonanță decât în jurul frecvențelor proprii ale structurii studiate, față de care o să se producă rezonanța.

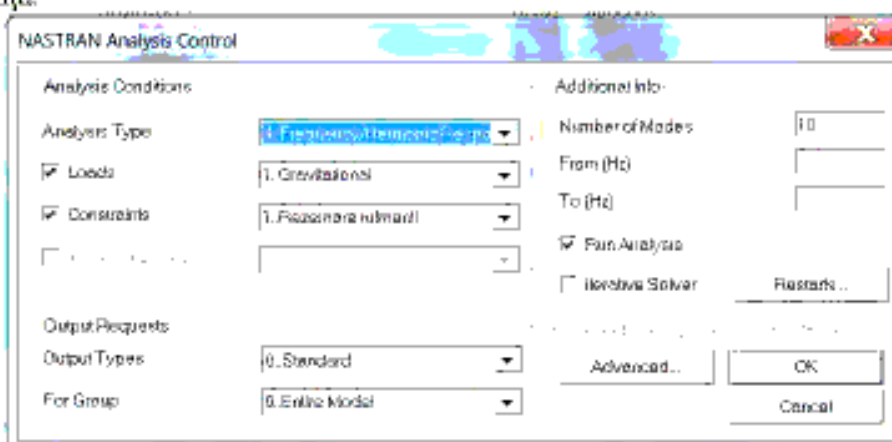


Fig.14.14. Fereastra de principală de startare a analizei dinamice modale cu răspuns în frecvență

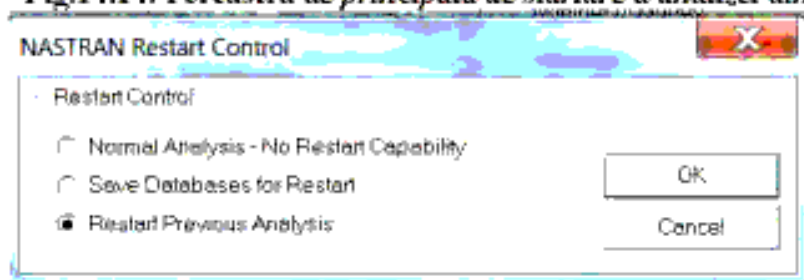


Fig.14.14.a. Meniul de Restartare a Analizei dinamice modale cu răspuns în frecvență

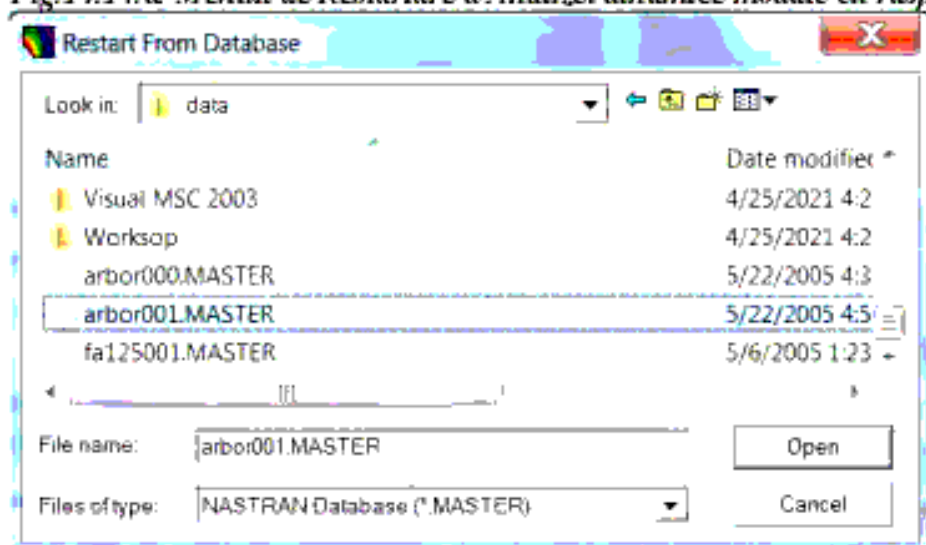


Fig.14.14.b. Fereastra de selectare a fișierului „arbor001.MASTER” pentru Restartarea analizei dinamice modale cu răspuns în frecvență

Roirea arborelui cotit cu turația de presiune maximă $N=204$ RPM, cu frecvența perturbatoare de rotație $F_p=3.4$ Hz și perioada perturbatoare de rotație $T_p=0.294$ sec, NU prezintă pericol de rezonanță, deoarece turația de rotație perturbatoare $F_p=3.4$ Hz este diferită de frecvențele de rezonanță $Fr_1=1840$ Hz și $Fr_2=2980$ Hz, depistate, iar perioada de rotație perturbatoare $T_p=0.294$ sec este diferită perioadele de rezonanță $Tr_1=0.00054$ sec și $Tr_2=0.00034$ sec, depistate.

IV.15. Concluzii finale pentru analiza dinamică cu element finit a arborelui cotit

IV.15.1. Analiza Dinamică Directă cu Răspuns în Timp pentru Arborele Cotit

La analiza dinamică cu element finit directă cu răspuns în timp efectul perturbator dinamic de intrare pentru arborele cotit este constituit din cele 3 seturi de forțe tangențiale $T(t)$ și normale $N(t)$, variabile în timp, în intervalul de o perioadă $T=0.294$ sec de rotație a arborelui cotit, în punctele M de pe manetoanele arborelui cotit și anume $M2[T2(t);N2(t)]$, $M3[T3(t);N3(t)]$ și $M1[T1(t);N1(t)]$, manetonul M2 fiind considerat de referință, rotindu-se din cadranul 1 trigonometric, de pe axa OX în jos, în sensul ceasului, cu un pas de calcul $\alpha=10$ grade, și anume la 360grd, 350grd, 340grd, 330grd...40grd, 30grd, 20grd, 10grd, 0grd. Celelalte manetoane M3 și M1, se rotesc decalat față de M2, decalajul fiind de 120° pentru fiecare.

Intervalul de timp total al analizei dinamice $DRC=0.32$ sec (Durata Răspunsului Calculat), acoperitor față de perioada perturbatoare $T=0.294$ sec, va fi parcurs pas cu pas, cu nr. de pași ai analizei $STEP=320$, cu incrementul de timp al unui pas $DT=0.001$ sec.

Prin variația pas cu pas a acestor seturi M1, M2 și M3 de valori de forțe tangențiale $T(t)$ și normale $N(t)$ variabile din timp, cu incrementul de timp $DT=0.001$ sec, în cadrul analizei dinamice directe cu răspuns în timp se vor efectua $STEP=320$ de pași ai analizei dinamice, în intervalul de timp total al analizei dinamice $DRC=0.32$ sec (Durata Răspunsului Calculat) și se vor efectua efectiv în total 320 de analize statice ale arborelui cotit, pentru a se determina momentul de timp t_{max} din cadrul analizei dinamice directe cu răspuns în timp în care încărcarea arborelui cotit este maximă.

Interpretarea rezultatelor analizei dinamice directe cu răspuns în timp pentru arborele cotit

După efectuarea Analizei Dinamice Directe cu Răspuns în Timp a arborelui cotit, se studiază următoarele grafice de Deformații= $F(t)$ și Eforturi_Unitare= $F(t)$, obținute:

A.Nodurile relevante unde apar deformațiile maxime la momentul de timp T_{max} de încărcare maximă pentru arborele cotit sunt nodurile maneton M1, M2 și M3 (Maneton M1=Nod.2481, Maneton M2=Nod.14, Maneton M3=Nod.3120).

Pentru aceste noduri relevante, unde apar deformațiile maxime, se studiază, după încheierea Analizei Dinamice Directe cu răspuns în Timp, Graficele Deformații = Funcție de timp, pentru depistarea momentului T_{max} de încărcare maximă. Se aplică comanda : (View / Select_XY vs. Set Value / XY Data) pentru nodurile reprezentative maneton M1, M2 și M3 (Maneton M1=Nod.2481, Maneton M2=Nod.14, Maneton M3=Nod.3120). (Fig.11.26)

Se obțin deplasările cele mai mari $D_{dynamic}=0.0503$ mm la momentul de timp $T_{max}=0.147$ sec, Set_valori=148, $\alpha=180^\circ$, în Nodul 2481, Maneton M1,

În Fig.11.26 este prezentată Planșa cu curbele deplasărilor dinamice ale arborelui cotit funcție de timp. Deplasarea maxima este $D_{max}=0.0503$ mm în Nodul 2481, Maneton M1 (curba culoare neagră), la momentul de timp $T_{max}=0.147$ sec, Set_valori=148, $\alpha=180^\circ$

În Fig.11.27. este prezentată Planșa cu deplasările dinamice ale arborelui cotit la momentul de încărcare maximă $T_{max}=0.147$ sec, Set_valori=148, $\alpha=180^\circ$, deplasarea maxima este $D_{max}=0.0737$ mm pe nodurile discului excentric stânga $D=310$ mm, $g=30$ mm.

B. Elementele relevante în care apar eforturile unitare maxime la momentul de timp T_{max} de încărcare maximă a arborelui cotit sunt (Elemente Maneton M1=El.2225, El.2226, Elemente Maneton M2=El.1429, El.1430, Elemente Maneton M3=El.2966, El.2967 și elementul El.2228, capăt arbore stânga, D=160mm, coaxial cu axa de rotație, cu rulment oscilant).

Pentru aceste elemente relevante, unde apar eforturile unitare maxime, se studiază, după încheierea Analizei Dinamice Directe cu răspuns în Timp, Graficele Eforturi Unitare (Eforturi unitare maxime de întindere pe fibra maxim întinsă, $\text{Sigma_Max_Intindere}$ (Beam_End_A_Max_Comb_Stress) = Funcție de timp, pentru depistarea momentului T_{max} de încărcare maximă.

În Fig.11.28 este prezentată planșa cu Eforturi unitare maxime de întindere pe fibra maxim întinsă, $\text{Sigma_Max_Intindere}$ (Beam_End_A_Max_Comb_Stress) = Funcție de timp, pentru depistarea momentului T_{max} de încărcare maximă, pentru (Elemente Maneton M1=El.2225, El.2226, Elemente Maneton M2=El.1429, El.1430 și Elemente Maneton M3=El.2966, El.2967 și elementul El.2228, capăt arbore stânga, D=160mm, coaxial cu axa de rotație, cu rulment oscilant).

Se obțin cele mai mari Eforturi unitare maxime de întindere pe fibra maxim întinsă, $\text{Sigma_Max_Intindere}$ (Beam_End_A_Max_Comb_Stress) = +46.4 MPa la momentul de timp $T_{max}=0.188$ sec, Set_valori=189, unghiul alfa=130°, în Elementul 2228 (El.2228, capăt arbore stânga, D=160mm, coaxial cu axa de rotație, cu rulment oscilant, culoare maro curba eforturi unitare element 2228).

În Fig.11.29 este prezentată planșa cu Eforturi unitare maxime de întindere pe fibra maxim întinsă, $\text{Sigma_Max_Intindere}$ (Beam_End_A_Max_Comb_Stress), la momentul de timp de încărcare maximă $T_{max}=0.188$ sec, Set_valori=189, unghiul alfa=130°.

Se obțin cele mai mari Eforturi unitare maxime de întindere pe fibra maxim întinsă, $\text{Sigma_Max_Intindere}$ (Beam_End_A_Max_Comb_Stress) = +46.4 MPa la momentul de timp $T_{max}=0.188$ sec, Set_valori=189, unghiul alfa=130°, în Elementul 2228 (El.2228, capăt arbore stânga, D=160mm, coaxial cu axa de rotație, cu rulment oscilant, culoare roșie $\text{Sigma_Max_Intindere}$).

Materialul arborelui cotit este 34CrNiMo6, SR ISO 1025-3, cu Limita de Curgere, $\text{Sigma_C}=490$ MPa și Limita de Rupere, $\text{Sigma_R}=700$ MPa.

Se obține un coeficient de siguranță calculat față de limita de curgere $Cc_i = \text{Limita_Curgere} / \text{Sigma_Max_Intindere} = 490 / 46.4 = 10.56$

Coeficientul de siguranță recomandat este $Cr=3$

$Cc_i > Cr$, deci arborele cotit rezistă la încărcările dinamice de întindere ale forțelor variabile în timp $T(t)$ și $N(t)$ pentru cele 3 manetoane, M1, M2 și M3.

C. Elementele relevante în care apar eforturile unitare maxime la momentul de timp T_{max} de încărcare maximă a arborelui cotit sunt (Elemente Maneton M1=El.2225, El.2226, Elemente Maneton M2=El.1429, El.1430, Elemente Maneton M3=2966, 2967, și elementul El.2228, capăt arbore stânga, D=160mm, coaxial cu axa de rotație, cu rulment oscilant).

Pentru aceste elemente relevante, unde apar eforturile unitare maxime, se studiază, după încheierea Analizei Dinamice Directe cu răspuns în Timp, Graficele Eforturi Unitare (Eforturi unitare maxime de compresiune pe fibra maxim comprimată, $\text{Sigma_Max_Compresiune}$ = Funcție de timp, pentru depistarea momentului T_{max} de încărcare maximă.

În Fig.11.30 este prezentată planșa cu Eforturi unitare maxime de compresiune pe fibra maxim comprimată, $\text{Sigma_Max_Compresiune}$ (Beam_End_A_Min_Comb_Stress) = Funcție de timp,

- Se confirmă previziunile teoretice ale analizei dinamice, se produce transferul dintre energia potențială a elementelor elastice a sistemului (caracterizate de moduri proprii și frecvențe proprii de vibrație), cu energia cinetică a maselor în mișcare, rezultând o creștere semnificativă a încărcărilor dinamice față de cele statice.

6.15.2. Analiza Dinamică Modală cu Răspuns în Timp pentru Arborele Cotit

Diferența față de analiza dinamică directă cu răspuns timp, este că la analiza dinamică modală cu răspuns în timp, amortizarea arborelui cotit va fi o funcție de frecvențele proprii ale sale, obținându-se astfel un răspuns dinamic mai corect decât la analiza dinamică directă cu răspuns în timp.

Elementul perturbator pentru analiza dinamică modală cu răspuns în timp, este același, ca și la analiza dinamică directă cu răspuns în timp și anume efectul perturbator dinamic de intrare este constituit din cele 3 seturi de forțe tangențiale $T(t)$ și normale $N(t)$, variabile în timp, în intervalul de o perioadă $T=0.294$ sec de rotație a arborelui cotit, în punctele M de pe manetoanele arborelui cotit și anume $M2[T2(t);N2(t)]$, $M3[T3(t);N3(t)]$ și $M1[T1(t);N1(t)]$, manetonul M2 fiind considerat de referință, rotindu-se din cadranul 1 trigonometric, de pe axa OX în jos, în sens orar, cu un pas de calcul $\alpha=10$ grade. Celelalte manetoane M3 și M1, se rotesc decalat față de M2, decalajul fiind de 120° pentru fiecare.

Intervalul de timp total al analizei dinamice $DRC=0.32$ sec (Durata Răspunsului Calculat), acoperitor față de perioada perturbatoare $T=0.294$ sec, va fi parcurs pas cu pas, cu nr. de pași ai analizei $STEP=320$, cu incrementul de timp al unui pas $DT=0.001$ sec.

Prin variația pas cu pas a acestor seturi M1, M2 și M3 de valori de forțe tangențiale $T(t)$ și normale $N(t)$ variabile din timp, cu incrementul de timp $DT=0.001$ sec, în cadrul analizei dinamice directe cu răspuns în timp se vor efectua $STEP=320$ de pași ai analizei dinamice, în intervalul de timp total al analizei dinamice $DRC=0.32$ sec (Durata Răspunsului Calculat) și se vor efectua efectiv în total 320 de analize statice ale arborelui cotit, pentru a se determina momentul de timp t_{max} din cadrul analizei dinamice directe cu răspuns în timp în care încărcarea arborelui cotit este maximă.

Diferența față de Analiza Directă Tranzientă, este că, la Analiza Modală Tranzientă se mai creează o funcție suplimentară depinzând de frecvență (în intervale de frecvență apropiate frecvențelor proprii naturale), care se va atașa amortizării structurii arborelui cotit.

Interpretarea rezultatelor analizei dinamice modale cu răspuns în timp pentru arborele cotit

După efectuarea Analizei Dinamice Modale cu Răspuns în Timp a arborelui cotit, se studiază următoarele grafice de Deformații= $F(t)$ și Eforturi_Unitare= $F(t)$, obținute:

A.Nodurile relevante unde apar deformațiile maxime la momentul de timp T_{max} de încărcare maximă pentru arborele cotit sunt nodurile maneton M1, M2 și M3 (Maneton M1=Nod.2481, Maneton M2=Nod.14, Maneton M3=Nod.3120).

Pentru aceste noduri relevante, unde apar deformațiile maxime, se studiază, după încheierea Analizei Dinamice Directe cu răspuns în Timp, Graficele Deformații = Funcție de timp, pentru depistarea momentului T_{max} de încărcare maximă. Se aplică comanda : (View / Select_XY vs. Set

Value / XY Data) pentru nodurile reprezentative maneton M1, M2 și M3 (Maneton M1=Nod.2481 , Maneton M2=Nod.14 , Maneton M3=Nod.3120). (Fig.12.1)

Se obțin deplasările cele mai mari $D_{\text{dinaric}}=0.036$ mm la momentul de timp $T_{\text{max}}=0.147$ sec, $Set_valori=148$, $\alpha=180^\circ$, în Nodul 2481, Maneton M1,

În Fig.12.7 este prezentată Planșa cu curbele deplasărilor dinamice ale arborelui cotit funcție de timp. Deplasarea maxima este $D_{\text{max}}=0.036$ mm în Nodul 2481, Maneton M1 (curba culoare neagră), la momentul de timp $T_{\text{max}}=0.147$ sec, $Set_valori=148$, $\alpha=180^\circ$

În Fig.12.8. este prezentată Planșa cu deplasările dinamice ale arborelui cotit la momentul de încărcare maximă $T_{\text{max}}=0.147$ sec, $Set_valori=148$, $\alpha=180^\circ$, deplasarea maxima este $D_{\text{max}}=0.077$ mm pe nodurile discului excentric stânga $D=310$ mm, $g=30$ mm.

B. Elementele relevante în care apar eforturile unitare maxime la momentul de timp T_{max} de încărcare maximă a arborelui cotit sunt (Elemente Maneton M1=El.2225, El.2226 , Elemente Maneton M2=El.1429, El.1430, Elemente Maneton M3=El.2966, El.2967 și elementul El.2228, capăt arbore stânga, $D=160$ mm, coaxial cu axa de rotație, cu rulment oscilant).

Pentru aceste elemente relevante, unde apar eforturile unitare maxime, se studiază, după încheierea Analizei Dinamice Directe cu răspuns în Timp, Graficele Eforturi Unitare (Eforturi unitare maxime de întindere pe fibra maxim întinsă, $\text{Sigma_Max_Intindere}$ (Beam_End_A_Max_Comb_Stress) = Funcție de timp, pentru depistarea momentului T_{max} de încărcare maximă.

În Fig.12.9 este prezentată planșa cu Eforturi unitare maxime de întindere pe fibra maxim întinsă, $\text{Sigma_Max_Intindere}$ (Beam_End_A_Max_Comb_Stress) = Funcție de timp, pentru depistarea momentului T_{max} de încărcare maximă, pentru (Elemente Maneton M1=El.2225, El.2226 , Elemente Maneton M2=El.1429, El.1430 și Elemente Maneton M3=El.2966, El.2967 și elementul El.2228, capăt arbore stânga, $D=160$ mm, coaxial cu axa de rotație, cu rulment oscilant).

Se obțin cele mai mari Eforturi unitare maxime de întindere pe fibra maxim întinsă, $\text{Sigma_Max_Intindere}$ (Beam_End_A_Max_Comb_Stress) =+50.3 MPa la momentul de timp $T_{\text{max}}=0.188$ sec, $Set_valori=189$, unghiul $\alpha=130^\circ$, în Elementul 2228 (El.2228, capăt arbore stânga, $D=160$ mm, coaxial cu axa de rotație, cu rulment oscilant, culoare maro curba eforturi unitare element 2228).

În Fig.12.10 este prezentată planșa cu **Eforturi unitare maxime de întindere pe fibra maxim întinsă, $\text{Sigma_Max_Intindere}$ (Beam_End_A_Max_Comb_Stress)**, la momentul de timp de încărcare maximă $T_{\text{max}}=0.188$ sec, $Set_valori=189$, unghiul $\alpha=130^\circ$.

Se obțin cele mai mari Eforturi unitare maxime de întindere pe fibra maxim întinsă, $\text{Sigma_Max_Intindere}$ (Beam_End_A_Max_Comb_Stress) =+50.3 MPa la momentul de timp $T_{\text{max}}=0.188$ sec, $Set_valori=189$, unghiul $\alpha=130^\circ$, în Elementul 2228 (El.2228, capăt arbore stânga, $D=160$ mm, coaxial cu axa de rotație, cu rulment oscilant, culoare roșie $\text{Sigma_Max_Intindere}$).

Materialul arborelui cotit este 34CrNiMo6, SR ISO 1025-3, cu Limita de Curgere, $\text{Sigma_C}=490$ MPa și Limita de Rupere, $\text{Sigma_R}=700$ MPa.

Se obține un coeficient de siguranță calculat față de limita de curgere $Cc_i = \text{Limita_Curgere} / \text{Sigma_Max_Intindere} = 490 / 50.3 = 9.74$

Coeficientul de siguranță recomandat este $Cr=3$

$Cc_i > Cr$, deci arborele cotit rezistă la încărcările dinamice de întindere ale forțelor variabile în timp $T(t)$ și $N(t)$ pentru cele 3 manetoane, M1, M2 și M3.

- $Cc_j > Cr$, deci arborele cotit rezistă la încărcările dinamice de întindere ale forțelor variabile în timp $T(t)$ și $N(t)$ pentru cele 3 manetoane, M1, M2 și M3.

- Se obțin cele mai mari Eforturi unitare maxime de compresiune pe fibra maxim comprimată, **Sigma_Max_Compresiune (Beam_End_A_Min_Comb_Stress) = -50.3 MPa** la momentul de timp $T_{max}=0.188$ sec, $Set_valori=189$, $alfa=130^\circ$, în Elementul 2228, (El.2228, capăt arbore stânga, $D=160$ mm, coaxial cu axa de rotație, cu rulment oscilant, culoare maro curba eforturi unitare element 2228).

Se obține un coeficient de siguranță la compresiune calculat față de limita de curgere $Cc_c = \text{Limita_Curgere} / \text{Sigma_Max_Compresiune} = 490 / 50.3 = 9.74$

Coeficientul de siguranță recomandat este $Cr=3$

- $Cc_c > Cr$, deci arborele cotit rezistă la încărcările dinamice de compresiune ale forțelor variabile în timp $T(t)$ și $N(t)$ pentru cele 3 manetoane, M1, M2 și M3.

- Se confirmă previziunile teoretice ale analizei dinamice, se produce transferul dintre energia potențială a elementelor elastice a sistemului (caracterizate de moduri proprii și frecvențe proprii de vibrație), cu energia cinetică a maselor în mișcare, rezultând o creștere semnificativă încărcărilor dinamice față de cele statice.

- Diferența față de analiza dinamică directă cu răspuns timp, este că la analiza dinamică modală cu răspuns în timp, amortizarea arborelui cotit va fi o funcție de frecvențele proprii ale sale, obținându-se astfel un răspuns dinamic mai corect decât la analiza dinamică directă cu răspuns în timp.

6.15.3. Analiza Dinamică Directă cu Răspuns în Frecvență pentru Arborele Cotit

Spre deosebire de analiza dinamică cu răspuns în timp, intervalul de studiu este reprezentat de un interval incrementat de frecvențe, acoperitor față de frecvențele proprii ale sistemului. În urma analizei dinamice cu răspuns în frecvență, se identifică frecvențele periculoase de rezonanță pentru care perturbațiile asupra sistemului pot conduce la un răspuns dramatic cu amplitudine mărită a sistemului. În analiza dinamică în răspuns de frecvență, excitarea este explicit definită în domeniu de frecvență; toate forțele aplicate sunt cunoscute ca valoare la fiecare frecvență a forței.

În natură, forma cea mai normală și des întâlnită de încărcare oscilatorie este aceea de încărcare oscilatorie sinusoidală. În cea mai simplă formă, acest tip de încărcare este definit ca având o amplitudine cunoscută la o frecvență specifică. Răspunsul oscilatoriu stabil apare la aceeași frecvență ca și încărcarea. Răspunsul poate fi decalat însă în timp datorită amortizării sistemului; acest decalaj de răspuns este numit decalaj de fază, deoarece vârful de încărcare și vârful de răspuns nu apar la același moment de timp.

Două metode numerice diferite pot fi utilizate în Analiza Dinamică cu răspuns în frecvență :

-Analiza Dinamică Directă cu răspuns în Frecvență;

-Analiza Dinamică Modală cu răspuns în Frecvență.

Scopul analizei dinamice directe cu răspuns în frecvență în acest caz este acela să depistăm frecvențele periculoase de rezonanță unde poate apărea un răspuns dramatic amplificat obținut în urma perturbațiilor dinamice la arborele cotit. Aceste frecvențe de rezonanță se caută într-un interval de frecvențe de [1..3100 Hz], acoperitor față de frecvențele proprii ale arborelui cotit, interval care în cazul analizei directe este parcurs pas cu pas cu incrementul de frecvență $DF=10$ Hz.

Interpretarea rezultatelor analizei dinamice directe cu răspuns în frecvență, pentru arborele cotit

- În urma analizei dinamice directe cu răspuns în frecvență se obține graficul deformațiilor pentru nodurile reprezentative ale arborelui cotit (Nodurile maneton M1=2481 , M2=14 și M3=3120 , funcție de frecvențele posibile de rezonanță, având ca perturbație forțele unitare maneton M1, M2 și M3 T=1 și N=1, cărora li s-a atașat funcția de frecvență 7. Frecvență variabilă.

În Fig.13.16. este prezentat Graficul deformațiilor pentru nodurile reprezentative ale arborelui cotit (Nodurile maneton M1=2481 , M2=14 și M3=3120 , funcție de frecvențele posibile de rezonanță, având ca perturbație forțele unitare maneton M1, M2 și M3 T=1 și N=1, cărora li s-a atașat funcția de frecvență 7. **Frecvență variabilă.**

Intervalul de studiu de frecvențe [0...3100 Hz] a fost parcurs DIRECT cu un increment de frecvență DF=10 Hz (310 pași de analiză dinamică directă cu răspuns în frecvență).

Frecvențele și perioadele de rezonanță obținute pentru arborele cotit în urma analizei dinamice directe cu răspuns în frecvență, sunt:

Fr1=660 Hz Tr1=0.00153 sec;

Fr2=2320 Hz Tr2=0.00043 sec;

Roirea arborelui cotit cu turația de presiune maximă N=204 RPM, cu frecvența perturbatoare de rotație Fp=3.4 Hz și perioada perturbatoare de rotație Tp=0.294 sec, NU prezintă pericol de rezonanță, deoarece turația de rotație perturbatoare Fp=3.4 Hz sste diferită de frecvențele de rezonanță Fr1=660Hz și Fr2=2320 Hz, depistate, iar perioada de rotație perturbatoare Tp=0.294 sec este diferită perioadele de rezonanță Tr1=0.00153 sec și Tr2=0.00043 sec depistate.

Concluzii la analiză dinamică directă cu răspuns în frecvență a arborelui cotit: poate apărea un răspuns dramatic de amplitudine mărită asupra arborelui cotit dacă arborele cotit este rotit cu turații având frecvența de rotație apropiate de frecvențele Fr1 și Fr2 de rezonanță depistate în urma analizei dinamice directe cu răspuns în frecvență.

Rotirea arborelui cotit cu turația de presiune maximă N=204 RPM, cu frecvența perturbatoare de rotație Fp=3.4 Hz și perioada perturbatoare de rotație Tp=0.294 sec, NU prezintă pericol de rezonanță, deoarece turația de rotație perturbatoare Fp=3.4 Hz sste diferită de frecvențele de rezonanță Fr1=660Hz și Fr2=2320 Hz, depistate, iar perioada de rotație perturbatoare Tp=0.294 sec este diferită perioadele de rezonanță Tr1=0.00153 sec și Tr2=0.00043 sec depistate

6.15.4. Analiza Dinamică Modală cu Răspuns în Frecvență pentru Arborele Cotit

Scopul analizei dinamice modale cu răspuns în frecvență este să depistăm frecvențele periculoase de rezonanță unde poate apărea un răspuns dramatic amplificat obținut în urma perturbațiilor dinamice la arborele cotit. La subcapitolul precedent s-a efectuat analiză directă cu în frecvență, s-a parcurs pas cu pas cu incrementul DF=10 Hz, intervalul de frecvențe studiat [0...3100 Hz] pentru a descoperi frecvențele și implicit perioadele critice de rezonanță.

În cadrul analizei dinamice modale se execută mai întâi o analiză de moduri proprii și apoi se face o restartare a programului pentru a folosi frecvențele proprii în cadrul analizei dinamice modale cu răspuns în frecvență.

Diferența față de analiza dinamică directă în cu răspuns în frecvență este că la analiza dinamică modală cu răspuns în frecvență nu se mai definește intervalul de frecvențe de studiat pe care îl baleiam pas cu pas cu un increment de frecvență; la analiza modală cu răspuns în frecvență, intervalul de

V. Concluzii finale

Obiectivul general al proiectului constă în realizarea unui produs inovativ complex, destinat exploatării eficiente a resurselor energetice convenționale, având caracteristici funcționale semnificativ îmbunătățite prin schimbări esențiale ale specificațiilor tehnice și ale componentelor și materialelor și printr-un proces inovativ de realizare.

Integrată domeniului de specializare inteligentă *ENERGIE, MEDIU ȘI SCHIMBĂRI CLIMATICE, subdomeniul 3.1. Energie, respectiv 3.1.2. Resurse energetice convenționale, neconvenționale și regenerabile*, instalația propusă spre realizare este destinată operației de cimentare și altor operațiuni speciale la sondele de petrol și gaze naturale, în scopul exploatarei superioare a resurselor convenționale de energie, cu păstrarea mediului ambiant și care va contribui la creșterea calității și la diversificarea ofertei de produse moderne a liderului de proiect pe piața echipamentelor complexe destinate extracției de resurse de petrol și gaze.

Cap 1. Au fost evidențiate Elementele generale privind activitatea de proiectare a agregatului propus spre asimilare.

Proiectarea echipamentelor componente ale agregatului care fac obiectul activității A 1.2 a fost făcută cu respectarea condițiilor impuse de standardul API specificație 7K (pentru proiectarea pieselor partii hidraulice și a mecanismului de transmisie) și cu respectarea tuturor cerințelor standardelor în vigoare privind materialele utilizate și tehnologiile de creșterea a rezistenței la coroziune și abraziune identificate în studiu.

Activitatea de proiectare a urmărit asimilarea elementelor inovative sintetizate în concluziile trase la *finalul Studiului – A 1.1 în scopul optimizării soluției constructive:*

- acționarea echipamentului de către un motor asincron trifazat comandat cu convertizor static de frecvență, care înlocuiește soluția clasică de antrenare cu motor Diesel și transmisie Allison. Avantajele utilizării acestei soluții au fost prezentate în capitolul anterior, cu precizarea că ele conduc la modernizarea schemei cinematice și că sunt avantaje esențiale pentru tehnologia de lucru aplicată cu ajutorul echipamentului;

- corelarea optimă a caracteristicii presiune – debit a pompei (impusă de parametri tehnici ai tehnologie aplicate) cu performanțele acționării motor asincron trifazat comandat cu convertizor static de frecvență;

- integrarea unor soluții constructive moderne pentru sistemul de etansare, supapele de aspirație și refulare și plunger identificate în cadrul studiului;

- integrarea de materiale cu caracteristici superioare și tehnologii de creșterea a rezistenței la coroziune și abraziune moderne identificate în cadrul studiului;

- integrarea de materiale identificate în cadrul studiului, cu caracteristici superioare, pentru manifoldurile de aspirație și refulare în scopul creșterii rezistenței la coroziune și abraziune;

- integrarea de materiale identificate în cadrul studiului, cu caracteristici superioare, pentru partea hidraulică și frema pompei;

- aplicarea unei soluții optime de amplasare a echipamentelor pe autosasiu în varianta modernizată a echipamentului.

S-a evidențiat că proiectele de subsansambluri întocmite în cadrul activității A 1.2 care evidențiază asimilarea elementelor inovative enunțate s-au întocmit pentru :

- componente uzura ale pompei triplex de presiune cu plungere care asigura parametrii tehnici normali la aspiratie naturala si refulare.

- componenta de antrenare mecanica prin intermediul careia se asigura transmiterea fluxului de putere dupa caz si care asigura adaptarea caracteristicii mecanice a ansamblului de actionare electrica la caracteristica mecanica a pompelor triplex ale instalatiei, adaptarea reglarii turatiei in limite largi;

- componenta de actionare care asigura actionarea pompei triplex de inalta presiune si a celorlate componente auxiliare destinate desfasurarii operatiilor speciale la parametrii tehnici stabiliti , presiune-debit necesare derularii operatiilor speciale;

Cap 2 - Sunt prezentate elemente de proiectare pentru soluția constructivă inovativă pentru echipamentul destinat operațiunilor speciale și de cimentare la sondele în exploatare: principiul constructiv și cel funcțional al echipamentului. Sunt evidentiaste schemele cinematice si functionale pentru variantele cu una sau două pompe.

Elementele inovative integrate in solutia constructiva propusa pentru echipament sunt:

- soluție de actionare electrica cu motor asincron de curent alternativ trifazat actionat prin convertizor de frecventa cu comanda vectoriala si scalara, solutie neutilizata la echipamentele de fabricatie romaneasca pana in prezent, constituind o solutie inovativa;
- solutii constructive moderne pentru sistemul de etansare, supapele de aspiratie si refulare si plunger identificate in cadrul studiului, solutii care se constituie ca solutii inovative.

Cap 3 – Sunt abordate considerente de proiectare in vederea asigurării caracteristicilor mecanice inovative incluse în echipament.

Plecand de la volumele de fluid de cimentare/fisurare necesare operatiei, parametrii de pompare si aplicand calculul de dimensionare a agregatului de cimentare pentru operatii medii se stabileste puterea hidraulica la cimentare si implicit puterea mecanica necesara efectuarii unei operatii de cimentare in conditiile de sonda date, cu un agregat cu o linie de pompare.

În Capitolele 4 și 5 este derulata activitatea de proiectare a elementelor de antrenare mecanica și componentelor de uzura din componența pompei.

Din analiza efectuata in cadrul Studiului – Activitatea A1. si conform calculelor efectuate in etapele anterioare, s-a concluzionat că agregatele din clasa de presiune 700 bar sunt acționate de motoare având o putere între 485 – 630 CP. De asemenea s-a stabilit ca pentru agregatul propus spre asimilare se va utiliza o pompa triplex cu plungere cu simplu efect de 700 bar.

In functie de performantele pompei triplex cu plungere propuse spre asimilare: puterea pe care o transmite motorul, energie mecanica, este convertita in partea hidraulica a pompei in energie hidraulica la presiunea de lucru necesara.

Cand vorbim de performantele pompei triplex urmarim in principiu, in ce conditii (tip grup antrenare si parametrii acestuia, elemente de antrenare mecanica) se obtin presiunea maxima si debitul maxim necesare efectuarii operatiilor de cimentare- fisurare, dupa caz.

In baza necesarului de putere si performante a fost definitivata varianta de solutie constructiva adoptata pentru proiect.

Pompa triplex cu simplu efect cu plungere care va echipa agregatul de cimentare- fisurare ce se propune spre asimilare, se compune din următoarele subansambluri principale:

- Parte hidraulică;
- Mecanism motor;
- Angrenaj motor;
- Frema pompei;

Dupa cum a fost evidentiat in lucrare , principiul de lucru al pompei cu plunger este cel al aspiratiei si refularii.

Fluidul de lucru este aspirat la miscarea liniara de retragere a plungerului, prin intermediul colectorului de aspiratie si este refulat la miscarea de impingere a plungerului, prin intermediul colectorului de refulare.

Aspiratia si refularea se realizeaza prin intermediul unor supape de aspiratie si refulare fixate intr-un corp hidraulic. Supapa de aspiratie este plasata la partea inferioara a corpului cilindrului, iar supapa de refulare este plasata la partea superioara a corpului cilindrului.

In timpul celor doua miscari de aspiratie si refulare are loc un proces dinamic in timpul caruia pot aparea turbulente, iar la finalul procesului, practica a aratat ca se inregistreaza modificari continue, neregulate, ale parametrilor hidraulici – presiune, viteza.

De asemenea, a fost evidentiat ca in functie de tipul operatiei efectuate de agregat, preparare de amestecuri de cimentare sau fisurare si pomparea acestora catre sonda, elementele constitutive de tip nisip cuarzos sau aditivi/ acizi au un efect major asupra componentelor care vin in contact cu amestecul pompat si pot produce uzuri masive de tip abraziune sau coroziune.

In aceste conditii vorbim de o serie de componente ale pompei, componente de uzura, care trebuie astfel proiectate incat sa asigure performantele tehnice ale pompei, fiabilitatea si siguranta in functionare a acesteia.

Elementele inovative asimilate care conduc la optimizarea solutiei constructive sunt:

- actionarea echipamentului de catre un motor electric asincron trifazat comandat cu convertizor static de frecvență, care inlocuieste solutia clasica de antrenare cu motor Diesel si transmisie Allison;
- corelarea optima a caracteristicii presiune – debit a pompei (impusa de parametrii tehnici ai tehnologie aplicate) cu performantele actiunii motor asincron trifazat comandat cu convertizor static de frecvență;
- integrarea unor solutii constructive moderne pentru sistemul de etansare, supapele de aspiratie si refulare si plunger identificate in cadrul studiului;
- integrarea de materiale cu caracteristici superioare si tehnologii de cresterea a rezistentei la coroziune si abraziune moderne identificate in cadrul studiului;
- integrarea de materiale identificate in cadrul studiului, cu caracteristici superioare, pentru manifoldurile de aspiratie si refulare in scopul cresterii rezistentei la coroziune si abraziune;
- integrarea de materiale identificate in cadrul studiului, cu caracteristici superioare, pentru partea hidraulica si frema pompei;
- aplicarea unei solutii optime de amplasare a echipamentelor pe autosasiu in varianta modernizata a echipamentului.

Asimilirea celor mentionate se va face cu respectarea conditiilor impuse de standardul API specificatie 7K (pentru proiectarea mecanismului de transmisie și pieselor părții hidraulice) si cu respectarea tuturor cerintelor standardelor in vigoare privind materialele utilizate si tehnologiile de cresterea a rezistentei la coroziune si abraziune identificate in studiu.

Pentru proiectarea pompei s-au avut în vedere următoarele considerente:

- Durata de funcționare a agregatelor de cimentare se estimează la aproximativ 1500 ore anual. Din această durată de lucru, funcționarea la parametrii mașinii reprezintă o fracțiune de ordinul a 20 – 30 %.

La proiectare se ține seama de un asemenea grad de utilizare, luând în considerare un număr total de ore pentru dimensionarea rulmenților, angrenajelor sau a altor elemente, mult mai redus decât la utilajele cu o durată de funcționare continuă și cu o sarcină constantă.

Această ipoteză de calcul contribuie la realizarea unor echipamente/componente de greutate cât mai redusă, condiție esențială pentru un agregat de pompă mobil.

- În principiu, pompa este concepută să funcționeze la un regim de rotații redus, asigurând o umplere adecvată a cilindrilor și la un randament volumetric mai mare de 0,9 la aspirație naturală, fără supraîncărcare.

- Pompa triplex cu plunger este destinată să lucreze în următoarele regimuri de funcționare:

- regim intermitent – funcționare la performanțe maxime nu mai mult de 3 ore pe zi;

- regim continuu – funcționare la performanțe diminuate timp de 8, 16 sau 24 ore pe zi;

La refulare trebuie să avem un debit mic și presiune mare.

- Presiunea maximă și debitul maxim sunt parametrii cheie în calculul de verificare a elementelor componente ale pompei.

- Eforturile unitare din material, după cum a fost evidențiat, nu trebuie să depășească eforturile admisibile ale materialului;

Calculul reperelor supuse presiunii în funcționare se va face la presiunea de probă, egală cu presiunea de lucru înmulțită cu factorul 1,5 conform cap.5. și 9 din API Spec 7K.

Analiza eforturilor elementelor componente se va baza pe teoria elasticității, conform cap.4.2 și 8.6 din API Spec 7K. În acest sens se va utiliza un coeficient de siguranță de 1,5 față de limita de curgere a materialului.

Proiectare parte hidraulică

- Plungerele sunt elemente cheie în procesul de aspirație și refulare a fluidului de cimentare /fisurare. Aspirația fluidului în corpul hidraulic se realizează la cursa înapoi a plungerului prin colectorul de aspirație și supapa de aspirație. Refularea fluidului se realizează la cursa înainte a plungerului prin supapa de refulare și colectorul de refulare, simultan cu închiderea automată a supapei de aspirație.

Plungerele care echipează Partea hidraulică a pompei triplex, în funcție de performanțele pompei au diametre de 85 mm și 100 mm. Pentru presiunea de 700 bar se utilizează plunger cu diametru de 100 mm

Plungerele sunt considerate tuburi cu pereți groși solicitate la presiuni exterioare.

Aplicând teoria de rezistență a materialelor s-a efectuat calculul de verificare a capacității de rezistență a tubului supus la presiune exterioară pentru plungerele de diametru 85 mm și 100 mm. În cazul de față conform standardului pentru pistoane /plungere s-a recomandat oțelul 18MnCr11.

S-a evidențiat că pentru tipul de material utilizat, efortul echivalent este mai mic decât efortul admisibil.

De asemenea s-a evidențiat că și condiția de rezistență la flambaj este respectată.

Pentru plunger, elementele inovative integrate sunt soluții de durificare a plungerelor.

Se propun 3 variante de durificare a plungerelor.

a. Niturare / carbonitrurare ionica in plasmă; [De ex. procedeul IONIT[®] brevetat de firma Metaplas Ionon GmbH, denumita actual Sulzer Metaplas (Germania), folosit implicit de Oerlikon Metco (Elvetia)]

Otelurile tratate prin acest procedeu prezinta duritate ridicată a suprafeței, rezistența mare la uzură, aderența redusă, coeficient de frecare mic, rezistență mecanică îmbunătățită la temperaturi ridicate și distorsiuni reduse sau deloc ale pieselor procesate. În plus, durata de funcționare a pieselor sub tensiune crește, dar rezistența la coroziune este îmbunătățită pentru un anumit număr de funcționare, care variază funcție de tipul oțelului nitrurat, în special de compoziția chimică și structura acestuia.

Caracteristicile suprafeței plungerului după aplicarea acestui procedeu

Tip material	AISI/SAE	Simbolizare numerica (DIN, W. Nr)	Simbolizare numerica cf. SR EN 10088-1 SREN ISO 638-1.2018 oțeluri aliate	Duritatea suprafeței HV2	Adâncime de niturare (mm)	Grosime strat compus (μm)
Oțel de cementare	5115	1.7131	17MnCr10; 18MnCr11/16MnCr5	550 - 700	0,3 - 0,7	4 - 8

b. Niturare în plasma cu niturare și nitrocarburare în gaz cu un proces de oxidare controlat. [De ex: Procedeul IONIT OX – procedeu brevetat de firma Metaplas Ionon, denumita actual Sulzer Metaplas (Germania)]

Procesul se realizează în trei etape și constă în nitrocarburare în gaz, activare în plasma și oxidare, în scopul îmbunătățirii proprietăților suprafeței ale oțelului care se tratează termic.

Acest procedeu este considerat ecologic, deoarece nu conține materiale reziduale periculoase, oferind o alternativă la metodele convenționale, cum ar fi placarea cu crom și niturarea în baie de sare.

Caracteristicile suprafeței plungerului după aplicarea acestui procedeu

Caracteristica	Proces
Temperatura de procesare (°C)	500 - 580
Mediu de procesare	Amoniac (NH ₃)
Elemente de risc asupra sănătății umane și a mediului înconjurător	CO ₂ / NO _x
Tip acoperire	Oxid
Structura acoperire	Densa
Grosimea acoperirii / Adâncimea de niturare (mm)	0,2 - 0,3
Duritatea Vickers	800 - 1400
Durata testului de pulverizare cu sare cf. DIN 50021 (h)	500
Cost de producție*	Mic

c. Pulverizare / metalizare cu viteza mare cu gaz combustibil (HVOF);

Principalele caracteristici ale procedurii HVOF si ale stratului depus sunt:

- densitate mare: se obțin, în mod normal, porozități mai mici de 2%;
- grad ridicat de aderență la materialul suport, peste 82 MPa;
- microduritatea obtinuta uzual este de 1100-1350 HV0,3;
- rezistență la oboseală bună;
- grosimea stratului depus uzual este de pana la 0,3mm;
- rezistență excelentă la uzură cauzată de frecarea de alunecare, eroziune, cavitație;
- rezistență la coroziune, inclusiv la cald, oxidarea și coroziunea mediilor acide și alcaline;
- finisare foarte bună a suprafeței acoperite, acestea putând fi rectificate, lepuite, honuite sau superfinisate pana la rugozitatea Ra de 0,1 μm.

-Metalizare HVOF cu carbura de wolfram - Caracteristicile procedurii și ale suprafeței plungerului după aplicarea acestui procedeu:

- Viteza jetului: 2200-2500 m/s;
- Temperatura jetului: 1800° C pentru F=kerosen si 1200°C pentru F=Propan
- Viteza particulei: 600-800 m/s;
- Taria legaturii: > 82 MPa;
- Duritatea stratului depus: 1200-1350 HV;
- Porozitate strat: < 1%;

Rezultatele practice au evidentiat : cromarea dura asigura rezistenta plungerului pentru un interval de 1-2 saptamani, procedeul METCO 15E asigura rezistenta plungerului pentru un interval de 1-2 luni, procedeul HVOF asigura rezistenta plungerului pentru aprox 1 an de zile.

Cu cat plungerul are o comportare mai buna cu atat scad timpii de intretinere a echipamentului.

- **Pachetul de etansare** – In functie de performanta de presiune s-a calculat forta care actioneaza asupra pachetului de etansare si in functie de aceasta s-a calculat necesarul de garnituri.

Pachetul de etansare propus spre asimilare include elemente inovative ce tin de forma geometrica, solutia constructiva si tip material, elemente confirmate de producatorul de garnituri.

- Corp hidraulic – element cheie al partii hidraulice in care se monteaza cate un pachet de etansare in interiorul caruia culiseaza plungerul.

Calculul de verificare al corpului a fost facut la presiunea de proba. S-a efectuat verificarea la tractiune a corpului executat din materialul 34CrNiMo6 (356Q) SR EN 10250-3/02.

S-a evidentiat ca pentru tipul de material utilizat , efortul echivalent rezultat in urma actiunii fortei date de presiunea de proba este mai mic decat efortul admisibil .

- Calculul supapei

Supapa de aspiratie si refulare reprezinta elemente componente ale partii hidraulice. Partea hidraulică se compune din trei corpuri hidraulice independente, care se fixează pe frema pompei prin șuruburi de prindere și sunt unite între ele prin două colectoare: unul de aspirație de joasă presiune și unul de refulare de înaltă presiune. Supapele de aspiratie si refulare sunt fixate in corpul hidraulic. Supapa de aspiratie este plasata la partea inferioara a corpului, iar supapa de refulare este plasata la partea superioara a corpului hidraulic.

Aspirația fluidului în corpul hidraulic se realizează la cursa înapoi a plungerului prin colectorul de aspirație și supapa de aspirație. Refularea fluidului se realizează la cursa înainte a plungerului prin supapa de refulare și colectorul de refulare, simultan cu închiderea automată a supapei de aspirație.

Aplicand ecuatiile de continuitate a fost efectuat calculul de verificare a diametrului de trecere prin scaunul supapei. De asemenea au fost verificate inaltimea de ridicare a supapei, si dimensiunile de baza ale supapei.

A fost evidentiat, cu precizarile facute in breviarul de calcul, ca diametrul de trecere prin supapa raspunde cerintei API 7K. Conform API 7K , pentru supapa mărimea 4, $D_{min} = 79$ mm.

Se observă că la debitul maxim valoarea aferenta diametrului minim de trecere prin scaunul supapei este mai mare decat cea recomandata de API.

Plecand de la dimensiunile supapei a fost calculata înălțimea camerei corpului hidraulic în care se montează supapele, talerul si garnitura supapei.

In varianta clasica a pompei triplex cu plungere , partea hidraulica este echipata cu Supapa marimea 4 care a fost prezentata in cadrul etapei.

Pentru varianta de pompa propusa spre asimilare s-a solicitat o recomandare pentru aplicatia: pompa cu plunger de 700 bar, pentru plungere de diametre pana la 130 mm si temperaturi cuprinse intre -20 °C si +40 °C la firma TRIANGLE identificata in cadrul Studiu activitatea A 1.1.

Propunerea firmei a fost : Supapa : Supapa WG Sphera tip 006X – WG – 0XXA – XX .

Acest tip de supapa se recomanda pentru versatilitate, poate fi utilizata în majoritatea mărcilor și modelelor de pompe cu plunger si pentru aplicatii care includ medii abrazive si corozive. Instalata corespunzător și cu o mentenanță rezonabilă, asigura mulți ani de funcționare eficientă în condiții de lucru foarte variate.

Integrarea acestui tip de supapa reprezinta element inovativ in cadrul pompei triplex cu plungere.

- Calculul de verificare a elementelor de antrenare

A fost efectuat Calculul fortelor din plunger /bielă, calcul esential pentru calculul de verificare al bielei si al arborelui cotit al mecansimului motor. De asemenea a fost efectuat calculul de verificare a puterii plecand de la valoarea maxima a fortei din plunger. Verificare care a evidentiat ca Puterea stabilita ca parametru de intrare a fost dimensionata corect.

Au fost prezentate diagramele fortelor din plunger si calculul tabelar al fortelor din biela.

In cadrul mecanismului motor, arborele cotit transformă mișcarea de rotație primită de la motor în miscare rectilinie prin intermediul bielelor montate pe arbore.

Din punct de vedere constructiv, partile componente ale arborelui cotit sunt:

- fusurile maneton – pe care se articuleaza biela – 3 buc.;

- palierele – fac legatura intre fusurile maneton și asigură lăgăruirea la capătul arborelui cotit - 5 buc;

Pe paliere se monteaza rulmentii ce lăgăruiesc arborele cotit în frema pompei.

Bibliografie

- [1] Gh Buzdugan ș.a., Culegere de probleme de rezistența materialelor, Editura Didactică și Pedagogică, București
- [2] N. Posea, Rezistența materialelor, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1979
- [3] T. auf dem Brinke, Plasma-Assisted Nitriding Offers Production Flexibility, Industrial Heating, May 2001, <https://www.industrialheating.com/articles/84271-plasma-assisted-nitriding-offers-production-flexibility>
- [4] J. Vetter, Thermochemical Heat Treatment with Added Corrosion Protection and Wear Protection ICMCTF Conference, April 2003, San Diego, https://www.researchgate.net/publication/260035060_Thermochemical_Heat_Treatment_with_Added_Corrosion_Protection_and_Wear_Protection_-_invited_talk_ICMCTF_2003_San_Diego
- [5] J. Vetter, J. Crummenauer, T. auf dem Brinke, Corrosion Protection by Plasma Heat Treatment IONIT OX®, AMS/TMS Fall Meeting Conference, Columbus, Ohio, Oct. 2002, https://www.researchgate.net/publication/260016884_Corrosion_Protection_by_Plasma_Heat_Treatment_IO_NIT_OXR
- [6] [74] <http://www.confind.ro/hvof.html>
- [7] <https://plasmajet.ro/metalizare-h-v-o-f>
- [8] <https://www.youtube.com/watch?v=lmSl3iSQoJQ>
- [9] https://www.youtube.com/watch?v=cTPi_2ZlwqI
- [10] Costin, Utilaj Petrolier, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1986
- [11] https://www.youtube.com/watch?v=DCBCqaMq_G8
- [12] http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=664
- [13] V Cristea, I Gradisteanu, N Peligrad ; Instalatii si utilaje pentru forarea sondelor; Editura tehnica Bucuresti 1985;
- [14] Manual de proiectare – Calculul arborelui cotit si al bielei; Universitatea Politehnica Timisoara;
- [15] Cunoștințe tehnice pentru proiectare acționare electrică echipament de cimentare , material obținut prin licitație.
- [16]. A.Popovici, G.C. Niculae, C.D.Ene, Calculul și construcția utilajului pentru forajul Sondelor de petrol, Editura Universității din Ploiești, 2005
- [17]. S. Seiceanu, T.Justel, Tehnologia forajului rotativ, Editura Tehnică, București, 1974
- [18]. I. Costin, Elemente de calcul utilaj petrolier, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1986
- [19]. API Specification 5D – Specification for Drill Pipe, Fifth Edition, American Petroleum Institute, Washington D.C., U.S.A., 2002



utilaj petrolier & metalurgic

www.petal.ro



Tel: 0040235/481781
Fax: 0040235/481342

Adresa: Huși-Vaslui, Str. A. I. Cuza nr.99, 735100 România
E-mail: office@petal.ro

ORC: J37/191/2003
CUI: RO841186
Capital social: 2.971.825 lei

- [20]. API Specification 4F, Specification for Drilling and Well Services Structures, Fourth Edition, American Petroleum Institute, Washington D.C., USA, January 2013
- [21]. STAS 1909-89, Turle și masturi pentru foraj și intervenție, Prescripții și calcul de proiectare
- [22]. STAS 10108/ 0-78, Construcții Civile, Industriale și agricole, Calculul Elementelor din Oțel
- [23]. N. Posea, Calculul dinamic al structurilor, Editura Tehnică, București 1992
- [9]. Jens Trampe Broch, Mechanical vibration and Shock Measurement, Brüel & Kjaer 1972
- [24]. The MacNeal-Swendler Corporation, MSC/NASTRAN for Windows, Basic Analysis, Examples Manual, Los Angeles, CA, USA, 2003
- [25]. The MacNeal-Swendler Corporation, MSC/NASTRAN for Windows, Advanced Analysis, Examples Manual, Los Angeles, CA, USA, 2003
- [26]. The MacNeal-Swendler Corporation, MSC/NASTRAN for Windows, Modeling Examples Manual, Los Angeles, CA, USA, 2003
- [27]. Gh.Buzdugan, I.Fetcu, M.Radeș, Vibrații mecanice, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982