

TIBERIU ȘTEFAN MĂNESCU

DORIAN NEDELCU

ANALIZĂ STRUCTURALĂ PRIN METODA ELEMENTULUI FINIT

Prof.dr.ing. Tiberiu Ștefan MĂNESCU

Conf.dr.ing. Dorian NEDELCU

Universitatea "Eftimie Murgu" din Reșița

ANALIZĂ STRUCTURALĂ

PRIN METODA ELEMENTULUI FINIT



TIBERIU ȘTEFAN MĂNESCU, s-a născut în municipiul Reșița, județul Caraș-Severin, la 30 octombrie 1947. Este absolvent al Universității "Politehnica" Timișoara, Facultatea de Mecanică, promoția 1970. Și-a desfășurat activitatea ca inginer la U.C.M. Reșița, devenind doctor în științe tehnice din anul 1982. A urcat toate treptele universitare, fiind în prezent profesor universitar la Universitatea "Eftimie Murgu" Reșița, unde îndeplinește și funcția de secretar științific al senatului.

A elaborat ca autor principal sau coautor 11 monografii și cărți universitare, 145 lucrări științifice publicate în țară și străinătate (Copenhagen 1990, Düsseldorf 1992, Helsinki 1993, Torino 1994, Meatiți-Egipt 1994, Warszawa 1995, Bruxelles 1996, Opatija-Croatia 1996, Madrid 1996, Nürnberg 1997, Besançon 1997, Damasc 1997, Toejon-Korea 1998, Osaka 1999, Lisabona 2001, Istanbul 2001, Celle-Germania 2002, Belgrad 2002-2004, Herceg Novi 2003, Antioquia-Columbia 2003, Budapesta 2003, Chișinău 2004, Novi Sad 2004, Zlatibor 2004). Este autor a 2 invenții, 4 inovații, 36 de contracte de cercetare științifică rezolvate cu aplicație în țară și 1 contract comunitar. Din 2002 este membru corespondent al Academiei de Științe Tehnice din România.



DORIAN NEDELCU, s-a născut în municipiul Reșița, la 05 mai 1957. Este absolvent al Universității "Politehnica" Timișoara, Facultatea de Mecanică, promoția 1983. Și-a desfășurat activitatea ca cercetător științific la U.C.M. Reșița, devenind doctor în științe tehnice în anul 1996, sub conducerea acad. Ioan Anton. În prezent este conferențiar universitar la Universitatea "Eftimie Murgu" Reșița. A elaborat ca unic autor 5 cărți universitare, 40 lucrări științifice publicate în țară și străinătate.

Are o bogată experiență în domeniul cercetării științifice, dobândită pe parcursul a 16 ani de cercetare științifică și concretizată prin participarea la 21 contracte și teme de cercetare, dintre care 10 în calitate de conducător, precum și în domeniul proiectării asistate de calculator, fiind specializat pe următoarele programe CAD: AutoCAD și Inventor al firmei AutoDesk, respectiv MicroStation al firmei Bentley, precum și în programul Cosmos Design Star de analiză prin metoda elementelor finite. Activitatea de cercetare științifică curentă se axează pe lucrări dedicate retehnologizării hidrocentralelor Portile de Fier I și II, obiective de importanță strategică a României, retehnologizare aflată în prezent în curs de derulare.

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

MĂNESCU, TIBERIU ȘTEFAN

Analiză structurală prin metoda elementului finit /

Tiberiu Ștefan Mănescu, Dorian Nedelcu. - Timișoara :
Orizonturi Universitare, 2005

Bibliogr.

ISBN 973-638-217-6

I. Nedelcu, Dorian

004.42

TIBERIU ȘTEFAN MĂNESCU

DORIAN NEDELCU

Referenți științifici

Prof.dr.ing. Nicolae FAUR - Universitatea "Politehnica"
din Timișoara

Prof.dr.ing. Sava IANICI - Universitatea " Eftimie Murgu "
din Reșița

ANALIZĂ STRUCTURALĂ PRIN METODA ELEMENTULUI FINIT

Consilier editorial
Prof.dr.ing. Ștefan KILYENI

Tehnoredactare computerizată
Dorian NEDELCU

Pregătire pentru tipar și CD
Marius GROZA

© 2005 Editura ORIZONTURI UNIVERSITARE
Timișoara



EDITURA ORIZONTURI UNIVERSITARE
TIMIȘOARA 2005

Tiparul executat la Imprimeria MIRTON
300125 Timișoara , str. Samuil Micu nr. 7
Telefon: 0256 - 272926, 0256 - 225684
Fax: 0256 - 208924

"Orice carte trebuie să-l constrângă pe cititor să ia poziție."

August Rebel (filozof german)
1840-1913

PREFĂTĂ

Metoda elementelor finite constituie o metodă actuală de analiză și simulare a fenomenelor reale. Lucrarea este axată pe această metodă, aplicată prin intermediul programului de analiză cu element finit Cosmos Design Star și se concretizează pe aplicații de analiză structurală în domeniul rezistenței materialelor.

Proiectarea pieselor în construcția de mașini nu mai poate fi concepută azi fără utilizarea programelor specializate de proiectare asistată de calculator respectiv de analiză a comportării acestora din punct de vedere al rezistenței mecanice. Metoda de analiză cu element finit permite vizualizarea spațială a comportării unei piese supusă unor solicitări, oferind inginerului posibilitatea de optimizare a piesei pe baza unor criterii impuse. Utilizarea metodelor moderne de proiectare asistată de calculator și analiza comportării piesei la solicitări impuse prin metoda elementului finit, punе în mâna inginerului instrumentul necesar de lucru pentru optimizarea proiectării, cu efecte puternic pozitive referitoare la cunoașterea răspunsului piesei la solicitările impuse și a deformațiilor pieselor, reducerea greutății, detectarea zonelor critice. Acestea contribuie la creșterea încrederii inginerului în soluția rezultată și permite luarea unor decizii de proiectare în cunoștință de cauză.

O astfel de analiză implică însă asimilarea modului de lucru cu un program specializat de proiectare asistată, precum și a programelor de analiză cu element finit. Fără a neglija ușurința în manipularea acestor programe, specializarea în operarea cu astfel de programe se poate face numai printr-o investiție intelectuală, ceea ce impune asimilarea acestor metode de proiectare și analiză încă de pe băncile facultății.

Lucrarea se adresează studenților și specialiștilor proiectanți în domeniul mecanic, care lucrează cu programul Cosmos Design Star, dar nu numai. Tehnicile de analiză sunt comune multor programe, astfel încât exemplificările prezente în lucrare pot fi utilizate ca referință și pentru alte programe din domeniu.

Încă de la primii pași surprinde în mod plăcut ușurința operării oferită de programul Cosmos Design Star și de diversele posibilitățile de ajutor puse la dispoziție (tutorial, help documentat, exemplificări ale comenziilor prin animație, accesul rapid la subiectul de help dorit etc.), ceea ce favorizează o rapidă asimilare a acestuia, motiv pentru care programul este recomandat pentru activități didactice.

Capitolul 1 constituie o incursiune în fundamentele Cosmos Design Star: tipuri de analiză disponibile, interfață, considerații teoretice, asociativitate cu sisteme CAD, schițe 2D, gestionarea studiilor de analiză, geometrii referință, proprietăți de material, încărcări și condiții de frontieră, discretizarea modelelor, vizualizarea rezultatelor. Sunt descrise sintetic concepțele fundamentale utilizate de către Cosmos Design Star.

Capitolul 2 este rezervat aplicațiilor concretizate prin solicitări simple: întindere, compresiune, includerea efectului termic, încovoiere, torsione, flambaj; sunt descrise punctual 16 aplicații, care acoperă o mare diversitate a tehnicilor de analiză specifice programului Cosmos Design Star.

Capitolul 3 este dedicat aplicațiilor concretizate prin solicitări complexe: încovoiere cu compresiune, încovoiere cu torsion, cadre, sisteme static nedeterminate etc.

Lucrarea se încheie prin capitolul de referințe bibliografice.

Aplicațiile exemplificate în lucrare sunt gândite astfel încât să acopere o mare parte din capacitatele programului, să fie diversificate gradual și să ofere răspunsuri celor care doresc a lucra cu programul Cosmos Design Star.

Fiecare aplicație este descompusă în succesiuni de etape elementare de analiză, descrise pas cu pas, cu exemplificarea grafică a acestora și însotită de bogate detalieri textuale explicative. De asemenea, fiecare aplicație include un paragraf de considerații teoretice unde mărimile caracteristice analizei au fost calculate prin metodele clasice ale rezistenței materialelor. Toate rezultatele teoretice s-au comparat cu rezultatele numerice calculate de programul Cosmos Design Star; din acest motiv, aplicațiile au urmărit în general probleme clasice de rezistență, la care există relații teoretice de calcul. Pentru unele aplicații s-au analizat mai multe variante, prin modificări valorice sau ale restrângerilor / încărcărilor aplicate asupra modelului.

S-a încercat ca fiecare aplicație să conțină elemente de noutate în raport cu cele anterioare, astfel încât, prin parcursarea lor, să se asimileze progresiv modul de operare al programului.

Toate aplicațiile au fost realizate utilizând versiunea 4 a programului **Cosmos Design Star**, dar aceasta nu constituie o limitare pentru lucrul cu alte versiuni. Modelele analizate au fost generate prin Autodesk Inventor, iar calculele de verificare s-au realizat prin Microsoft Excel.

Nu în ultimul rând, mulțumim dl. dipl. ing. Radu Canarache, manager al firmei IniCAD București, pentru sprijinul acordat Universității „Eftimie Murgu” Reșița, prin dotarea cu programul Cosmos în regim de licență academică, precum și prin colaborarea constantă cu autorii acestei lucrări.

La adresele de e-mail t.manescu@uem.ro și d.nedelcu@uem.ro aşteptăm sugestii, comentarii sau solicitări referitoare la lucrare sau la program.

Reșița, august 2005

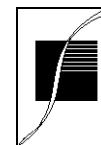
Tiberiu Ștefan Mănescu, Dorian Nedelcu

CUPRINS

PREFATĂ.....	5
CUPRINS.....	7
1. FUNDAMENTE COSMOS DESIGN STAR.....	11
1.1. Introducere	11
1.2. Tipuri de analiză disponibile	11
1.3. Caracteristici generale ale programului	12
1.4. Conceptul de studiu de analiză.....	14
1.5. Interfața Cosmos Design Star	14
1.5.1. Zona Visualizer.....	16
1.5.2. Selectia entităților	17
1.5.3. Meniuri contextuale.....	19
1.5.4. Truse de instrumente	25
1.5.5. Meniul principal	31
1.5.6. Adnotări.....	31
1.5.7. Componenta Color and Light Properties	31
1.5.8. Măsurători și proprietăți de masă	32
1.6. Considerații teoretice	33
1.6.1. Analiză statică lineară.....	33
1.6.1.1. Ipoteze	33
1.6.1.2. Procedura de calcul	34
1.6.1.3. Date de intrare	35
1.6.1.4. Date de ieșire	36
1.6.1.5. Încărări termice	38
1.6.1.6. Etape de calcul ale analizei statice lineare	38
1.6.2. Analiză modală.....	39
1.6.3. Analiză de flambaj liniarizată.....	40
1.7. Asociativitate cu sisteme CAD	41
1.8. Schițe 2D.....	41
1.8.1. Moduri de utilizare a schițelor	41
1.8.2. Generarea schițelor	42
1.8.3. Truse de instrumente asociate schițelor	42
1.8.4. Dimensionarea schițelor	44
1.8.5. Constrângeri aplicate schițelor	44
1.8.6. Crearea suprafețelor plane din schițe.....	45
1.8.7. Imprimarea unei schițe	45
1.8.8. Crearea suprafețelor din fețe ale modelului.....	45

1.9. Gestionearea studiilor de analiză.....	46
1.9.1. Crearea studiilor de analiză	46
1.9.2. Opțiuni asociate studiilor de analiză	48
1.9.2.1. Opțiuni asociate analizei statice lineare	48
1.9.2.2. Opțiuni asociate analizei modale	52
1.9.2.3. Opțiuni asociate analizei de flambaj liniarizată	52
1.10. Geometria referință.....	53
1.10.1. Geometrii referință și sisteme de referință implicate și locale	53
1.10.1.1. Puncte referințe locale.....	55
1.10.1.2. Axe referințe locale	55
1.10.1.3. Plane referințe locale.....	56
1.11. Definirea proprietăților de material	57
1.12. Încărări și condiții de frontieră	59
1.12.1. Condiții generale de aplicare	59
1.12.2. Condiții de aplicare adecvată a restrângerilor	61
1.12.3. Restrângerea deplasărilor	63
1.12.4. Încărări structurale	64
1.12.5. Încărări de masă	66
1.12.6. Încărări la distanță	67
1.12.7. Conexiuni rigide	70
1.12.8. Temperaturi	70
1.12.9. Simboluri ale încărărilor	71
1.13. Discretizarea modelului	71
1.13.1. Considerații generale	71
1.13.2. Tipuri de elemente finite	72
1.13.2.1. Elemente finite solide	72
1.13.2.2. Elemente finite de tip „shell”	73
1.13.2.3. Elemente finite de tip planar 2D	73
1.13.3. Comportarea elementelor „shell” și planar 2D	76
1.13.4. Parametrii discretizării	78
1.13.5. Declanșarea discretizării	81
1.13.6. Verificarea discretizării	82
1.13.7. Opțiuni de contact pentru studii statice	84
1.13.7.1. Condiții globale de contact	85
1.13.7.2. Condiții locale de contact de tip față la față	85
1.14. Calculul analizei	86
1.15. Vizualizarea rezultatelor	86
1.16. Criterii de rupere	87
1.16.1. Criteriul tensiunii maxime Von Mises	88
1.16.2. Criteriul tensiunii tangențiale maxime	89
1.16.3. Criteriul tensiunii Mohr-Coulomb	89
1.16.4. Criteriul tensiunii normale maxime	90

2. SOLICITARI SIMPLE.....	91
2.1. Întinderea unei bare de secțiune circulară.....	91
2.2. Întinderea unei plăci de secțiune dreptunghiulară.....	99
2.3. Studiul coeficientului de concentrare al tensiunilor pentru o bară cilindrică cu gaură transversală.....	112
2.4. Întinderea unui tub datorită variației temperaturii	119
2.5. Solicitări axiale ale unui cilindru	123
2.6. Solicitări axiale ale unui cilindru cumulat cu efectul temperaturii	130
2.7. Compreziune ansamblu cilindru-manșon-disc	135
2.8. Întinderea unei bare sub efectul greutății proprii	147
2.9. Întinderea unei bare de secțiune variabilă.....	151
2.10. Încovoierea unei bare prismatice	154
2.11. Încovoierea unei bare prismatice cu multiple încărcări.....	163
2.12. Torsiunea unui cilindru	167
2.13. Torsiunea unei bare prismatice	172
2.14. Torsiunea unei bare cu două tronsoane	175
2.15. Flambajul unei bare.....	179
2.16. Flambajul unei bare cu două tronsoane cilindrice.....	182
3. SOLICITARI COMPUSE.....	185
3.1. Încovoierea cu compresiune a unei bare de secțiune circulară	191
3.2. Încovoierea cu torsiune a unei bare prismatice	196
3.3. Solicitarea unui cadru cilindric	200
3.4. Solicitarea unui cadru prismatic	204
3.5. Solicitarea unui sistem de două bare prismatice	209
3.6. Solicitarea unei grinzi dublu încastrate	214
3.7. Solicitarea unei grinzi încastrate la un capăt și rezemate la capătul opus....	220
3.8. Solicitarea triaxială a unui cub	220
3.9. Solicitarea unui capac simplu rezemat	223
3.10. Analiza unei vane fluture biplane	226
BIBLIOGRAFIE.....	231



Structural Research & Analysis Corporation

Romanian Distributor

COSMOSM Products


Cimatron
 Innovative Solutions for Manufacturing


SIMPOE MOLD
 distributor


QUANTECH

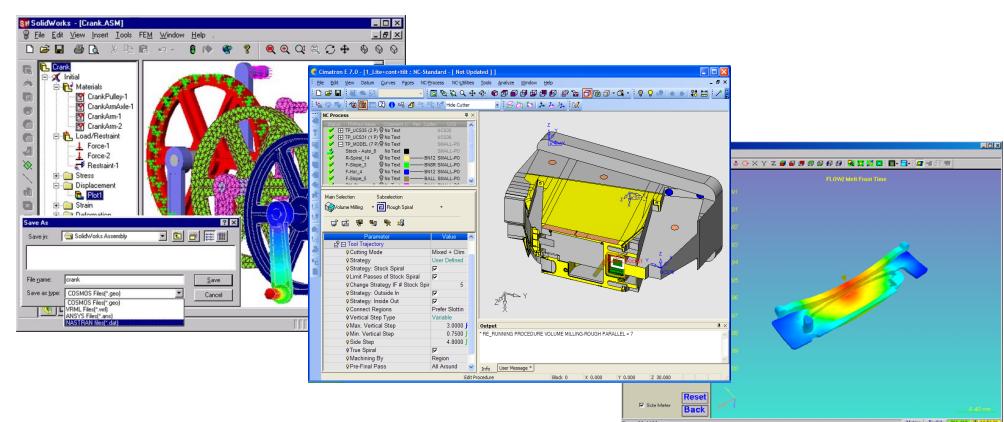
STAMPACK
 distributor
**INICAD DESIGN**

Str. Popa Tatu 20, 1 Bucuresti 010801

Mobil: 0722285147; 0721244200, Tel-Fax: 021-3124661,

E-mail: inicad@zappmobile.ro, lucian.gruionu@rdslink.rowww.inicad.ro**Domenii de activitate:**

- Inginerie Civilă**
- Proiectare de construcții civile și industriale
 - Expertize ale construcțiilor existente
 - Proiectare mecanisme și ansamble mecanice
- Inginerie Mecanică**
- Proiectare de mătrițe (ambutisare, injecție).
 - Analiza structurală prin metoda elementelor finite
 - Conversie CAD 2D <-> 3D a desenelor industriale utilizând o largă paletă software: Pro/Engineer, SolidWorks, Autodesk/Inventor, Autodesk/Mechanical
- Biomecanică**
- Studii asupra anatomiei (sistem cardiovascular și locomotor),
 - Proiectarea și analiza dispozitivelor de protezare,
 - Întreaga gamă de produse Cosmos (DesignSTAR, Cosmos/M, Cosmos/Motion, Cosmos/Flow, CosmosWorks) ale firmei SRAC (www.cosmosm.com);
- Distribuție Software**
- CIMATRON al firmei Cimatron Ltd. (www.cimatron.com) pentru proiectare mătrițe și comenzi numerice;
 - SIMPOE al firmei Simpoet Technology Inc. pentru proiectare mătrițe de injecție mase plastice,
 - STAMPACK al firmei Quantech pentru mătrițe de ambutisare a pieselor din tabă,
 - FLAC al firmei Itasca (www.itascacg.com) de analiza cu elemente finite
 - Subdistribuitor al programelor de proiectare pentru constructii ARCHE / EFFEL



Capitolul 1

FUNDAMENTE COSMOS DESIGN STAR

1.1. Introducere

Proiectarea unei piese trebuie să corespundă unor criterii dimensionale și funcționale impuse. Aspectul dimensional al proiectării este mai ușor de abordat în raport cu cel funcțional, deoarece reprezintă o concepție inginerescă concretizată prin formă, dimensiuni, conținut, în urma căreia rezultă echivalentul piesei reale concretizată printr-un desen de execuție, admis ca fiind limbajul universal de comunicare a inginerilor. Aspectul funcțional al proiectării reprezintă însă o problematică mai complexă, generată de incertitudinile privind funcționarea corectă a acesteia: va rezista piesa la solicitările reale, este supradimensionată, materialul ales corespunde, deformarea piesei va depăși limitele impuse, comportamentul acesteia corelat cu piesele învecinate etc. Teoriile clasice de dimensionare implică schematizarea modelului și aplicarea unor ipoteze simplificatoare, impuse de metoda de calcul aplicată. Posibilitatea experimentării pe modele poate oferi un răspuns mai apropiat de realitate, dar cu prețul unui consum mare de timp, manoperă, investiție umană și bineînțeles costuri suplimentare, ceea ce nu este întotdeauna rentabil. Desigur că o alternativă salvatoare la aceste probleme o constituie programele de simulare și analiză funcțională specializate pe diferite domenii. Astfel de programe oferă proiectantului puternice instrumente de studiu și analiză, ce permit fundamentarea tehnică a soluției optime prin selecția acesteia din numeroasele variante ce pot fi generate computerizat.

În cele ce urmează ne propunem o prezentare descriptivă și conceptuală a posibilitățile oferite de programul COSMOS Design Star.

1.2. Tipuri de analiză disponibile

COSMOS Design Star este un program performant de analiză cu elemente finite, în care sunt disponibile următoarele tipuri de analize:

- Analiză statică lineară și neliniară;
- Analiză modală: frecvențe proprii și moduri de vibrație;
- Calcul la flambaj;
- Transfer de căldură linear și neliniar în regim permanent și tranzitoriu;
- Curgeri de fluide;
- Analiză electromagnetică.

1.3. Caracteristici generale ale programului

Pentru versiunea Windows, principalele caracteristici ale programului sunt:

- Utilizează interfața de tip Windows Graphical User (GUI);
- Operare cu documente multiple deschise simultan, cu ferestre multiple asociate aceluiași document și cu vederi multiple în oricare din ferestre;
- Operează cu geometrii modelate prin diverse nuclele grafice: Parasolid, ACIS și STEP AP203; pot fi importate modele din majoritatea programelor CAD existente; asociativitate completă cu programele CAD: Autodesk Inventor, Solid Edge și SolidWorks; citește direct geometrii din CAIA și Pro/Engineer;
- Tehnologia OLE (Object Linking & Embedding) integrată cu cele mai populare programe: WORD, EXCEL și MathCAD;
- Operează cu tehnica drag & drop;
- Automatizarea operației de discretizare și instrument de diagnosticare a problemelor de discretizare; discretizarea ansamblelor complexe;
- Restrângerile și încărcările se aplică geometriei și nu nodurilor sau elementelor, pe direcții globale sau arbitrar; suportă sisteme de coordonate cartezian, cilindric și sferic;
- Se oferă posibilitatea definirii unor geometrii locale de referință (punkte, axe respectiv plane), care pot fi utilizate pentru definirea direcției încărcărilor și restrângerilor;
- Tipuri de restrângeră și încărcări pentru analiză structurală: deplasări prescrise, forțe, moment de torsion, presiuni, încărcări la distanță, conexiuni rigide pentru ansamblu, încărcări termice;
- O mare libertate în utilizarea unităților, atât prin posibilitatea de a defini un sistem implicit de unități de măsură, cât și prin libertatea selecției individuale a acestora la introducerea mărimilor și afișarea rezultatelor;
- Analiză de ansamblu cu interstiții și frecări, deplasări mari cu contact de suprafețe și frecare;
- Afișarea rezultatelor utilizând tehnica grafică OpenGL; vizualizarea dinamică a rezultatelor grafice: tensiuni, deformații, energie, erori, alungiri, forțe de reacție, hărți de culori și liste numerice; suprapunerea modelului original peste cel deformat; vizualizare dinamică a secțiunilor și isoliniilor; preluarea de valori punctuale; vizualizarea hărților de culori pentru ansamblu în variantă explodată;
- Generarea automată a rapoartelor în format HTML, cu includerea informațiilor textuale, numerice și grafice asociate analizei;
- Bibliotecă de materiale;
- Exportul spre alte programe de analiză cu element finit: Ansys, Nastran, Patran, Ideas.

Analiza cu elemente finite conduce în final către un sistem de ecuații, a cărui mărime depinde de complexitatea modelului analizat și a cărui rezolvare necesită aplicarea unor metode numerice performante pentru calculul soluției. DesignSTAR utilizează algoritmi deosebit de productivi și de precisi ("solver"), care lucrează de mai mult de 100 de ori mai repede comparativ cu tehnologiile clasice de rezolvare. DesignSTAR oferă posibilitatea utilizării a trei metode de rezolvare ("solver"): **Direct Sparse**, **FFE** respectiv **FFEPlus**, corelat și cu tipul de analiză efectuat, ultimul utilizând tehnici avansate de reordonare a matricilor, care se recomandă a se utiliza pentru probleme de mare complexitate.

Necesitătile hardware ale programului implică: sistem de operare Windows (orice versiune), monitor, mouse, procesor Pentium sau AMD, minim 128 MB RAM, cca. 90 MB pentru instalarea programului respectiv minim 200 MB spațiu disponibil pentru lucru.

Tehnica de lucru utilizată de program impune modelarea piesei sau ansamblului într-un program de proiectare specializat, model care trebuie salvat din programul CAD într-un format compatibil cu cele din lista disponibilă în DesignSTAR: fișiere COSMOS/DesignSTAR tip "part" (*.DgxPrt) respectiv "Assembly" (*.DgxAsm), fișiere Autodesk Inventor (*.ipt, *.iam), fișiere Solid Edge (*.par, *.psm), fișiere SolidWorks (*.sldprt), fișiere Parasolid (*.x_t, *.x_b, *.xmt_txt, *.xmt_bin), fișiere ACIS (*.sat), fișiere STEP (*.stp, *.step), fișiere IGES (*.igs, *.iges), fișiere Pro/ENGINEER (*.prt), fișiere CATIA (*.mod, *.model).

Modificări asupra geometriei nu pot fi efectuate în Design Star, cu excepția suprimării sau nu a unor părți componente ale modelului, operație prin care se evită sau nu luarea acestora în considerare în calculul analizei. Există însă posibilitatea unei conectări directe între programe CAD și Design Star, cu efectul autoajustării restrângerilor, încărcărilor, discretizării și a altor specificații ca răspuns la modificări geometrice efectuate în programul CAD. Opțiunea de conectivitate este disponibilă pentru programele Solid Works, Solid Edge și Autodesk Inventor.

În versiunea 4 a programului Cosmos Design Star se pot crea schițe plane, pe baza cărora se pot genera geometrii plane pentru studii de tip 2D sau Shell. Studiile planare pot reprezenta modele axial simetrice, modele lungi generate prin extrudare sau modele extrudate de grosime mică. Elementele planare se pot deforma numai în planul schiței. Schițele pot fi utilizate și pentru a fi proiectate pe fețe existente ale unui model, generând astfel posibilitatea aplicării pe zone limitate a restrângerilor, forțelor, condițiilor de contact și condițiilor locale de discretizare.

Design Star oferă posibilitatea utilizării unor curbe funcționale, definite punctual, curbe specifice tipului de analiză abordat: curbe temporale pentru analize neliniare și termice tranzitorii, ce pot descrie variația în timp a încărcărilor și a condițiilor de frontieră, curbe de temperatură pentru analize structurale și termice, ce pot descrie dependența proprietăților de material funcție de temperatură și curbe utilizate în curgeri de fluide, ce pot descrie variația debitului funcție de presiune pentru pompe sau ventilatoare.

Fișierele specifice Cosmos Design Star au următoarele extensii:

- *.DgxPrt - pentru modele individuale (part);
- *.DgxAsm - pentru ansamble compuse din multiple modele individuale.

Aceste fișiere conțin informațiile referitoare la studiul de analiză, inclusiv geometrie și discretizare.

1.4. Conceptul de studiu de analiză

Analiza unui model sau ansamblu poate fi efectuată pe mai multe variante ce diferă una de alta prin tipurile și valorile condițiilor impuse (restrângerii, încărcării, materiale, tipuri de discretizare etc.).

Pentru o geometrie dată, se pot realiza mai multe studii, fiecare dintre acestea fiind identificate printr-un tip de analiză asociată studiului și prin numele acestuia. Conceptul de studiu de analiză constă într-o analiză pentru valori fixate ale condițiilor impuse:

- tip de analiză și opțiuni asociate;
- materiale;
- un set de încărcări și restrângerii;
- un tip de discretizare.

Modificarea oricăreia din aceste caracteristici se poate realiza, dar noua analiză va înlocui rezultatele analizei anterioare. Ca alternativă, se poate crea un nou studiu de analiză, în care se preiau caracteristicile studiului anterior și se modifica numai caracteristicile necesare; în această a doua variantă, rezultatele noului studiu sunt generate în paralel cu cele ale primului studiu și se poate realiza o analiză comparativă a acestora. De exemplu, se pot crea două studii identice, care diferă numai prin valoarea încărcării aplicate.

La modificarea unui studiu, se poate modifica totul, exceptând tipul de analiză asociată studiului și numele acestuia.

Rezultatele fiecărei analize sunt memorate în fișiere separate, a căror denumire este generată după următoarea regulă: la numele fișierului geometriei se adaugă numele studiului de analiză.

1.5. Interfața Cosmos Design Star

Elementele principale ale interfeței Cosmos Design Star sunt prezentate în figura 1.1:

- meniul principal, localizat implicit pe latura superioară;
- truse de instrumente, ancorabile pe laturile ferestrei principale Design Star;
- zona **Visualizer** este plasată în stânga ferestrei Cosmos Design Star (figura 1.1) și reunește toate elementele specifice unei analize sub forma unei structuri arborescente;

- zona grafică – este destinată afișării geometriei, marcării restrângerilor și încărărilor, afișării discretizării, precum și a rezultatelor analizei; se pot deschide noi ferestre grafice; de asemenea o fereastră poate fi divizată multiple vederi, prin intermediul controalelor verticale-orizontale de divizare;
- axe sistem de referință – vor fi afișate în zona grafică sub forma unui triedru cu direcțiilor pozitive ale axelor X, Y, Z.

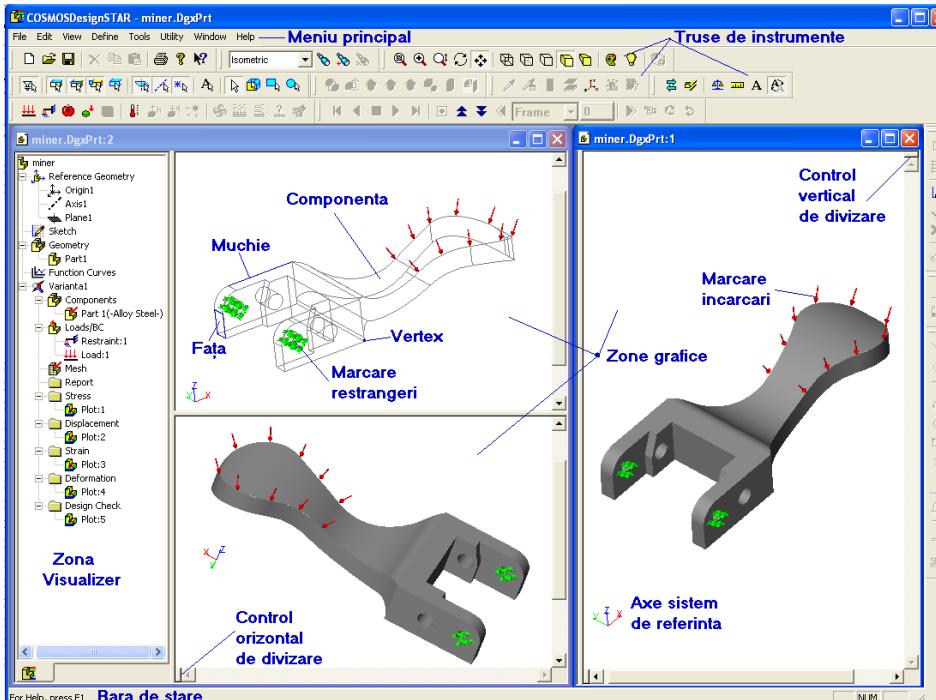


Figura 1.1

Operarea meniului, a truselor de instrumente și a ferestrelor se realizează conform modalităților clasice ale sistemului de operare Windows;

Cosmos Design Star operează cu următoarele entități geometrice, figura 1.1:

- față (**face**) – o suprafață a geometriei;
- muchie (**edge**) – o muchie a geometriei;
- punct (**vertex**) – un punct al geometriei;
- componentă (**components**) – parte individuală sau aparținătoare a unui ansamblu.

Cosmos Design Star oferă următoarele taste de apel ce pot fi utilizate pentru modificarea orientării geometriei:

- **F** – vedere **Front**;
- **B** – comutarea alternativă între orientările **Bottom** și **Back**;
- **T** – vedere **Top**;
- **N** – vedere normală pe un plan sau față selectată;

- **H** – oglindește modelul cu 180° orizontal (în jurul axei ecran verticale);
- **V** – oglindește modelul cu 180° vertical (în jurul axei ecran orizontale).

Bara de stare plasată la baza ferestrei Cosmos Design Star (figura 1.1) afișează informații uzuale asupra comenzi curente, mesaje sau informații punctuale. Afișarea sau eliminarea acesteia se poate realiza prin opțiunea **Status Bar** din bara meniului principal **View**.

1.5.1. Zona Visualizer

Zona **Visualizer** este o structură de tip arbore; arborele conține mai multe intrări, fiecare intrare poate avea subordonate alte intrări; nivelul de subordonare depinde concret de tipul fiecărei intrări în parte; astfel, fiecărui studiu îi corespunde câte o icoană și un folder în această zonă, asociate numelui alocat al studiului; fiecărei componente a studiului îi corespunde câte o icoană și un folder, subordonate studiului, acestea fiind create automat la crearea studiului; de exemplu la crearea unui studiu de analiză statică se vor crea automat intrările: **Components**, **Loads/BC**, **Mesh** și **Report**; acestea vor fi folosite pe parcursul analizei pentru specificarea opțiunilor asociate acestora; după analiză, Cosmos Design Star va crea automat câte o intrare pentru fiecare tip de rezultat al analizei; acestea pot fi utilizate pentru vizualizarea rezultatelor analizei; de exemplu după analiza unui studiu de analiză statică se vor crea automat intrările: **Stress**, **Displacement**, **Strain**, **Deformation** și **Design Check**; tehnica accesului la opțiuni disponibile pentru intrări este implementată prin meniuri contextuale, activabile prin buton dreapta mouse pe numele intrării (& 1.5.3).

Prima intrare din zona **Visualizer**, plasată în zona superioară a acesteia, se numește **Part** dacă geometria este constituită dintr-o piesă individuală respectiv **Assembly** pentru geometrie constituită dintr-un ansamblu de piese.

Utilizând zona **Visualizer** pot fi efectuate ușor următoarele acțiuni:

- definirea și gestionarea studiilor de analiză;
- accesul la opțiuni prin meniu contextual, activat prin buton dreapta mouse;
- atribuire de materiale, aplicare de restrângerii și încărările;
- controlul discretizării și declanșarea procesului de discretizare;
- execuția analizei și exportul analizei spre alte programe;
- accesarea rezultatelor analizei și modificarea caracteristicilor acestora;
- redenumirea intrărilor, prin dublu click stânga lent (cu o scurtă pauză între cele două punctări stânga mouse);
- modificarea caracteristicilor unei intrări, prin selecția opțiunii **Edit Definition**, din meniu contextual generat prin buton dreapta mouse;
- salvarea imaginilor și animațiilor și generarea rapoartelor.

Convenții ale zonei **Visualizer**:

- semnul „+” în stânga unei intrări existența unor intrări subordonate;
- expandarea unei intrări pentru a desfășura intrările subordonate se realizează prin punctarea semnului „+”; semnul se va transforma în „-“;
- comprimarea unei intrări pentru ascunderea intrărilor subordonate se realizează prin punctarea semnului „-“; semnul se va transforma în „+“;

- un semn de verificare „✓” indică faptul că intrarea a fost complet sau parțial definită, din punct de vedere a caracteristicilor;
- semnul „X” indică faptul că intrarea nu a definită, din punct de vedere a caracteristicilor.

Utilizând tehnica drag & drop se pot copia elemente de la un studiu la altul, evitând astfel redefinirea sau recalcularea acestora. De exemplu discretizarea unei geometrii poate fi calculată o singură dată și apoi copiată la alte studii asociate aceleiași geometrii; de asemenea atribuirea de materiale sau aplicarea de restrângeri sau încărcări.

Tehnica drag & drop constă în punctarea în zona **Visualizer** a unui element sursă supus copierii, deplasarea cu butonul stâng mouse apăsat, până la atingerea elementului corespondent dintr-un alt studiu și eliberarea butonului mouse; efectul final va consta în copierea caracteristicii selectate de la sursă la destinație; pe timpul deplasării, numai destinațiile valide sunt evidențiate, prin afișarea acestora în culoarea de selecție, iar tipul de analiză trebuie să fie același și pentru sursă, cât și pentru destinație. Operația se poate realiza și prin tehnica **Copy – Paste** specifică mediului Windows.

1.5.2. Selecția entităților

Operația de selecție este necesară la specificarea restrângerilor și încărcărilor sau la specificarea geometriei pentru definirea unei discretizări particularizate. Selecția poate fi efectuată numai în modul **Shade** sau **Wireframe**. Selecția poate fi realizată în orice fereastră, dacă sunt deschise mai multe ferestre și se poate realiza la pregătirea unui model pentru analiză sau la vizualizarea rezultatelor. În urma selecției elementul selectat va fi afișat în culoarea de selecție.

Sunt disponibile patru moduri de selecție, dar numai unul dintre acestea poate fi activ la un moment dat:

- modul **Normal** - selecția individuală se realizează prin click stânga mouse pe entitatea dorită acest mod de selecție este reactivat automat după utilizarea oricărei din celelalte moduri de selecție;
- modul **Rectangular window** - selecția se realizează printr-o plasă dreptunghiulară de selecție; se vor selecta entitățile complet incluse în plasă; selecția se aplică entităților vizibile și ascunse;
- modul **Circular window** - selecția se realizează printr-o plasă circulară de selecție; se vor selecta entitățile complet incluse în plasă; selecția se aplică entităților vizibile și ascunse;
- modul **Extend to Tangential** - acest mod de selecție este specific pentru muchii și fețe; se vor selecta grupuri de muchii sau fețe tangente unele în raport cu celelalte; grupul de entități va fi selectat la selecția oricărui membru al său; două muchii sunt considerate tangențiale dacă cel mai mic unghi dintre ele este egal sau mai mic decât un grad.

Pentru modurile **Rectangular window** respectiv **Circular window**, în afară de entitățile complet incluse în plasă, vor mai fi selectate:

- fețele planare cu colțuri, dacă cel puțin un colț este inclus în plasă;
- muchiile drepte, dacă cel puțin un colț din cele două este inclus în plasă;
- fețele planare muchii curbate, dacă o porțiune majoritară a unei muchii este inclusă în plasă;
- muchiile curbate, dacă o porțiune majoritară a muchiei este inclusă în plasă;
- o față neplanară, dacă un colț, o porțiune majoritară a unei muchii sau a suprafeței sunt incluse în plasă.

Selecția entităților interioare se poate realiza numai în modul **Wireframe**. Prin click stânga mouse se va puncta în zona entității dorite; inițial se va selecta entitatea exterioară; prin click dreapta mouse se realizează selecția succesivă a entităților suprapuse, până la selecția celei dorite. Prin acest procedeu vor fi parcursе succesiv numai entitățile intersectate de o linie normală la ecran în punctul inițial, specificat prin click stânga mouse.

Selecția se poate realiza și din zona **Visualizer**, prin click stânga mouse pe entitatea dorită.

Selecția multiplă se obține cu menținerea apăsată a tastei **Ctrl**. Anularea selecției se realizează prin click stânga mouse în zona grafică, fără intersectarea vreunei entități.

Trusa de instrumente **Selection** permite definirea comportamentului operației de selecție. Trusa se poate vizualiza din meniul principal, în succesiunea: **View → Toolbars → Selection**.

	Toggle Selection	Activează sau dezactivează operația de selecție a entităților; prin activare entitățile pot fi selectate; prin dezactivare entitățile nu pot fi selectate.
	Toggle Face	Activează sau împiedică selecția entităților de tip față.
	Toggle Edge	Activează sau împiedică selecția entităților de tip muchii.
	Toggle Vertex	Activează sau împiedică selecția entităților de tip vertex.
	Toggle Component	Activează sau împiedică selecția entităților de tip componentă.
	Toggle Reference Plane	Activează sau împiedică selecția entităților de tip plan de referință.
	Toggle Reference Axis	Activează sau împiedică selecția entităților de tip axă de referință.
	Toggle Reference Point	Activează sau împiedică selecția entităților de tip punct de referință.
	Toggle Note	Comută între varianta de selecție a notelor sau a entităților în zona grafică.

	Activate Normal Selection	Impune modul Normal de selecție.
	Activate selection by Rectangular window	Impune modul de selecție Rectangular window .
	Activate selection by a circular window	Impune modul de selecție Circular window .
	Activate selection of tangent entities	Impune modul de selecție Extend to Tangential (pentru muchii și fețe).

1.5.3. Meniuri contextuale

Meniul contextual se activează prin click dreapta mouse pe o intrare din zona **Visualizer** și oferă o posibilitatea de acces rapid la opțiuni specifice intrării curent accesate de cursorul mouse. Conținutul meniului este contextual, în sensul că opțiunile oferite de meniu depind de intrarea accesată. Desigur că opțiunile sunt disponibile și din meniul principal sau din truse de instrumente, dar meniul contextual oferă o cale mai rapidă de accesare a acestora.

În continuare vor fi sintetizate opțiunile de meniu corespunzătoare fiecărui tip de intrare din zona **Visualizer**.

Intrarea Part sau Assembly	
Study	Crearea unui nou studiu de analiză.
Run All Studies	Calculul tuturor studiilor de analiză.
Connect to CAD System	Realizează conexiunea cu sistemul CAD asociat documentului deschis, pentru modificarea geometriei.
Update Geometry	Actualizează geometria, în urma modificărilor realizate în sistemul CAD asociat documentului deschis.
Paste	Realizează readucerea din Clipboard a unui studiu de analiză
Options	Vizualizarea sau modificarea opțiunilor active (preferințelor programului).

Intrarea Reference Geometry	
Show All	Afișează în zona grafică simbolurile entităților referință.
Hide All	Ascunde simbolurile entităților referință.
Point	Creează un punct referință.
Axis	Creează o axă referință.
Plane	Creează un plan referință.
Intrare subordonată intrării Reference Geometry	
Show	Afișează în zona grafică simbolul referinței accesate.
Hide	Ascunde simbolul referinței accesate.
Edit Definition	Permite modificarea referinței accesate.
Delete	Șterge referința accesată.

Intrarea Sketch	
Show All	Afișează în zona grafică schițele definite.
Hide All	Ascunde schițele definite.
Define	Deschide o nouă schiță pe o față sau referință plană.
Intrare subordonată intrării Sketch	
Hide	Ascunde schița accesată.
Edit Definition	Permite modificarea schiței accesate.
Properties	Deschide fereastra Sketch Properties pentru specificarea numelui schiței, unităților și a caracteristicilor grid-ului.
Delete	Șterge schița accesată.

Intrarea Geometry	
Show All	Afișează în zona grafică toate geometriile asociate analizei.
Hide All	Ascunde geometriile asociate analizei.
Show Solids Only	Afișează numai geometriile de tip solid.
Show Sheets Only	Afișează numai geometriile de tip suprafață.
Create Sheet from Sketches	Deschide fereastra Edit/Define Sheet from Sketches pentru a defini o suprafață utilizând ca bază o schiță; suprafața se va crea în planul schiței sau într-un plan paralel la o distanță specificată; se pot impune informații geometrice din alte schițe în schița de bază.
Create Sheet on Selected Faces	Deschide fereastra Create Sheet from Sketches pentru a defini suprafete pe fețe selectate ale modelului; se poate impune crearea către unei suprafete pentru fiecare față selectată; de asemenea se pot specifica schițe din care se preiau informații geometrice și aplicate pe fiecare față.

Intrare subordonată intrării Geometry	
Hide	Ascunde geometria accesată.
Edit/Define Geometry	Pentru geometrie de tip solid, deschide fereastra Imprint on Solid/Sheet Geometry pentru editare/aplicare/proiectare contur al unei schițe pe fețe ale solidului; pentru geometrie de tip suprafață deschide fereastra Edit/Define Sheets from Sketches pentru editarea definiției suprafeței selectate.
Delete	Șterge geometria accesată.

Intrarea Curves	
Define	Definește o curbă funcțională.
Delete All	Șterge toate curbele definite.
Intrare subordonată intrării Curves	
Edit Definition	Modifică definiția unei curbe funcționale.
Delete	Șterge curba accesată.

Intrare corespunzătoare unui studiu de analiză	
Run	Calculul studiului de analiză accesat.
Export	Exportă studiul spre GEOSTAR, ANSYS sau NASTRAN.
Details	Afișează caracteristicile studiului accesat (tip discretizare, solver etc.).
Properties	Permite vizualizarea sau modificarea proprietăților unui studiu.
Copy	Copiere studiu în Clipboard . Acesta poate fi readus din Clipboard pe prima icoană din zona Visualizer .
Paste	Readuce din Clipboard o intrare dintr-un studiu de analiză pentru un studiu destinație compatibil cu sursa.
Delete	Șterge studiul de analiză accesat.

Intrarea Components	
Show All	Afișează în zona grafică toate componentele geometriei.
Hide All	Ascunde toate componentele geometriei.
Apply Material to All	Atribuie materialul selectat tuturor componentelor geometriei.
Copy Material	Copiază materialul în Clipboard . Ulterior, materialul poate fi atribuit, prin operația Paste , unei componente din alt studiu.
Paste Material	Atribuie materialul din Clipboard unei componente dintr-un studiu de analiză.

Intrare subordonată intrării Components

Hide	Ascunde componenta accesată.
Show	Afișează în zona grafică componenta accesată.
Suppress/Unsuppress	Suprimă sau elimină suprimarea componentei accesate. O componentă suprimată în timpul discretizării nu va fi inclusă în calcul analizei. După eliminarea suprimării, trebuie refăcută discretizarea.
Apply/Edit Material	Atribuie sau modifică materialul pentru componenta accesată.
Copy Material	Copiază în Clipboard materialul componentei selectate. Ulterior, materialul poate fi atribuit, prin operația Paste , unei componente din alt studiu.
Paste Material	Atribuie materialul din Clipboard componentei accesate.

Intrarea Sheets	
Apply Material to All	Atribuie materialul selectat tuturor suprafețelor geometriei.
Copy	Copiază un material în Clipboard .
Paste	Atribuie materialul din Clipboard unei suprafețe dintr-un studiu de analiză.

Intrare subordonată intrării Sheets	
Hide	Ascunde suprafața accesată.
Show	Afișează în zona grafică suprafața accesată.
Suppress/Unsuppress	Suprimă sau elimină suprimarea suprafeței accesate. O suprafață suprimată în timpul discretizării nu va fi inclusă în calcul analizei. După eliminarea suprimării trebuie refăcută discretizarea.
Options	Pentru studii cu discretizare de tip Shell , opțiunea modifică grosimea asociată suprafeței și tipul de formulare. Pentru studii cu discretizare de tip 2D Planar , opțiunea modifică tipul de formulare (plane stress sau plane strain), iar în cazul primei formulări permite modificarea grosimii suprafeței. Opțiunea nu este validă pentru studii cu discretizare de tip 2D Axisymmetric .
Apply/Edit Material	Atribuie sau modifică materialul pentru suprafața accesată.
Copy	Copiază în Clipboard proprietățile suprafeței selectate (grosime și material). Ulterior, acestea pot fi atribuite, prin operația Paste , unei suprafețe din alt studiu.
Paste	Atribuie proprietățile din Clipboard suprafeței accesate.
Intrarea Loads/BC	
Hide All	Ascunde toate simbolurile restrângerilor și încărcărilor.
Show All	Afișează în zona grafică toate simbolurile restrângerilor și încărcărilor.
Restraints, Loads, Body Loads, Remote Loads, Rigid Connection, Temperature	Opțiuni disponibile pentru studii structurale (analiză statică, frecvențe proprii, flambaj, studii neliniare).
Temperature, Convection, Heat Load, Radiation	Opțiuni disponibile pentru studii termice.
Velocity, Pressure, Fan curve, Scalar, Unknown, Temperature, Convection, Heat Load, Body Load, Radiation	Opțiuni disponibile pentru studiul curgerii fluidelor.
Copy	Copiază intrările subordonate în Clipboard . Ulterior, acestea pot fi atribuite, prin operația Paste , unui alt studiu.
Paste	Atribuie intrările din Clipboard unui alt studiu de analiză.
Delete	Șterge toate intrările subordonate.

Intrare subordonată intrării Loads/BC	
Hide	Ascunde simbolul restrângerii sau încărcării accesate.
Show	Afișează în zona grafică simbolul restrângerii sau încărcării accesate.
Suppress	Suprimă restrângerea sau încărcarea accesată; efectul este neincluderea acesteia în analiză.
Unsuppress	Elimină suprimarea unei restrângerii sau încărcării accesate; efectul este includerea acesteia în analiză.
Edit Definition	Atribuie sau modifică definiția restrângerii sau încărcării accesate.
Delete	Șterge restrângerea sau încărcarea accesată.
Copy	Copiază în Clipboard restrângerea sau încărcarea accesată. Ulterior, acestea pot fi atribuite, prin operația Paste , unei intrări Loads/BC din alt studiu.
Paste	Readuce din Clipboard intrările de tip Loads/BC .

Intrarea Contact/Gaps

Este disponibilă numai pentru studii statice și termice ale ansamblelor.

Touching Faces: Bonded, Free, Node to Node	Condiții globale de contact pentru fețe ale ansamblului care se ating.
Define Contact Pair	Definește condiții de contact pentru fețe pereche selectate (contact față la față). Acestea sunt prioritare față de condițiile de contact de tip global sau componentă.
Define Contact for Components	Definește condiții de contact pentru toate fețele componentelor selectate, care se ating de fețele altor componente. Acestea sunt prioritare față de condițiile de contact de tip global.
Copy	Copiază în Clipboard condițiile de contact selectate.
Paste	Readuce din Clipboard condițiile de contact existente.

Intrare subordonată intrării Contact/Gaps

Hide	Ascunde simbolul contactului accesat.
Show	Afișează în zona grafică simbolul contactului accesat.
Suppress	Suprimă tipul de contact accesat; efectul este neincluderea acestuia în analiză.
Unsuppress	Elimină suprimarea contactului accesat; efectul este includerea acestuia în analiză.
Edit Definition	Atribuie sau modifică definiția contactului accesat.
Copy	Copiază în Clipboard definiția contactului accesat. Ulterior, aceasta poate fi atribuită, prin operația Paste , unei intrări Contact/Gaps din alt studiu.
Paste	Readuce din Clipboard intrările de tip Contact/Gaps .
Delete	Șterge definiția de contact accesată.

Intrarea Mesh	
Hide/Show Mesh	Ascunde sau afișează discretizarea.
Hide/Show All Controls Symbols	Ascunde sau afișează simbolurile asociate discretizării.
Apply Control	Aplică o discretizare locală entităților selectate.
Create	Creează sau recalculează discretizarea utilizând caracteristicile active.
Flip Shell Elements	Inversează caracteristica Top / Bottom pentru entitățile de tip shell asociată fețelor selectate. Opțiunea se va utiliza pentru a alinia fețe adiacente și a genera aceeași orientare. Suprafețe shell incorect aliniate (suprafețe top aliniate cu suprafețe bottom) pot genera rezultate incorecte.
Copy	Copiază în Clipboard discretizarea accesată. Ulterior, aceasta poate fi atribuită, prin operația Paste , unui alt studiu.
Paste	Readuce din Clipboard discretizarea.
Failure Diagnostics	Atunci când operația de discretizare eșuează, opțiunea permite identificarea componentelor care au contribuit la eșuire și oferă sugestii de remediere.
Detail Options	Afișează informații detaliate despre discretizare.
	Permite sau afișează opțiunile active ale discretizării. La modificarea acestora, discretizarea trebuie reluată.

Intrare subordonată intrării Mesh

Hide/Show	Ascunde sau afișează simbolul discretizării locale
Suppress/ Unsuppress	Suprimă sau elimină suprimarea condițiilor unei discretizări locale; condițiile suplimentare ale unei discretizări locale suprimate nu sunt luate în considerare la declanșarea operației de discretizare.
Edit Define	Atribuie sau modifică definiția discretizării locale accesate.
Copy	Copiază în Clipboard condițiile discretizării accesate. Ulterior, acestea pot fi atribuite, prin operația Paste , unei intrări Mesh din alt studiu.
Paste	Readuce din Clipboard condițiile discretizării.
Delete	Șterge condițiile discretizării accesate.

Intrarea Result

Este creată automat după calculul analizei; intrările create depind de tipul de analiză asociat studiului.

Define	Permite definirea unei noi ferestre de rezultate grafice.
List	Listarea rezultatelor sub formă numerică.
Copy	Copierea conținutului intrării în Clipboard . Informațiile pot fi preluate pentru un alt studiu de același tip, pentru care s-a efectuat calculul și vor fi utilizate ca și machetă de afișare grafică a rezultatelor.

Paste	Preluarea din Clipboard a informațiilor pentru o intrare de același tip cu cea pentru care s-a făcut copierea.
Reaction Forces	Listează forțele de reacție pentru entitățile selectate. Opțiunea este disponibilă pentru intrarea Displacement generată pentru studiile de analiză statică și neliniare.
Contact Force	Listează forțele de contact pentru entitățile selectate. Opțiunea este disponibilă pentru intrarea Stress generată pentru studiile de analiză statică și neliniare.
List Mode Shape	Listează frecvențele de rezonanță pentru studiile de frecvență sau factorul critic de flambaj pentru studiile de flambaj. Opțiunea disponibilă pentru studiile de frecvențe și flambaj.
Response	Intrare creată pentru studiile neliniare și termice tranzitorii și permite definirea graficului istoriei răspunsului cantitativ în poziții selectate în definirea proprietăților studiului.
Intrare subordonată intrării Result	
Edit Definition	Permite definirea sau modificarea definiției ferestrei de rezultate grafice.
Copy	Copiază în Clipboard fereastra de rezultate grafice.
Paste	Preia din Clipboard informațiilor pentru o intrare de același tip cu cea pentru care s-a făcut copierea.
Delete	Șterge fereastra de rezultate grafice.

1.5.4. Truse de instrumente

Trusele de instrumente permit accesul rapid la operații frecvent utilizate în timpul analizei. Trusele de instrumente pot fi ascunse/afișate și mutate în poziția dorită. Mutarea unei truse se realizează prin agățarea frontierei și deplasarea în poziția dorită. Deplasarea unei truse în afara marginilor ferestrei Cosmos Design Star transformă trusa din modalitatea ancorată în modalitatea flotantă.

Afișarea sau ascunderea unei truse se realizează din meniul principal în succesiunea **View**→**Toolbars**→ selecția opțiunii corespunzătoare trusei.

Trusa poate fi extinsă orizontal/vertical prin agățarea marginii și deplasarea cursorului în direcția dorită.

Trusele de instrumente disponibile sunt următoarele: **Standard**, **View**, **Orientation**, **Selection**, **Results Tools**, **Animation**, **Loads/BC**, **Geometry Tools**, **Sketch**, **Sketch Relations**, **Sketch Tools**, **Assembly Explode**. În continuare vor fi parcurse sintetic trusele de instrumente.

Trusa de instrumente **Selection** este detaliată în & 1.5.2, iar cele de schițare **Sketch**, **Sketch Relations**, **Sketch Tools** în & 1.8.3.

Trusa de instrumente Standard		
	Standard	
	New	Creează un nou document.
	Open	Deschide un document existent de tip Cosmos Design Star sau de tip CAD.
	Save	Salvează fișierul activ (cu baza de date asociată).
	Delete	Șterge intrările selectate din zona Visualizer .
	Copy	Copiază în Clipboard intrările selectate în zona Visualizer .
	Paste	Preia din Clipboard informațiile existente.
	Print	Trimite la imprimantă fereastra activă de rezultate grafice.
	About	Afișează informații referitoare la Cosmos Design Star.
	Help	Activează fereastra de ajutor Help .

Trusa de instrumente View		
	View	
	Zoom to Fit	Produce vizualizarea întregului model, prin încadrarea tuturor părților sale în fereastra curentă.
	Zoom to Area	Produce vizualizarea unei zone a modelului, selectată prin două puncte, pentru specificarea unui cadru dreptunghiular care va include viitoarea zonă de vizualizat.
	Zoom Dynamically	Produce micșorarea / mărirea desenului funcție de mișcarea butonului stâng mouse menținut apăsat; micșorare - deplasare de jos în sus, mărire - deplasare de sus în jos.
	Rotate	Produce rotirea unei vederi dinamic asociate mișcării cursorului, cu butonul stâng mouse menținut apăsat.
	Pan	Produce translatarea desenului cu conservarea scării de vizualizare; se lansează comanda cu butonul stâng apăsat, concomitent cu deplasarea acestuia; la atingerea vederii dorite se eliberează butonul mouse.
	Wire Frame	Afișarea tuturor muchiilor modelului.
	Hidden in Gray	Afișează muchiile ascunse ale modelului în nuanță de gri, iar cele vizibile în negru.

	Hidden Lines Removed	Afișarea numai a muchiilor vizibile ale modelului.
	Shade	Afișează fețele modelului umplute în culoarea atribuită.
	Perspective	Mod de afișare în care liniile de proiecție ale geometriei converg către un punct, similar privirii umane, astfel încât entitățile depărtate par mai mici decât cele mai apropiate.
	Edit color	Controlează culoarea modelului și permite stabilirea opțiunilor de transparență.
	Lighting	Modifică direcția, intensitatea și culoarea sursei de lumină pentru modul Shade .
	Toggle Model/Results	Afișează sau ascunde discretizarea sau rezultatele grafice suprapuse peste model, comutând aceste variante cu afișarea singulară a modelului.

Trusa de instrumente Geometry Tools

	Oferă instrumente pentru controlul conexiunii cu sisteme CAD, măsurarea entităților și adnotări.
	Declanșează conexiunea cu sisteme CAD; opțiune validă pentru programele Autodesk Inventor , Solid Works și Solid Edge .
	Actualizează în Design Star geometria modificată în programul CAD; opțiune validă pentru programele Autodesk Inventor , Solid Works și Solid Edge .
	Afișează proprietățile de masă a componentei selectate sau a întregului model.
	Permite realizarea de măsurători asupra entităților specificate.
	Crearea unei note.
	Afișare sau ascundere a notelor.

Trusa de instrumente Loads/BC

	Oferă instrumente pentru aplicarea restrângerilor și încărărilor.
	Permite aplicarea de încărări pentru studii structurale (analiză statică, frecvențe proprii, flambaj și neliniare).
	Permite aplicarea de restrângerii pentru studii structurale.
	Permite aplicarea încărărilor gravitaționale pentru studii structurale și curgeri de fluide.

	Remote Load	Permite aplicarea încărărilor la distanță pentru studii structurale.
	Rigid Connection	Permite aplicarea unei conexiuni rigide între fețele selectate pentru studii structurale.
	Temperature	Permite aplicarea temperaturilor pentru studii structurale, termice și curgeri de fluide.
	Heat Load	Permite aplicarea încărărilor termice pentru studii termice și curgeri de fluide (cu efecte termice).
	Convection	Permite aplicarea convecției pentru studii termice și curgeri de fluide (cu efecte termice).
	Radiation	Permite aplicarea radiației pentru studii termice și curgeri de fluide (cu efecte termice).
	Fan Curve	Permite aplicarea unei curbe ventilator (debit funcție de presiune) pentru studii de curgeri de fluide.
	Flow Pressure	Permite aplicarea de presiuni pentru studii de curgeri de fluide.
	Flow Velocity	Permite aplicarea de viteze pentru studii de curgeri de fluide.
	Unknown	Permite aplicarea de condiții necunoscute pentru studii de curgeri de fluide.
	Scalar	Permite aplicarea de condiții scalare pentru studii de curgeri de fluide.

Trusa de instrumente Result Tools

	Oferă instrumente pentru vizualizarea rezultatelor.
	Permite preluarea rezultatului asociat unui punct nodal al discretizării modelului. Afișează coordonatele punctului și valoarea rezultatului (efort, alungire, deplasare, temperatură etc.). Se pot selecta o succesiune de puncte și trasa graficul variației rezultatului funcție de nodurile selectate.
	Listează numeric valorile rezultatelor pentru entitatea selectată și permite salvarea într-un fișier. Afișează suma și media lor.
	Permite selecția tipului de hartă de culori, din cele trei existente: implicit, rainbow și gray . Se poate defini o hartă de culori personalizată.
	Permite controlul poziției de secționare a modelului pentru vizualizarea rezultatelor, prin specificarea locației și orientării secțiunii. Se controlează modul de afișare al părții rămase din model după secționare (fringe , shaded sau cu discretizare), precum și direcția de vizualizare (din exterior, din interior sau ambele variante). Pentru zone de valori constante (iso) se poate controla numeric zona de valoarea constantă afișată.

	Axis	Permite specificarea caracteristicilor sistemului de referință (tip axe, lungime, poziție).
	Reaction Force	Listează forțele de reacțune pentru față selectată.
	Contact Force	Listează forțele de contact/frecare pentru față selectată.

Trusa de instrumente Orientation			
	Oferă instrumente pentru vizualizarea modelului și a rezultatelor aplicate pe model sub forma hărților de culori.		
Lista Orientation		Listă din care se pot selecta modurile standard de vizualizare: Top (T) , Front (F) , Bottom (B) , Back (B) , Left , Right , Isometric . Opțiunea Normal (N) impune vizualizarea după direcție perpendiculară pe un plan referință sau o față plană anterior selectată. Opțiunile H-Flip (H) / V-Flip (V) oglindesc vederea în jurul axei verticale/orizontale a vederii. Pentru rotirea modelului se pot folosi și tastele direcționale. În paranteză sunt specificate tastele de apel a vederilor.	
	Reset View	Resetează vederea curentă a modelului la cea selectată în lista Orientation .	
	Add Current View	Salvează vederea curentă sub un nume specificat, prin intermediul ferestrei Add View . Pentru ansamble se poate activa controlul Save exploded view settings , pentru salvarea vederii în starea explodată a ansamblului. Vederile pot fi reapelate din lista Orientation .	
	Delete Selected Views	Șterge vederea numită selectată din lista de vederi numite create anterior.	

Trusa de instrumente Animation		
Oferă instrumente pentru animația rezultatelor grafice și a deformării modelului.		
	First Frame	Afișează primul cadru al animației.
	Play Back	Redare înapoi a animației.
	Stop	Opre animație în fereastra activă.
	Play	Redarea animației. Animăția poate fi declanșată în mai multe ferestre.
	Last Frame	Afișează ultimul cadru al animației.
	Speed Up	Crește viteza de animație până la o limită superioară.

	Slow Down	Încetinește viteza de animație până la o limită inferioară.
	Frame <input type="button" value="▼"/> <input type="text" value="0"/> <input type="button" value="▼"/>	Afișează un anumit cadru.
	Spin Next	Rotește cadrul următor.
	Spin Previous	Rotește cadrul anterior.
	Save As	Salvează animația într-un fișier.
	Repeat Unlimited Times	Repetă animația de un număr nelimitat de ori.
	Repeat Both Directions	Repetă animația în ambele direcții.
	Reset	Resetează animația din fereastra curentă.

Trusa de instrumente Assembly Explode		
	Oferă instrumente pentru vizualizarea ansamblelor în stare explodată.	
	Assembly Explode Mode	Activează posibilitatea de explozie a ansamblelor.
	Move components	Mută componente selectate în direcția dorită. Componenta se selectează din zona Visualizer sau prin intermediul icoanei Toggle Component din trusa Selection (& 1.5.2) .
	Rotate around axis	Rotește componente selectate în jurul unei axe sau muchii.
	Rotate about a point	Rotește componente selectate în jurul unui punct sau vertex.
	Rotate about a center	Rotește componente selectate în raport cu centrul ansamblului.
	Enlarge/Shrink	Mărește / reduce componente selectate.
	Collapse to original	Reasamblează componentele ansamblului.
	Explode after clipping	Activează posibilitatea de explozie a ansamblelor după utilizarea posibilității de secționare sau afișare zone de valoare constantă (iso).

Pentru realizarea acțiunilor de mutare sau rotație, se puntează icoana dorită în trusa **Assembly Explode**, se selectează entitatea de referință în raport cu care se execută operația (axă, muchie, punct, vertex), se apasă și se menține apăsată tasta **Ctrl**, se selectează componentele subiect al operației și se deplasează cursorul mouse în direcția dorită în zona grafică.

1.5.5. Meniul principal

Meniul principal reprezintă o alternativă de accesare a comenzi programului Cosmos Design Star. Selecția opțiunilor se realizează în stilul clasic al sistemului de operare Windows. Majoritatea opțiunilor sunt disponibile și prin meniu contextuale în zona **Visualizer** sau prin truse de instrumente.

1.5.6. Adnotări

Adnotările oferă posibilitatea adăugării de note textuale asociate studiilor. Adnotările se pot realiza prin instrumentul **Note**, preluat din meniu **Tool**. Se va activa fereastra **Note**, care permite:

- specificarea conținutului textual al notei;
- font-ul asociat;
- o legătură către o adresă web sau hyperlink;
- impune caracteristicile liniei de indicație asociată notei (fără linie de indicație - **None**, linie dreaptă **Straight**, linie curbată-Bent-cu opțiunile suplimentare **Left**, **Right**, **Up** sau **Down** ale direcției liniei curbate);
- aliniamentul orizontal (**Left**, **Center**, **Right**) sau vertical (**Top**, **Center**, **Bottom**) al textului notei;
- unghiul textului, măsurat în raport cu axa X a ecranului.

1.5.7. Componenta Color and Light Properties

Acest instrument oferă posibilitatea modificării culorilor modelului, în vederea pregătirii analizei și vizualizării rezultatelor.

Fereastra **Color Property** se deschide prin selecția opțiunii **Component Color** din meniu **Edit** sau prin icoana **Edit Color** din trusa de instrumente **View**. În prealabil trebuie selectată una sau mai multe componente. Prin intermediul ferestrei se poate selecta culoarea asociată componentelor selectate și se pot specifica opțiuni speciale de luminanță:

- **Ambient** - lumină ambientală;
- **Difusse** – difuzia luminii pe diferite direcții;
- **Specularity** – abilitatea de reflexie a luminii;
- **Shininess** - nivelul de luminozitate;
- **Transparency** – transparentă;
- **Emission** – nivelul proiecției luminii.

ACESTE CARACTERISTICI SE MODIFICĂ PRIN INTERMEDIUL FERESTREI **Lighting Properties**, activată pe butonul **Advanced** al ferestrei **Color Property**.

1.5.8. Măsurători și proprietăți de masă

Instrumentul **Measure** permite măsurarea entităților și a distanței minime dintre acestea. Lansarea comenzi se poate realiza prin icoana **Measure** din trusa de instrumente **Geometry Tools** sau prin opțiunea **Tools→Measure** a meniului principal. Comanda va activa fereastra **Measure**, ce permite selecția unității de măsură în care se va afișa mărimea măsurată din lista **Units**, specificarea numărului de zecimale în câmpul **Decimal Places**, stergerea informațiilor asociate măsurătorii pe butonul **Clear** și afișarea identificatorului entității/entităților selectate.

Pot fi selectate una sau două entități de tip vertex, muchie sau față. Selecția se poate realiza anterior sau ulterior lansării comenzi **Measure**. Pentru selecția a două entități trebuie utilizată tasta **Ctrl** pentru selecția celei de-a doua entități. Mărimea măsurată depinde de entitatea / entitățile selectate:

- pentru selecția unui vertex – se vor afișa coordonatele X, Y, Z ale acestuia în raport cu sistemul de referință cartezian global;
- pentru selecția unei muchii – se va afișa lungimea acesteia;
- pentru selecția unei fețe – se va afișa aria și perimetru (care include și lungimea găurilor interioare feței);
- selecția a două entități – distanța minimă dintre acestea.

Instrumentul **Mass Properties** afișează volumul, suprafața, centrul de masă și momentele de inerție ale unei componente sau ale întregului model. Lansarea comenzi se poate realiza prin icoana **Mass Properties** din trusa de instrumente **Geometry Tools** sau prin opțiunea **Tools→Mass Properties** a meniului principal. Comanda va activa fereastra **Mass Properties**, ce permite selecția unității de măsură în care se va afișa mărimea măsurată din lista **Units**, specificarea numărului de zecimale în câmpul **Decimal Places**, selecția entității măsurate (întregul model – **Whole Model** sau numai o componentă individuală – **Selected Component**).

Pentru calculul masei și a centrului de greutate se va considera densitatea materialului atribuit prin studiu de analiză. Dacă încă nu s-a atribuit material în studiu de analiză, se va considera implicit densitatea apei de 1000 kg/m^3 . Din acest motiv, înainte de a calcula proprietăți de masă, se recomandă atribuirea de materiale reale pentru componenta sau modelul analizat.

Momentele de inerție sunt calculate în raport cu un sistem de referință aliniat cu sistemul global de referință, dar a cărui origine este localizată în centrul de greutate al componentei sau modelului, figura 1.2.

Dacă se calculează proprietățile întregului model, în acestea vor fi incluse și componentele suprimate. Dacă o componentă are mai multe instanțe în cadrul ansamblului, în intrarea **Components** din zona **Visualizer** fiecare instanță va avea câte o intrare și o icoană asociată, deci pentru fiecare se poate atribui diferite materiale pentru analiză. Însă, din punct de vedere al calculului proprietăților de masă, programul va utiliza o singură densitate pentru toate instanțele și anume densitatea ultimei instanțe dintre cele multiple existente.

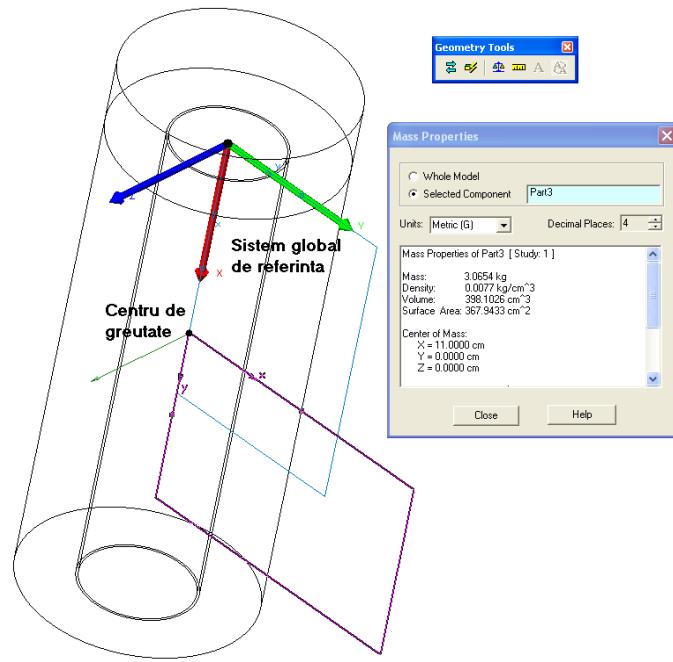


Figura 1.2

1.6. Considerații teoretice

În acest capitol vor fi prezentate considerații teoretice referitoare la următoarele tipuri de analiză: analiză statică lineară, flambaj și analiză modală.

1.6.1. Analiză statică lineară

La aplicarea unor încărcări asupra unui corp, acesta se deformează și efectul forțelor este transmis întregului corp. Astfel, forțele externe vor induce în corp forțe interne și reacțiuni astfel încât starea finală a corpului va fi o stare de echilibru.

Analiză statică lineară calculează deplasări (**displacement**), alungiri (**strains**), tensiuni (**stress**) și forțe de reacțiune (**reaction forces**) sub efectul încărcărilor aplicate asupra modelului.

1.6.1.1. Ipoteze

Analiza statică lineară operează cu următoarele ipoteze:

Ipoteza 1: Caracterul static al aplicării încărcărilor – toate încărcările sunt aplicate încet și gradual, până la atingerea valorii maximale a acestora, după care rămân constante în timp. Această ipoteză permite neglijarea efectelor inertiale și vibratoare, prin neglijarea micilor accelerări și viteze.

Încărcări variabile în timp pot induce forțe suplimentare considerabile, care pot fi analizate numai prin analiză dinamică.

Analiza statică se poate utiliza pentru calculul răspunsului structural al unui corp care se rotește cu viteză constantă sau se deplacează cu accelerație constantă, deoarece, în aceste cazuri, încărcările nu variază în timp.

Ipoteza 2: Ipoteza linearității – relația dintre încărcări și răspunsul induși în corp este lineară. De exemplu, la dublarea încărcării, răspunsul corpului (deplasări, alungiri, tensiuni) se va dubla de asemenea. Această ipoteză poate fi utilizată dacă:

- materialele atribuite modelului respectă legea lui Hook: tensiunea este direct proporțională cu alungirea; pentru un element de corp solid solicitat numai de încărcări normale rezultă tensiuni normale (**normal stress**) σ însă și de alungiri specifice (**strains**) ϵ ; pentru un element de corp solid solicitat numai de încărcări tangențiale rezultă tensiuni tangențiale (**shear stress**) τ însă și de lunecări specifice γ , legea lui Hook exprimă relația de proporționalitate dintre aceste mărimi: $\sigma = E \times \epsilon$ respectiv $\tau = G \times \gamma$, unde constantele de proporționalitate **E** și **G** se numesc module de elasticitate longitudinal respectiv transversal;
- deplasările rezultate sunt suficient de mici pentru a ignora modificările de rigiditate rezultate ca efect al încărcărilor;
- condițiile de frontieră nu variază pe durata aplicării încărcărilor; forțele trebuie să fie constante ca valoare, direcție și distribuție și nu se pot modifica pe durata deformării modelului.

Tensiunile interne induse în corp de încărcările externe variază de la un punct la altul și reflectă intensitatea forțelor interne (forță raportată la unitatea de arie).

1.6.1.2. Procedura de calcul

Pentru un model la care s-au definit materialul, restrângerile, încărcările și discretizarea procedura de calcul al analizei statice lineare constă în următoarele etape:

- construirea și rezolvarea sistemului de ecuații lineare ale echilibrului elementelor finite, rezultând deplasările (**displacement**) în fiecare nod;
- din deplasări se vor calcula alungirile specifice (**strain**);
- din relația lui Hook se vor calcula tensiunile (**stress**).

Initial tensiunile (**stress**) sunt calculate în puncte speciale, denumite puncte Gauss sau puncte de quadratură, plasate în interiorul fiecărui element finit. Aceste puncte sunt definite astfel încât să ofere rezultate numerice optimale. Numărul punctelor gaussiene depind de tipul de elemente (solid, shell etc.), figura 1.3.

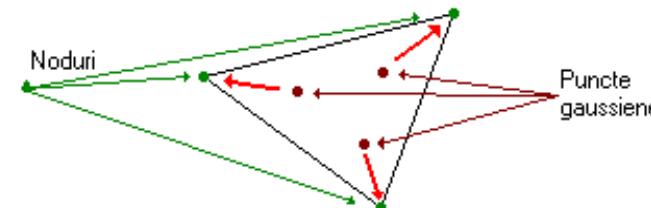


Figura 1.3

Restul valorilor tensiunilor din noduri rezultă prin extrapolarea celor din punctele gaussiene și sunt salvate în baza de date asociată analizei. În urma

calculului nodurile comune mai multor elemente au valori ale tensiunii diferite. La vizualizarea rezultatelor tensiunii se poate opta pentru afișarea valorilor nodale sau per element finit. Valoarea nodală reprezintă media valorilor nodale a tuturor elementelor la care nodul este comun, iar valorile per element reprezintă media nodurilor asociate elementului, figura 1.4.

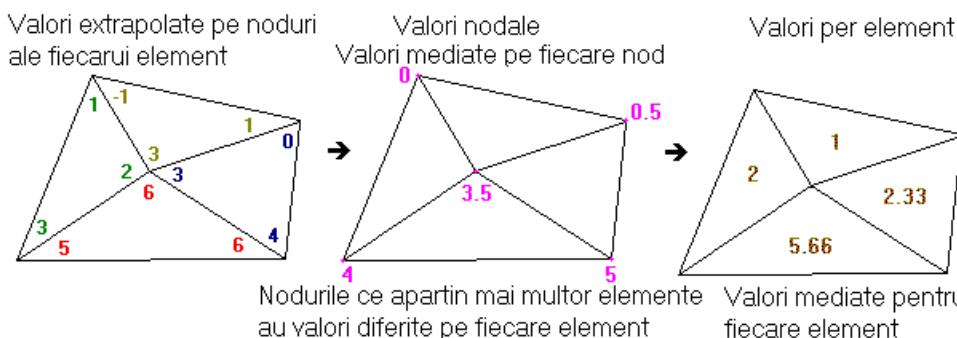


Figura 1.4

Datorită modului diferit de mediere, valorile maximale obținute pe noduri și per element vor fi diferite. În figura 1.4, maximul nodal este de 5, iar maximul per element este 5.66. Dacă discretizarea este grosieră valorile maximale vor fi mult diferite. Comparația acestor valori oferă deci o indicație a calității discretizării în zona concentrației a valorilor maximale.

1.6.1.3. Date de intrare

Pentru calculul analizei statice lineare sunt necesare următoarele date de intrare:

- **discretizarea modelului** – anterior calculului analizei statice lineare trebuie realizată discretizarea modelului analizat. Condițiile de contact trebuie definite anterior discretizării. Orice modificare a geometriei, condițiilor de contact sau opțiunilor ale discretizării impune reluarea operației de discretizare;
- **proprietățile de material** – trebuie definit valoarea modulului lui Young (modul de elasticitate) E și a coeficientului lui Poisson ν . Dacă acesta din urmă nu este definit se va considera valoarea 0. Suplimentar, trebuie definită densitatea, atunci când se va considera efectul gravitației și/sau a forțelor centrifuge și coeficientul termic de dilatare, atunci când se consideră încărcările termice. La selecția unui material din librăria Cosmos Design Star aceste proprietăți vor automat fi atribuite; valorile rezistențelor la compresiune, întindere și rupere asociate unui material preluat din librărie sunt utilizate ca valori limite, dar nu sunt utilizate în calcule. Pentru materiale ortotropice se pot defini valori ale acestor mărimi pe diferite direcții. Pentru modulul de elasticitate transversal valoarea utilizată în analiză rezultă din relația:

$$G_{xy} = \frac{E_x}{2 \cdot (1 + \nu_{xy})} \quad [1.6.1]$$

- **restrângeri adecvat definite** – aceste restrângeri trebuie să prevină mișcarea modelului. În caz contrar, trebuie activată opțiunea **Use soft springs to stabilize the model** la definirea studiului de analiză (disponibilă pentru solver-ele **Direct Sparse** și **FFEPlus**).

- **cel puțin una din tipurile de încărcări :**

- forțe concentrate;
- presiune;
- deplasări nenule;
- forțe gravitaționale și/sau centrifugale;
- termice (temperaturi definite sau preluate dintr-o analiză termică anterior calculată, & 1.9.2).

La definirea studiului de analiză, butonul **Properties** permite deschiderea ferestrei cu același nume, prin intermediu căreia se pot defini opțiunile asociate analizei.

Modificarea acestora se poate realiza, după selecția intrării asociate analizei din zona **Visualizer**, prin selecția opțiunii **Properties** din meniul contextual, activat prin buton dreapta mouse.

1.6.1.4. Date de ieșire

În mod implicit, direcțiile X, Y, Z se referă la sistemul de referință global. La selecția unei geometrii referință, aceste direcții se referă la entitatea de referință selectată. Datele de ieșire ale studiului de analiză statică lineară constau în următoarele mărimi:

- componente ale deplasării (**displacement**):
 - **UX** – deplasarea pe direcția X;
 - **UY** – deplasarea pe direcția Y;
 - **UZ** – deplasarea pe direcția Z;
 - **URES** – deplasarea rezultantă;
 - **RFX** – forță de reacție pe direcția X;
 - **RFY** – forță de reacție pe direcția Y;
 - **RFZ** – forță de reacție pe direcția Z;
 - **RFRES** – forță de reacție rezultantă.
- componente ale alungirii (**strain**), figura 1.5:
 - **EPSX** – alungire normală pe direcția X;
 - **EPSY** – alungire normală pe direcția Y;
 - **EPSZ** – alungire normală pe direcția Z;
 - **GMXY** – lunecarea în planul XY;
 - **GMXZ** – lunecarea în planul XZ;
 - **GMYZ** – lunecarea în planul YZ;
 - **ESTRN** – alungirea echivalentă;
 - **SEDENS** – densitatea energiei de deformare;
 - **ENERGY** – energia totală de deformare.

- componente ale tensiunii (**stress**) , figura 1.5:
 - **SX** – tensiune normală pe direcția X;
 - **SY** – tensiune normală pe direcția Y;
 - **SZ** – tensiune normală pe direcția Z;
 - **TXY** – tensiune tangențială în planul XY;
 - **TXZ** – tensiune tangențială în planul XZ;
 - **TYZ** – tensiune tangențială în planul YZ;
 - **P1** – tensiune normală principală pe prima direcție de solicitare;
 - **P2** – tensiune normală principală pe a doua direcție de solicitare;
 - **P3** – tensiune normală principală pe a treia direcție de solicitare;
 - **VON** – tensiunea Von Mises;
 - **INT** – intensitatea tensiunii;
 - **ERR** – eroarea tensiunii (numai pentru valori per element).

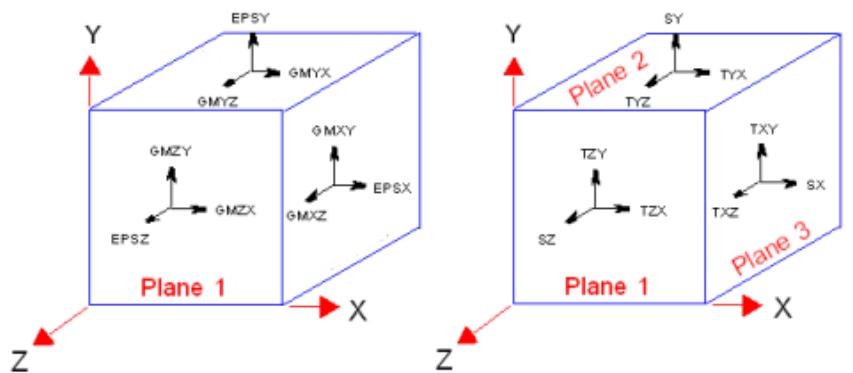


Figura 1.5

Notăurile corespund următoarelor relații:

$$\varepsilon^* = (\text{EPSX} + \text{EPSY} + \text{EPSZ}) / 3 \quad [1.6.2]$$

$$\varepsilon_1 = 0.5 \cdot [(\text{EPSX} - \varepsilon^*)^2 + (\text{EPSY} - \varepsilon^*)^2 + (\text{EPSZ} - \varepsilon^*)^2] \quad [1.6.3]$$

$$\varepsilon_2 = [(GMXY)^2 + (GMXZ)^2 + (GMYZ)^2] / 4 \quad [1.6.4]$$

$$ESTRN = 2 \cdot [(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) / 3]^{(1.2)} \quad [1.6.5]$$

$$INT = P1 - P2 \quad [1.6.6]$$

Componentele tensiunii depind de direcția în raport cu care sunt calculate. Tensiunile tangențiale sunt nule pe anumite direcții particulare corespunzătoare rotației axelor de coordonate; cele trei tensiuni normale care mai rămân sunt denumite tensiuni principale. Direcțiile asociate acestora se numesc direcții principale de solicitare.

Tensiunea Von Mises sau tensiunea echivalentă este o mărime rezultată din componentele tensiunii:

$$VON = \sqrt{\frac{1}{2}[(SX - SY)^2 + (SX - SZ)^2 + (SY - SZ)^2] + 3(TXY^2 + TXZ^2 + TYZ^2)} \quad [1.6.7]$$

sau

$$VON = \sqrt{\frac{1}{2}[(P1 - P2)^2 + (P1 - P3)^2 + (P2 - P3)^2]} \quad [1.6.8]$$

Deși tensiunea Von Mises într-un nod nu definește unic starea tensiunii în nod, oferă însă informații utile la evaluarea ruperii pentru materiale ductile. Tensiunea Von Mises nu are o direcție asociată și este definită numai prin valoare.

După cum rezultă din &1.6.1.2, valorile nodale nu sunt identice în nodurile comune, deoarece analiza cu element finit este o metodă aproximativă. Valorile nodale sunt utilizate pentru estimarea distribuția erorii **ERR** pentru modelul analizat. Pentru diferențe mari rezultă erori mari, pentru diferențe mici erorile sunt mici. Estimarea se bazează pe principiile energiei de deformare. Erorile descresc odată cu apropierea valorilor nodale comune mai multor elemente. Mărimea **ERR** este disponibilă numai pentru opțiunea **Element Values - Stress Plot**.

1.6.1.5. Încărcări termice

Modificări ale temperaturii pot induce deformații și tensiuni. În cadrul analizei statice lineare aceste modificări pot fi luate în considerare în următoarele variante de încărcări termice:

- utilizând temperatura aplicată fețelor, muchiilor sau vertex-urilor modelului;
- aplicând o diferență de temperatură (creștere sau scădere) aplicată întregului model;
- preluând distribuția de temperatură generată printr-un studiu de analiză termică sau de curgere calculat anterior.

Pentru a include calculul efectului termic, la definirea studiului trebuie activat controlul **Include thermal effects** și specificată varianta de încărcare termică, &1.9.2.

1.6.1.6. Etape de calcul ale analizei statice lineare

1. Se definește studiul de analiză.
2. Se atribuie materiale componentelor modelului.
3. Se definesc restrângerile și încărcările aplicate modelului.
4. Se impun opțiunile discretizării.
5. Se realizează discretizarea modelului în elemente finite.
6. Se calculează studiul de analiză.
7. Se vizualizează rezultatele analizei.
8. Se definește criteriul de verificare.

1.6.2. Analiză modală

Orice structură tinde să vibreze la anumite frecvențe, denumite frecvențe naturale sau proprii. Pentru fiecare frecvență este asociat un anumit mod de deformare. Atunci când frecvența forțelor dinamice coincide cu cea proprie se ajunge la fenomenul de rezonanță, caracterizată de deplasări largi.

Un model continuu are un număr infinit de frecvențe proprii. Un model discretizat în elemente finite are un număr de frecvențe proprii egal cu numărul de grade de libertate ale modelului.

Frecvențele și modurile de deformare depind de geometria modelului, proprietățile de material și condiții externe. Calculul frecvențelor proprii și a modurilor de deformare constituie obiectul analizei modale.

La construirea geometriei modelului, aceasta se consideră în stare nedeformată. Anumite încărcări, cum ar fi greutatea proprie, pot fi prezente și pot cauza efecte substanțiale asupra structurii, proprietăților și comportării modale a acesteia. De cele mai multe ori acestea pot fi neglijate, deoarece deformațiile sunt mici. Cosmos Design Star oferă posibilitatea de a lua în considerare aceste efecte asupra comportamentului modal, prin activarea opțiunii **Use inplane effect** disponibilă în fereastra **Frequency**. La activarea acestei opțiuni, se va calcula inițial o analiză statică lineară pentru a obține deformata modelului și apoi se va executa analiza modală.

Întinderea mărește frecvențele proprii ale unei structuri, iar compresiunea le micșorează.

Datele de intrare necesare analizei modale sunt următoarele:

- **discretizarea modelului** – anterior calculului analizei modale trebuie realizată discretizarea modelului analizat. Condiția de contact **Node-to-Node** nu este suportată în cadrul analizei modale;
- **proprietățile de material** – similar analizei statice lineare;
- **numărul de moduri de vibrație** – solver-ele **FFE** și **FFEPlus** calculează suplimentar 5 moduri de vibrație specifice corpului rigid (moduri cu frecvență 0 sau infinită). Asupra corpului nu trebuie aplicate restrângeri. Modurile corespunzătoare corpului rigid nu sunt contabilizate în modurile cerute pentru analiză. De exemplu, la cerința de a calcula 5 moduri ale unui model liber sau fără restrângeri, solver-ele **FFE** și **FFEPlus** vor calcula șase moduri de vibrație specifice corpului rigid și cinci moduri flexibile.

Pentru a include efectul încărcărilor asupra frecvențelor de rezonanță, trebuie utilizat solver-ul **Direct Sparse**. La utilizarea solver-ului **Direct Sparse** trebuie aplicate restrângeri adecvate pentru stabilizarea modelului sau activată opțiunea **Use soft spring to stabilize the model**.

Încărcări nu sunt necesare de aplicat, exceptând situația activării opțiunii **Use inplane effect**.

Datele de ieșire ale studiului de analiză modală constau în:

- componentele ale deplasării (**displacement**):
 - **UX** – deplasarea pe direcția X;
 - **UY** – deplasarea pe direcția Y;

- **UZ** – deplasarea pe direcția Z;
- **URES** – deplasarea rezultantă.
- intrarea **Deformation** – unde pot fi vizualizate modurile de vibrație. Listarea frecvențelor proprii de rezonanță se poate realiza din meniul principal în succesiunea **Define**→ **Results Lists**→ **Mode Shape**.

1.6.3. Analiză de flambaj liniarizată

Modelele lungi și subțiri tind să flambeze sub efectul încărcărilor axiale. Flambajul poate fi definit ca deformarea bruscă ce apare la transformarea energiei axiale în energie de încovoiere, fără modificarea forțelor externe aplicate. Matematic, la apariția flambajului matricea de rigiditate devine singulară.

Analiza de flambaj liniarizată calculează forța minimală (critică) ce produce flambajul. Încărcările de flambaj sunt asociate cu moduri de flambaj. Proiectanții sunt interesați de cea mai mică dintre acestea. Atunci când flambajul este criteriu critic de proiectare, calculul diferitelor moduri de flambaj poate ajuta la localizarea zonelor slabe ale modelului. Aceasta poate preveni apariția modurilor inferioare de flambaj la modificări simple aplicate modelului.

O analiză mai profundă a comportării modelului superioară flambajului necesită o analiză de tip neliniar.

Datele de intrare necesare analizei de flambaj liniarizată sunt următoarele:

- **discretizarea modelului** – anterior calculului analizei modale trebuie realizată discretizarea modelului analizat. Condițile de contact **Node-to-Node** și **Surface** nu sunt suportate în cadrul acestei analize;
- **proprietățile de material** – similar analizei statice lineare;
- **restrângeri adecvate** – pentru a preveni mișcarea corpului rigid;
- **cel puțin una din tipurile de încărcări**: forțe concentrate, presiuni, deplasări nenule sau forțe gravitaționale/centrifugale.

La crearea studiului, prin intermediul butonului **Properties** se poate impune numărul de moduri de flambaj calculabil. Solver-ele **FFEPlus** și **Direct Sparse** sunt disponibile pentru analiză de flambaj. Solver-ul **FFEPlus** poate calcula numai un singur mod de flambaj.

Datele de ieșire ale unei analize de flambaj liniarizată sunt următoarele:

- componente ale deplasării (**displacement**):
 - **UX** – deplasarea pe direcția X;
 - **UY** – deplasarea pe direcția Y;
 - **UZ** – deplasarea pe direcția Z;
 - **URES** – deplasarea rezultantă.
- intrarea **Deformation** – unde pot fi vizualizate modurile de flambaj; de asemenea va fi afișat factorul forței critice de flambaj; acest factor reprezintă un coeficient de siguranță al flambajului; la valoare supraunitară flambajul nu va apărea; cea mai mică încărcare sub care modelul va flamba (forță critică de flambaj) rezultă înmulțind toate forțele aplicate cu factorul critic. La valoare negativă a factorului, flambajul apare numai dacă încărcările își inversează direcția.

1.7. Asociativitate cu sisteme CAD

Cosmos Design Star este în totalitate asociat cu următoarele sisteme CAD: Autodesk Inventor, Solid Edge și SolidWorks. Asociativitatea constă în adaptarea automată a încărcărilor, geometriilor referință și discretizării la modificări ale geometriei.

Pentru a beneficia de asociativitate, unul dintre aceste sisteme trebuie instalat pe același calculator. La deschiderea unui fișier asociat cu unul din sistemele CAD menționate, acest fișier este deschis în mediul sistemului CAD și se realizează conexiunea între cele două programe.

La deschiderea directă a unui fișier Cosmos Design Star (*.DgxPrt sau *.Dgx Asm) nu se realizează automat nici o conexiune. Pentru a deschide conexiunea se selectează opțiunea **Connect to CAD System** din bara **Tools** a meniului principal sau din trusa de instrumente **Geometry Tools**. Dacă în urma modificărilor realizate în sistemul CAD geometria nu este actualizată automat în Cosmos Design Star, se selectează opțiunea **Update Geometry** din bara **Tools** a meniului principal sau din trusa de instrumente **Geometry Tools**.

La realizarea unei conexiuni, dacă fișierul CAD original nu este găsit se deschide o fereastră pentru asocierea cu alt fișier CAD.

Cosmos Design Star generează o comandă și un buton pentru lansare din mediul sistemului CAD. Comanda este plasată ca opțiune de meniu în bara **Tools** a sistemului CAD. La lansarea Cosmos Design Star din mediul sistemului CAD, fișierul CAD este deschis și în Cosmos Design Star și se realizează conexiunea între cele două programe.

La modificări ale geometriei este posibilă modificarea entităților asupra căror s-a operat în Cosmos Design Star. Astfel: un semn de exclamare roșu ! pe intrarea mesh, indică faptul că discretizarea nu mai reflectă corect geometria modificată în sistemul CAD; dacă unele entități nu mai există datorită modificărilor geometrice, în zona **Visualizer** icoana corespunzătoare este marcată cu semnul X în roșu; în aceste situații discretizarea trebuie refăcută.

1.8. Schițe 2D

1.8.1. Moduri de utilizare a schițelor

Schițele nu sunt utilizate în mod direct în analize, dar pot fi utilizate în următoarele moduri:

- crearea unei suprafete dintr-o schiță; în aceasta variantă toată geometria este creată direct în Cosmos Design Star; suprafetele pot fi utilizate în analize cu discretizare de tip **2D Planar** sau **shell**; suprafetele nu pot fi utilizate în studii cu geometrii de tip solid; studiile plane pot reprezenta modele axial simetrice, modele lungi extrudate (formulare **plane stress**) sau modele extrudate subțiri (formulare **plane**

stress); în analize structurale, elementele plane se pot deforma numai în planul schiței;

- proiecția unei schițe pe fețe pentru a crea contururi de proiecție, pentru aplicarea de restrângerii, încărcări și condiții de discretizare locale pe zone mai mici decât fețele modelului; proiecția schițelor se face în direcția normalei la planul de schițare;
- fețele modelului (componentă individuală sau ansamblu) pot fi utilizate la generarea suprafețelor; suprafețele plane pot fi utilizate în studii cu discretizare de tip **shell**, 2D axial simetrice sau **2D Planar**; suprafețele neplanare pot fi utilizate numai pentru studii de tip **shell**.

1.8.2. Generarea schițelor

- Anterior lansării comenzi de generare a unei schițe trebuie selectat un plan referință, o față plană sau o suprafață, în care se va plasa schița;
- Punctarea icoanei **Sketch**  din trusa de instrumente **Sketch** sau din meniul principal se selectează **Define→ Sketch→ Define**; va deveni activă o zonă de schițare dispusă în planul selectat și marcată de o rețea de puncte (**grid**); de asemenea în intrarea **Sketch** din zona **Visualizer** va fi creată o nouă intrare cu numele compus din cuvântul **Sketch** urmat de un număr de ordine; de asemenea devin active trusele de instrumente de schițare;
- Din meniul principal se selectează **Tools→ Sketch→ Property** sau din meniul contextual activat prin buton dreapta pe numele schiței în zona **Visualizer** se activează fereastra **Sketch Properties** pentru specificarea opțiunilor schiței:
 - numele schiței - în câmpul **Name**;
 - unitățile de măsură – în lista **Units**;
 - numărul de zecimale – în câmpul **Decimal Places**;
 - în careul **Grid** se impun caracteristicile **grid**-ului: afișare sau nu prin controlul **Display Grid**, spațiul dintre liniile majore ale **grid**-ului în câmpul **Major grid spacing**, numărul de linii minore ale **grid**-ului între liniile majore în câmpul **Minor-lines per major**;
 - în careul **Snap** se impun următoarele caracteristici: regleză sensibilitatea agățării punctelor de **grid** prin controlul **Sensitivity**, activează sau nu posibilitatea de agățare a punctelor **grid**-ului prin controlul **Snap to Points**; la activarea acestui control se impune agățarea punctelor **grid**-ului la trasarea entităților schiței; controlul **Snap points per minor** impune un număr de puncte suplimentare posibile de agățat între liniile minore ale **grid**-ului;
- Se vor utiliza instrumentele de schițare pentru trasarea și dimensionarea schiței;
- Se iese din schița prin comanda **Sketch**.

1.8.3. Truse de instrumente asociate schițelor

La generarea schițelor devin active și pot fi utilizate următoarele truse de instrumente: **Sketch**, **Sketch Tools**, **Sketch Relations**.

Trusa de instrumente Sketch		
	Select	Permite selecția entităților schiței, agățarea acestora și repoziționarea entităților, selecția multiplă printr-o plasă dreptunghiulară de selecție.
	Grid	Deschide fereastra Sketch Properties pentru specificarea opțiunilor asociate schișei, & 1.8.2.
	Sketch	Deschide și închide o schiță.
	Exit Sketch	Salvează și închide o schiță fără confirmare.
	Cancel	Abandonează modificările unei schișe, cu confirmare.
	Dimension	Creează dimensiuni; tipul dimensiunii (între puncte, lungime, rază, diametru sau unghiular) este automat detectat funcție de elementele selectate pentru dimensionare.

Trusa de instrumente Sketch Tools		
	Line	Trasarea unei linii.
	Centerpoint Arc	Trasează un arc prin centru, punct de start și punct final.
	Tangent Arc	Trasează un arc tangent la o entitate a schișei.
	3 Pt. Arc	Trasează un arc prin 3 puncte (punct start, punct final și punct intermediar)
	Circle	Trasează un cerc.
	Rectangle	Trasează un dreptunghi.
	Point	Trasează un punct.
	Centerline	Trasează o linie de tip axă utilizată la generarea entităților simetrice / oglindite.
	Mirror	Oglindește entitățile selectate în raport cu o entitate de tip Centerline . Modificarea unei entități provoacă și modificarea entității oglindite a acesteia. Inițial se selectează entitățile sursă a oglindirii, urmat de selecția liniei de oglindire de tip Centerline cu tasta Ctrl menținută apăsat.
	Fillet	Racordarea a două entități ale schișei.
	Offset	Generează o entitate paralelă cu o entitate inițială, la o distanță impusă; pentru modificarea direcției în care se va crea entitatea, se va puncta entitatea paralelă rezultată. Opțiunea Select Chain provoacă combinarea mai multor entități într-o singură entitate.
	Trim	Elimină porțiuni ale unei entități, până la intersecția cu altă entitate.

Trusa de instrumente Sketch Relations		
	Add Relation	Impune constrângeri geometrice între entități selectate sau entități referință.
	Display/Delete Relation	Afișează constrângările dintre entitățile selectate, indiferent dacă au fost generate automat sau manual. De asemenea pot fi editate sau șterge constrângeri.

Vizualizarea proprietăților oricărei entități a schișei se obține prin selecția entității, urmat de preluarea opțiunii **Entity Properties** din meniul contextual activat pe buton dreapta mouse. Informațiile afișate depind de entitatea.

1.8.4. Dimensionarea schișelor

Comanda **Dimension** permite plasare de dimensiuni în schiță. O dimensiune plasată în schiță poate fi ulterior repoziționată prin agățare mouse sau ștersă, dacă comanda **Dimension** este activă. Tipul dimensiunii depinde de entitățile selectate pentru dimensionare. Sunt disponibile următoarele tipuri de dimensiuni:

- lungimea unei linii – pentru selecția unei linii;
- unghiul dintre două linii – la selecția succesivă a două linii; poziționarea dimensiunii influențează modul în care unghiul este măsurat;
- distanța dintre două linii – la selecția succesivă a două linii paralele;
- distanța perpendiculară de la un punct la o linie – la selecția unui punct și a unei linii;
- distanța dintre două puncte - la selecția succesivă a două puncte;
- raza unui arc – la selecția unui arc;
- raza unui cerc – la selecția unui cerc pe circumferința acestuia;
- distanța – atunci când cel puțin una din entități este un arc sau cerc; se vor selecta două arce/cercuri, sau un arc și un cerc și o altă entitate (linie, muchie, punct); arcul sau cercul pot fi selectate prin centrul lor sau pe circumferință; se va măsura distanța de la centru arcului sau cercului, chiar dacă se va selecta circumferința.

Orientarea dimensiunii depinde de poziția și deplasarea cursorului mouse. La atingerea orientării și locației dorite, buton dreapta mouse va finaliza dimensionarea prin plasarea cotei.

1.8.5. Constrângeri aplicate schișelor

Constrângările definesc relații geometrice între multiple entități ale schișei și se pot adăuga la generarea entităților sau la selecția a cel puțin două entități.

Fereastra **Add Geometric Relations** apare prin punctarea icoanei **Add Relations** din trusa **Sketch Relations** sau din meniul principal în succesiunea **Tools**→**Sketch relations**→**Add Relations**.

Constrângările pot fi adăugate numai entităților selectate și afișate în lista **Selected Entities** a ferestrei **Add Geometric Relations**. Zona **Relations** oferă numai constrângările posibile de aplicat entităților selectate.

Constrângerile disponibile sunt următoarele: **Horizontal**, **Vertical**, **Collinear**, **Coradial**, **Parallel**, **Perpendicular**, **Tangent**, **Intersection**, **Midpoint**, **Merge point**, **Concentric**, **Equal**, **Symmetric**, **Fix**, **Unfix**.

Vizualizarea constrângerilor, modificarea sau stergerea se realizează prin intermediul icoanei **Display/Delete Relations**.

1.8.6. Crearea suprafețelor plane din schițe

Schițele pot fi utilizate la crearea suprafețelor plane, utilizate în analize cu discretizare de tip **shell** sau **2D Planar**. Suprafața poate fi creată în planul schiței sau la o distanță impusă.

Operația de creare se declanșează prin opțiunea **Create Sheet from Sketches**, preluată din meniu contextual activat pe buton dreapta mouse pe intrarea **Geometry** din zona **Visualizer**. Va apărea fereastra **Edit/Define Sheet from Sketches**. Etape:

- selecția schiței de bază (**Base Sketch**) din lista de schițe disponibile;
- specificarea distanței la care se va crea suprafața în raport cu planul schiței și unitatea de măsură a acesteia;
- din lista **Sketch superimpose information** se va selecta una din opțiunile: **Ignore** (ignorarea schiței), **Imprint** (pentru proiecția schiței pe schița de bază și divizarea ariei pe care s-a efectuat proiecția), **Cut** (pentru proiecția schiței pe schița de bază și eliminarea ariei corespunzătoare proiecției);
- punctare buton **OK** – se va genera suprafața.

1.8.7. Imprimarea unei schițe

În unele cazuri este necesară divizarea unei fețe în două sau mai multe fețe, pentru aplicarea pe o zonă mai redusă a restrângerilor, încărcărilor, condițiilor de contact sau aplicarea unei discretizări locale. Schițele pot fi imprimate pe fețe ale solidelor sau pe suprafețe ale modelelor.

Operația se declanșează prin opțiunea **Edit/Define Geometry**, preluată din meniu contextual activat pe buton dreapta mouse pe intrarea **Geometry** din zona **Visualizer**. Va apărea fereastra **Imprint on Solid Geometry**. Etape:

- pentru fiecare schiță din lista **Activate each sketch and select faces for imprinting** se va selecta controlul **Option** și se va selecta **Ignore** (pentru ignorarea schiței în procesul de imprimare) sau **Imprint** (pentru utilizarea schiței în procesul de imprimare);
- selecția fețelor supuse imprimării, în zona grafică; fețele selectate vor fi afișate în lista **Selected faces**;
- punctare buton **OK** – fețele selectate vor fi imprimate prin proiecția schiței pe direcție normală la planul schiței.

1.8.8. Crearea suprafețelor din fețe ale modelului

Cosmos Design Star oferă posibilitatea de generare a suprafețelor din fețe selectate ale modelului solid sau de tip suprafață.

Operația se declanșează prin opțiunea **Create Sheet on Selected Faces**, preluată din meniu contextual activat pe buton dreapta mouse pe intrarea **Geometry** din zona **Visualizer**. Va apărea fereastra **Create Sheet from Faces**. În zona grafică se vor selecta fețele pentru care se dorește generarea suprafețelor. Dacă se dorește crearea de suprafețe separat pentru fiecare față, se va activa opțiunea **Create sheet for each face**.

1.9. Gestionarea studiilor de analiză

1.9.1. Crearea studiilor de analiză

Un studiu de analiză reprezintă o simulare numerică concretizată prin următoarele caracteristici:

- tip de analiză și opțiuni asociate;
- atribuire de materiale componentelor modelului;
- definirea restrângerilor și încărcărilor;
- discretizare în elemente finite.

Pentru un model pot fi definite mai multe studii de analiză, ce pot difera prin caracteristicile anterior enunțate. Studiile de analize ale unui model sunt memorate în același fișier Cosmos Design Star de tip ***.DgxPrt** (pentru piese individuale-part) respectiv ***.DgxAsm** (pentru fișiere de tip ansamblu).

Studiile pot fi generate prin modificarea studiilor existente, preluarea caracteristicilor de la un studiu anterior și modificarea ulterioară a acestora sau pot fi create noi studii de analiză prin specificarea inițială a tuturor caracteristicilor.

Gestionarea studiilor (creare, stergere, modificare opțiuni asociate) se realizează prin fereastra **Study**, activată din meniu principal în succesiunea **Define** → **Study** sau din meniu contextual, activat prin buton dreapta pe intrarea corespunzătoare numelui modelului în zona **Visualizer**. Fereastra **Study**, figura 1.6, include următoarele zone și controale:

- zona **Studies** – afișează lista studiilor existente;
 - zona **Active Study** – afișează numele studiului activ, tipul de analiză și de discretizare asociate acestuia;
 - butonul **Add** – deschide fereastra **Study Name**, figura 1.7, pentru definirea unui nou studiu;
 - butonul **Delete** – sterge studiul de analiză activ;
 - butonul **Properties** – deschide o fereastră în care pot fi specificate opțiuni asociate studiului; conținutul acestei ferestre depinde de tipul de analiză asociat studiului;
 - butonul **Close** – închide fereastra **Study** și salvează modificările efectuate;
 - butonul **Cancel** – închide fereastra **Study** fără salvarea modificărilor.
- Fereastra **Study Name**, figura 1.7, include următoarele zone și controale:
- câmpul **New Study** – rezervat specificării numelui studiului de analiză;
 - lista **Analysis Type** – permite selecția tipului de analiză asociată studiului;

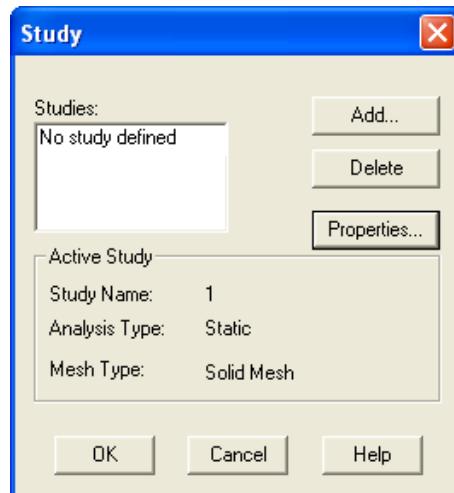


Figura 1.6

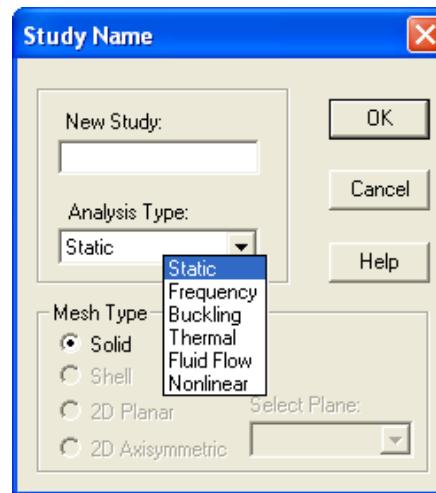


Figura 1.7

- **Mesh Type** – impune tipul de discretizare pentru studiu:
 - **Solid** – discretizare de tip solid;
 - **Shell** – discretizare de tip triunghiular; pentru suprafețe și modele solide (piese individuale sau ansamblu);
 - **2D Planar** - discretizare de tip triunghiular ce simulează modele extrudate subțiri (formulare **plane stress**) sau segmente lungi extrudate (formulare **plane strain**);
 - **2D Axisymmetric** - discretizare de tip triunghiular ce simulează modele axial simetrice.
- lista **Select Plane** – utilizată numai pentru discretizare de tip **2D Planar** sau **2D Axisymmetric**; impune planul suprafeței utilizată în studiu; pentru modele axial simetrice axa "y" va fi utilizată ca axă de simetrie; sistemul de coordonate asociat planului selectat va fi utilizat la vizualizarea rezultatelor; în mod implicit **Plane 1** este valoarea inițială a listei;
- butonul **OK** – creează noul studiu;
- butonul **Cancel** – închide fereastra fără a defini un nou studiu.

Elementele finite plane axial simetrice reprezintă un volum de material definit prin revoluția, în jurul axei de revoluție, a unui element triunghiular 2D pe o dispunere unghiulară de 1 radian. Modelul reprezintă revoluția pe o dispunere unghiulară de 360° .

Elementele plane lungi extrudate reprezintă 1 metru de segment de-a lungul lungimii de extrudare, dar lungimea extrudării trebuie să fie mult mai mare decât dimensiunile secțiunii.

Pentru elementele de tip axial simetrice și cele lungi extrudate nu este nevoie de definirea grosimii. Pentru elementele extrudate subțiri este necesară definirea grosimii pentru fiecare suprafață a studiului.

1.9.2. Opțiuni asociate studiilor de analiză

Un studiu de analiză are asociate opțiuni, ce pot fi specificate prin intermediul unei ferestre, activabilă pe butonul **Properties** din fereastra **Study**, figura 1.6.

Opțiunile și conținutul ferestrei depind de tipul de studiu selectat din lista **Analysis Type** a ferestrei **Study Name**, figura 1.7.

Modificarea opțiunilor asociate studiului de analiză ulterior definirii inițiale a acestora se poate realiza prin selecția opțiunii **Options** din meniul contextual, activat prin buton dreapta pe intrarea corespunzătoare numelui studiului în zona **Visualizer**, ceea ce va provoca apariția ferestrei **Properties**.

1.9.2.1. Opțiuni asociate analizei statice liniare

Pentru analiză statică liniară (opțiunea **Static** în lista **Analysis Type** a ferestrei **Study Name**) se va activa fereastra **Static**, figura 1.8, care include următoarele zone și controale:

- controlul **Include Thermal Effects** – un corp liber supus modificării de temperatură se va dilata sau contracta liber funcție de direcția temperaturii (creștere sau scădere), provocând numai alungiri dar fără a genera tensiuni; dacă alungirile sunt împiedicate, vor apărea tensiuni. Din acest motiv este importantă includerea contribuției efectului termic pentru modele cu restrângeră. În aceste situații este necesară definirea coeficientului de dilatare termică a materialului modelului și specificarea temperaturii de referință la care nu există tensiuni. Temperatura poate fi specificată prin una din următoarele variante:
 - controlul **Input Temperature** – se va activa această opțiune pentru specificarea explicită de temperaturi în intrarea **Loads/BC** din zona **Visualizer**;
 - controlul **Temperature from Thermal Study** – se va activa opțiunea pentru preluarea profilului de temperatură generat dintr-un studiu anterior de tip termic staționar sau tranzitoriu; la preluarea dintr-un studiu tranzitoriu trebuie specificat pasul de la care se va prelua profilul, deoarece, în acest caz, profilul temperaturii depinde de timp; câmpul **Thermal Study** permite specificarea numelui studiului din care se preia profilul de temperatură, iar câmpul **Time Step** permite specificarea pasului, dar numai pentru studii termice tranzitorii. Discretizarea studiului termic trebuie să fie identică cu cea a studiului analizei statice.
 - controlul **Uniform temperature** – se va aplica o temperatură uniform întregrului model; în acest caz programul va ignora temperaturile explicit definite în intrarea **Loads/BC** din zona **Visualizer**; câmpul **Value** permite definirea valorii temperaturii, iar controlul **Reference Temperature at Zero Strain** permite specificarea unității de măsură și a valorii pentru temperatura la care nu există tensiuni.
- zona **Gap/Contact** – fețele unui model ansamblu pot fi în contact inițial sau pot ajunge în contact datorită încărcărilor; comportarea fețelor în contact poate fi definită de următorii factori: opțiuni asociate studiului de analiză și condiții de

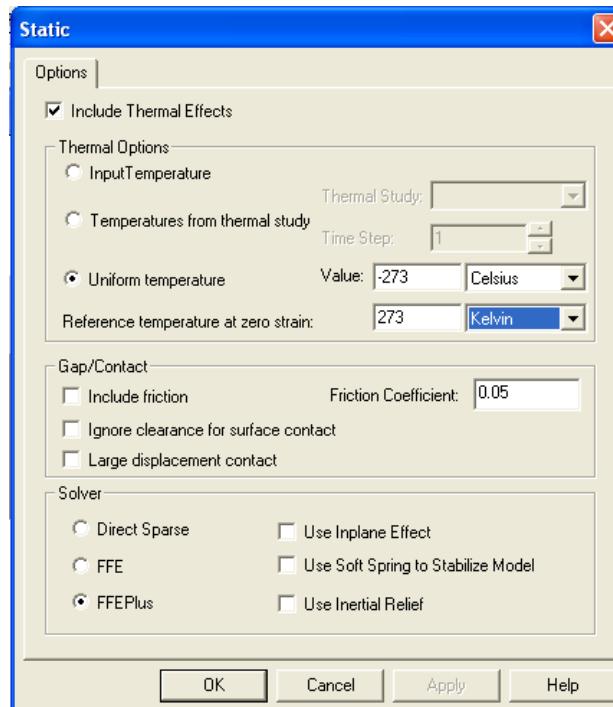


Figura 1.8

contact globale, la nivel de componentă sau locale; detalii suplimentare sunt date la &xxx; opțiunile din această zonă sunt valide numai pentru ansamblu:

- controlul **Include Friction** – comportarea suprafețelor este afectată de frecare, determinată de coeficientul de frecare definit în câmpul **Friction Coefficient**; programul va calcula forța de frecare într-un punct de contact înmulțind coeficientul de frecare cu forța normală de contact din punct, generată de încărcări; direcția forței de frecare este opusă direcției rezultantei deplasării în punct; convergența problemelor de contact se obține cu atât mai greu cu cât coeficientul de frecare este mai mare.
- controlul **Ignore clearance for surface contact** – un interstiu inițial între suprafețele supuse contactului poate exista, cauzat de toleranța de modelare sau de condiții locale de contact între fețe. Acest control oferă posibilitatea de a impune comportarea fețelor în contact ca și cum un corp rigid ar fi interpus între ele. Dacă controlul **Ignore clearance for surface contact** nu este activat programul va lucra astfel: dacă spațiul dintre fețele pentru care s-a impus contact este mai mic decât 0.5% din mărimea elementului global mediu al discretizării, programul va considera că fețele sunt inițial în contact; forțele de contact se dezvoltă în apropierea punctelor unde fețele se deplasează; la specificarea unui contact local între două fețe cu un spațiu mai mare decât 0.5% din mărimea elementului global mediu al discretizării, forțele de contact se vor dezvolta numai dacă fețele sunt în contact direct una cu alta; controlul nu trebuie activat pentru seturi de perechi de fețe cu o curbură diferită pronunțată (exemplu

cilindru dispus pe un plan, unde contactul se realizează numai de-a lungul generatoarei cilindrului). Dacă controlul **Ignore clearance for surface contact** este activat programul va lucra astfel: se va ignora limita de 0.5% a spațiului inițial dintre fețele pentru care s-a impus contact, deci nu va exista o limită inițială a acestui spațiu. Fețele se pot deplasa una față de alta, dar ele nu se pot apropiă mai mult decât în configurația inițială; fețele se vor comporta ca și cum un corp rigid ar fi interpus între ele. Controlul **Ignore clearance for surface contact** trebuie dezactivat pentru majoritatea aplicațiilor; ele este disponibil pentru situațiile în care discretizarea cauzează interferența elementelor finite, după cum rezultă din figura 1.9. Pentru minimizarea posibilității de apariție a unor astfel de situații se va utiliza controlul local al discretizării impunând o discretizare mai fină în regiunile de contact unde poate interveni această problemă. Se recomandă elemente de tip parabolic (calitate înaltă a discretizării) pentru toate problemele de contact. Controlul **Ignore clearance for surface contact** are un caracter global, nu poate fi activat pentru anumite fețe particulare. Pentru modele cu fețe în contact cu mari diferențe de curbură și pentru fețe cu toleranțe de contact, se recomandă să nu se activeze acest control și să se realizeze o discretizare mai fină în regiunile de contact cu toleranță.

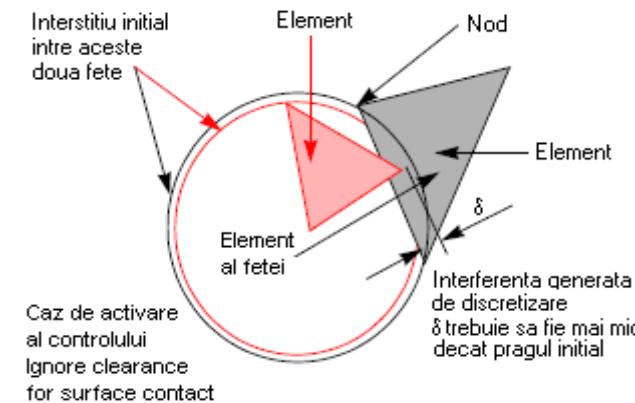


Figura 1.9

- controlul **Large displacement contact** – contactul este disponibil numai pentru modele solide, nu și pentru modele **shell**; în probleme de contact, programul consideră intern o suprafață ca sursă și cealaltă ca destinație; fiecărui nod din sursă îi corespunde câte una sau mai multe fețe de element în destinație; opțiunea impune comportamentul programului în probleme de contact: la activarea opțiunii **Large displacement contact** încărcările sunt aplicate integral o singură dată; perechile sursă și destinație și normalele în zonele de contact se bazează pe configurația inițială și rămân neschimbate prin iterările generate de contact; această abordare poate conduce la rezultate incorecte sau la probleme de convergență, în cazul deplasărilor mari. La activarea opțiunii **Large displacement contact** încărcările sunt aplicate gradual și uniform în mai mulți pași până la atingerea valorilor integrale; numărul de pași este determinat intern de către program, funcție de deformare, iar perechile sursă și destinație și normalele

în zonele de contact sunt evaluate la fiecare pas. Metoda recomandată este următoarea: execuția analizei fără activarea controlului **Large displacement contact**, activarea acestuia și reluarea execuției în următoarele situații: dacă deplasările sau orientarea fețelor de contact este notabilă la afișarea deformatei pentru factorul de scalare 1, dacă cele mai mari valori ale tensiunii depășesc 4% sau dacă valorile tensiunii Von Mises sunt aproape de rupere. Acest tip de analiza este specifică numai problemelor de contact.

- zona **Solver** – prin acest control se impune solver-ul utilizat la execuția analizei. În problemele de analiză cu element finit problema este reprezentată matematic printr-un sistem de ecuații algebrice, care trebuie rezolvat; sunt disponibile două metode de rezolvare: directe și iterative. Metodele directe rezolvă ecuațiile utilizând metode exacte de rezolvare. Cele iterative utilizează metode aproximative, unde la fiecare iterație sunt evaluate erorile pentru soluția obținută, procesul continuând până la atingerea unor erori acceptabile. Cosmos Design Star oferă următoarele variante de solver-e: Direct Sparse, FFE (iterativ), FFEPlus (iterativ). Solver-ele FFE și FFEPlus utilizează tehnici diferite de reordonare și memorare a datelor pentru rezolvarea matematică a problemei. Solver-ul FFEPlus se recomandă pentru probleme de mare complexitate.
- zona **Solver** opțiunea **Use Inplane Effect** – forțele de compresiune și de întindere modifică capacitatea unei structurii de rezistență la încovoiere; pentru compresiune rezistența la încovoiere scade (**stress softening**), pentru întindere rezistența la încovoiere crește (**stress stiffening**); prin activarea opțiunii se va lua în considerare efectul forțelor referitoare la rigiditatea modelului, prin rularea analizei de două ori. Pentru o mai bună precizie a soluției se recomandă totuși o analiză de tip neliniar. Solver-ul FFE nu suportă această opțiune.
- zona **Solver** opțiunea **Use Soft Spring to Stabilize Model** – prin activarea acestei opțiuni programul va considera efectul unor arcuri suplimentare pentru a preveni instabilitatea. Asupra modelului trebuie aplicate restrângeri adecvate, pentru a evita mișcarea rigidă a acestuia (translație sau rotație). În lipsa unor constrângeri adecvate, se va rula din nou analiza cu această opțiune activată. Observarea deplasărilor excesive în una sau mai multe direcții se poate realiza prin animația formei deformate a modelului. Apoi se pot aplica restrângeri suplimentare pe direcțiile observate, pentru a preveni aceste deplasări și se poate executa din nou analiza cu dezactivarea opțiunii. În general, opțiunea se va activa numai dacă la execuția analizei programul avertizează de faptul că restrângările nu sunt adecvate sau dacă se știe că nu au fost specificate restrângeri adecvate. Solver-ul FFE nu suportă această opțiune.
- zona **Solver** opțiunea **Use Inertial Relief** – dacă asupra modelului nu sunt aplicate restrângeri adecvate, pot apărea mici forțe ce pot produce o deplasare rigidă a modelului. Chiar și în cazurile când aceste forțe sunt contrabalansate, o forță reziduală poate apărea datorită aproximărilor numerice. La activarea acestei opțiuni, programul va aplica forțe pentru a contracara efectul forțelor externe nebalansate. De asemenea, la activarea opțiunii, programul nu avertizează asupra restrângерilor neadecvata. Solver-ul FFE nu suportă această opțiune.

1.9.2.2. Opțiuni asociate analizei modale

Fereastra **Properties** pentru analiza modală este prezentată în figura 1.10, cu următoarele opțiuni disponibile:

- **Number of Frequencies** – permite specificarea numărului de frecvențe naturale ce vor fi calculate (valoarea implicită fiind 5). Modurile corpului rigid vor fi calculate de solver-ele FFE și FFEPlus. Un corp fără restrângeri are 6 grade de libertate. Modurile corpului rigid prezintă frecvențe nule (cu perioadă infinită). Pentru un scenariu al modelului care include încărcări dinamice, este important calculul a cel puțin unei frecvențe mai mare decât cea a frecvenței încărcărilor. În cele mai multe situații rezonanța este un fenomen de evităt, deoarece provoacă distrugeri masive.
- **Upper Bound Frequency** – permite specificarea limitei superioare a frecvenței. Se vor utiliza valoarea implicită nula numai dacă nu există interes în frecvențe naturale mai mari decât o anumită valoare. Pentru valoarea nulă se va lua în considerare și se va calcula numărul de frecvențe impus prin opțiunea anterioară. Deci cel puțin una din aceste două opțiuni trebuie specificată.
- funcțiile celorlalte opțiuni sunt similare cu cele detaliate în & 1.9.2.1, cu următoarele observații: solver-ele FFE și FFEPlus nu necesită un model stabil pentru calculul frecvențelor de rezonanță și includ automat și modurile corpului rigid; de exemplu, dacă se cer pentru calcul trei moduri și sunt posibile șase moduri ale corpului rigid, programul va calcula în total nouă noduri, dintre care primele șase sunt ale corpului rigid, frecvența unui corp rigid fiind zero.

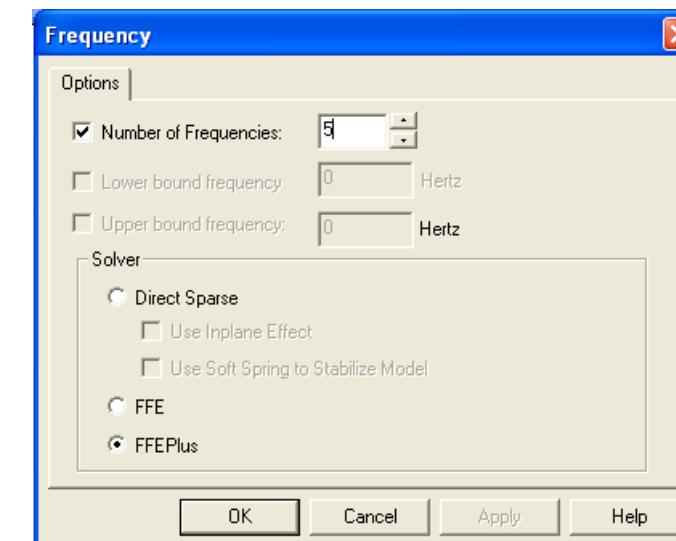


Figura 1.10

1.9.2.3. Opțiuni asociate analizei de flambaj liniarizată

Fereastra **Properties** pentru analiza de flambaj liniarizată este prezentată în figura 1.11, cu următoarele opțiuni disponibile:

- **Number of Buckling Modes** – permite specificarea numărului de moduri de flambaj ce vor fi calculate. Programul va calcula factorul încărcării critice și modurile asociate de flambaj.
- funcțiile celorlalte opțiuni sunt similare cu cele detaliate în & 1.9.2.1.

Estimarea încărcării de flambaj pentru un mod particular, se obține înmulțind factorul încărcării critice cu toate încărcările aplicate, &xxx.

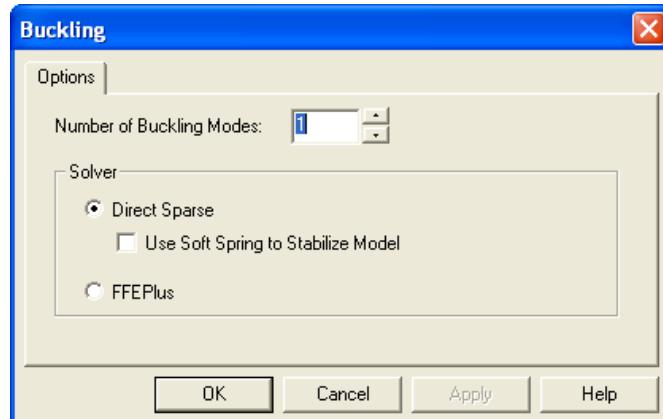


Figura 1.11

1.10. Geometria referință

Geometria referință permite specificarea încărcărilor și condițiilor de frontieră pe direcții particulare. De asemenea permite vizualizarea rezultatelor exprimate într-un sistem de coordonate particular. Prin direcție sau sistem de referință particular se înțelege o direcție sau sistem, altele decât cele ale sistemului de referință global.

1.10.1. Geometrii referință și sisteme de referință implice și locale

Pentru orice modal analizat se creează automat sistemul de referință global, prin preluarea acestuia de la sistemul CAD în care a fost modelată geometria, figura 1.12. În zona **Visualizer**, prima intrare subordonată numelui fișierului este **Reference Geometry**, căreia îi sunt subordonate următoarele intrări, ce vor fi apelate sub numele de geometrii referință implice:

- **Origin1** – reprezintă originea sistemului de referință global OXYZ;
 - **Axis1** – reprezintă axa Z a sistemului de referință global OXYZ;
 - **Plane1** – reprezintă planul XOY al sistemului de referință global OXYZ.
- Cosmos Design Star lucrează în trei sisteme de referință globale, figura 1.13:
- **sistem de referință cartezian** – OXYZ, cu originea **Origin1**, axa Z **Axis1** și planul XOY **Plane1**; un punct va avea coordonatele X,Y,Z;

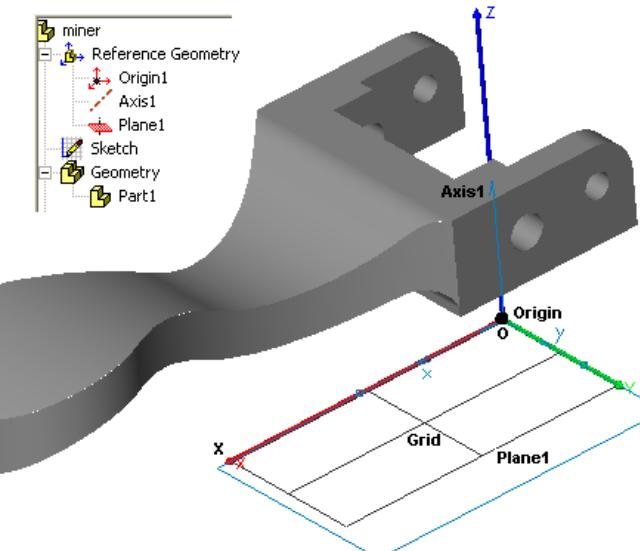
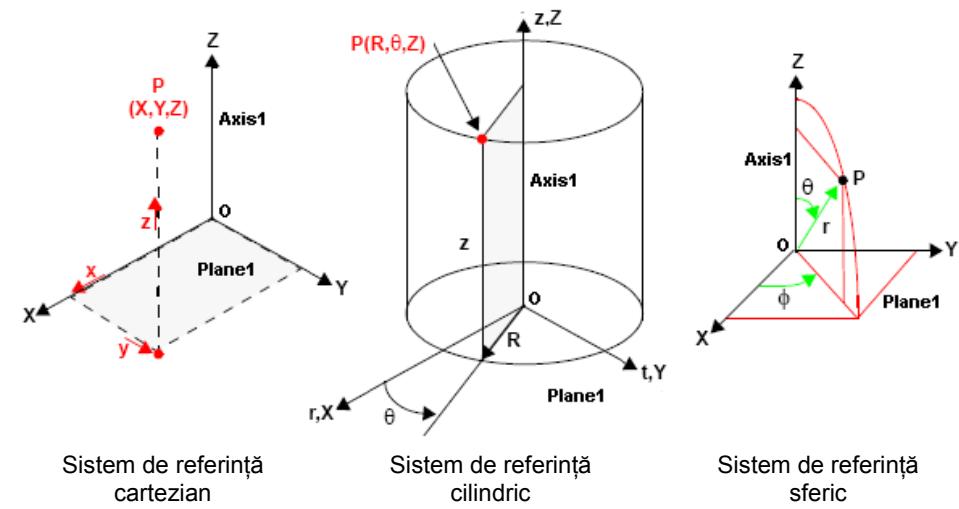


Figura 1.12



Sistem de referință cartezian

Sistem de referință cilindric

Sistem de referință sferic

Figura 1.13

- **sistem de referință cilindric** – OR θ Z, cu originea **Origin1**, axa Z **Axis1** și planul R,θ paralel cu **Plane1**; un punct va avea coordonatele R, θ, Z;
- **sistem de referință sferic** – RΦθ, cu originea **Origin1**, axa Z **Axis1** și planul XY **Plane1**; un punct va avea coordonatele R, θ, Φ.

Acestea vor fi apelate sub numele de sisteme de referință implice. În plus, utilizatorul poate crea propriile sale geometrii și sisteme de referință, care vor fi apelate sub numele de geometrii referință locale respectiv sisteme de referință locale. Geometriile referință locale ce pot fi create sunt: puncte referință, axe referință și plane referință.

Definiția referințelor geometrice locale se actualizează automat la modificarea modelului în sistemul CAD în care a fost creată geometria. Dacă entitățile utilizate la definirea geometriei referință nu mai există datorită modificărilor din sistemul CAD, pe intrările referințelor apare un semn „X” care avertizează asupra acestei probleme. Dacă referințele geometrice sunt utilizate la definirea direcției încărcărilor sau restrângerilor, modificări în aceste referințe vor provoca modificări în direcția încărcărilor sau restrângerilor, datorită asociativității între acestea.

Ascunderea/afișarea tuturor geometriilor referință se poate realiza prin opțiunea **Hide All / Show All** din meniu contextual activat prin buton dreapta mouse pe intrarea **Reference Geometry** în zona **Visualizer**.

1.10.1.1. Puncte referință locale

Punctele referință locale se creează prin specificarea coordonatelor spațiale relativ la puncte, vertex-uri sau puncte referință locale existente. Punctele referință pot fi utilizate la crearea de noi puncte, axe sau plane de referință.

Crearea unui punct referință local presupune parcurgerea următoarelor etape:

- selecția opțiunii **Point** din meniu contextual activat prin buton dreapta mouse pe intrarea **Reference Geometry** în zona **Visualizer** sau din meniu principal în succesiunea **Define→ Reference Geometry→ Point**; va apărea fereastra **Point**, figura 1.14;
- selecția unui punct, vertex sau punct referință la care se va raporta noul punct; selecția se poate realiza direct în zona grafică sau pe intrarea **Reference Geometry** din zona **Visualizer**; identificatorul punctului selectat va apărea în zona **Points/Vertices** a ferestrei **Point**; dacă nu va fi selectat nici un punct, coordonatele noului punct vor fi măsurate în raport cu originea;
- selecția unității de măsură din lista **Units**;
- în câmpurile **X**, **Y**, **Z** se vor specifica distanțele la noul punct, pe cele trei direcții **X**, **Y**, **Z**, față de punctul de raportare selectat sau față de origine;
- punctarea butonului **OK** va finaliza operația; în zona grafică va apărea noul punct și o intrare subordonată intrării **Reference Geometry** va fi creată în zona **Visualizer**.

Ascunderea/afișarea unui singur punct referință se poate realiza prin opțiunea **Hide / Show** din meniu contextual activat prin buton dreapta mouse pe intrarea corespunzătoare punctului în zona **Visualizer**.

1.10.1.2. Axe referință locale

Axele referință locale se creează prin selecția unei fețe cilindrice, a două puncte/vertex-uri sau a unei muchii liniare.

Axele referință pot fi utilizate la specificarea orientării încărcărilor și restrângerilor (forțe, presiuni, deplasări prescrise pe anumite direcții etc.) sau la definirea unui plan referință.

Crearea unei axe referință locale presupune parcurgerea următoarelor etape:

- selecția opțiunii **Axis** din meniu contextual activat prin buton dreapta mouse pe intrarea **Reference Geometry** în zona **Visualizer** sau din meniu principal în succesiunea **Define→ Reference Geometry→ Axis**; va apărea fereastra **Axis**, figura 1.15;
- selecția unei fețe cilindrice, a unei muchii liniare, a două puncte/vertex sau un punct și un vertex; identificatorul entităților selectate va apărea în zona **Reference Entities** a ferestrei **Axis**; selecția multiplă se realizează cu tasta **Ctrl** apăsată;
- punctarea butonului **OK** va finaliza operația; în zona grafică va apărea nouă axă și o intrare subordonată intrării **Reference Geometry** va fi creată în zona **Visualizer**; butonul **OK** nu va fi accesibil decât dacă sunt selectate entitățile corecte ce pot defini o axă; direcția pozitivă a axei create va fi indicată printr-o săgeată.

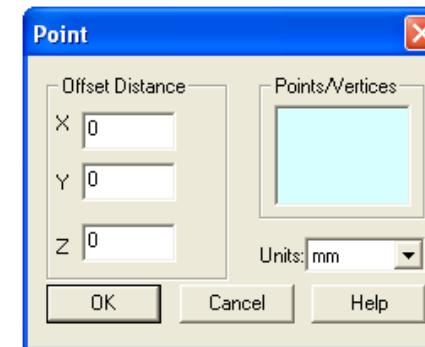


Figura 1.14

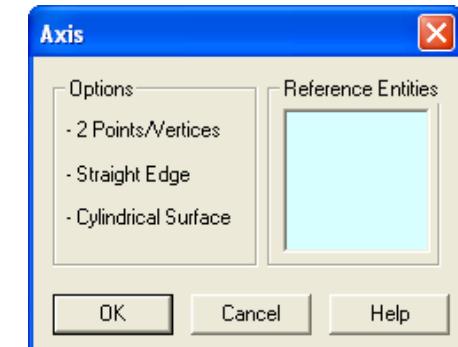


Figura 1.15

1.10.1.3. Plane referință locale

Planele referință locale se creează prin selecția unei fețe plane, a unui alt plan față de care se impune o distanță de paralelism, selecția a trei vertex-uri și optional o distanță de paralelism, prin selecția unei axe/muchii și a unui punct / vertex.

Planele referință pot fi utilizate la specificarea orientării încărcărilor și restrângerilor (forțe, presiuni, deplasări prescrise pe anumite direcții etc.) sau la definirea noilor plane referință.

Crearea unui plan referință local presupune parcurgerea următoarelor etape:

- selecția opțiunii **Plane** din meniu contextual activat prin buton dreapta mouse pe intrarea **Reference Geometry** în zona **Visualizer** sau din meniu principal în succesiunea **Define→ Reference Geometry→ Plane**; va apărea fereastra **Plane**, figura 1.16;
- selecția unei fețe plane, a unui alt plan, selecția a trei vertex-uri, selecția unei axe/muchii și a unui punct / vertex; punctele/vertex-urile nu trebuie să fie coliniare;
- selecția unității de măsură din lista **Units**;

- în câmpul **Offset** se vor specifica distanța de paralelism, considerată în direcție normală la plan; inversarea direcției de paralelism se realizează prin semn minus impus distanței numerice;
- punctarea butonului **OK** va finaliza operația; în zona grafică va apărea noul plan și o intrare subordonată intrării **Reference Geometry** va fi creată în zona **Visualizer**.

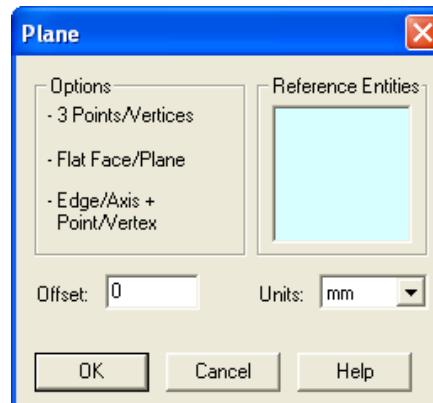


Figura 1.16

1.11. Definirea proprietăților de material

Anterior calculului analizei trebuie definite toate proprietățile de material corespunzătoare tipurilor de analiză impuse, pentru toate componentele incluse în analiză. Definirea acestor proprietăți poate fi efectuată oricând, obligatoriu însă înainte de calculul analizei. După modificarea unor proprietăți de material, calculul analizei trebuie reluat.

În intrarea **Components** din zona **Visualizer** Cosmos Design Star creează către o intrare pentru fiecare componentă individuală sau parte a unui ansamblu. Pentru studii de tip **Shell**, **2D Planar** și **2D Axisymmetric**, va fi creată intrarea **Sheets** în zona **Visualizer**, care poate conține una sau mai multe suprafete **Sheet** supuse analizei; fiecare din aceste suprafete poate avea un alt material asociat.

Definirea proprietăților de material se realizează prin intermediul ferestrei **Material**, figura 1.17, activată în următoarele variante posibile:

- selecția opțiunii **Apply Material to All**, din meniul contextual activat prin buton dreapta mouse pe intrarea **Components** respectiv **Sheets** în zona **Visualizer**; prin aceasta materialul selectat va fi aplicat tuturor componentelor sau suprafetelor subordonate intrărilor **Components** respectiv **Sheets**;
- alegerea individuală sau selectiv multiplă a uneia respectiv mai multor componente/suprafete cu tasta **Ctrl** apăsată și selecția opțiunii **Edit/Define Material**, pentru definirea individuală a proprietăților de material sau pentru modificarea acestora ulterior primei definiții.

Aceleași opțiuni pot fi preluate și din meniul principal, în succesiunea **Define** → **Components** → **Apply Material** sau **Apply Material to All**, după selecția individuală sau multiplă a componentelor sau suprafetelor.

Modalitățile de specificare a unui material sunt următoarele:

- specificarea manuală a proprietăților de material (opțiunea **Input**), prin definirea proprietățile materialului și salvarea ulterioară sub un nume specificat;
- selecția materialului din librăria **Centor Material Library**, furnizată ca opțiune suplimentară a programului (opțiunea **Centor library**);
- selecția materialului din librăria Cosmos **coswkmat.lib**, disponibilă prin instalarea programului (opțiunea **Library files**); din lista asociată acestei opțiuni se poate selecta o altă librărie, creată cu noi materiale de către utilizator; materialul se selectează din zona plasată sub opțiunea **Library files**.

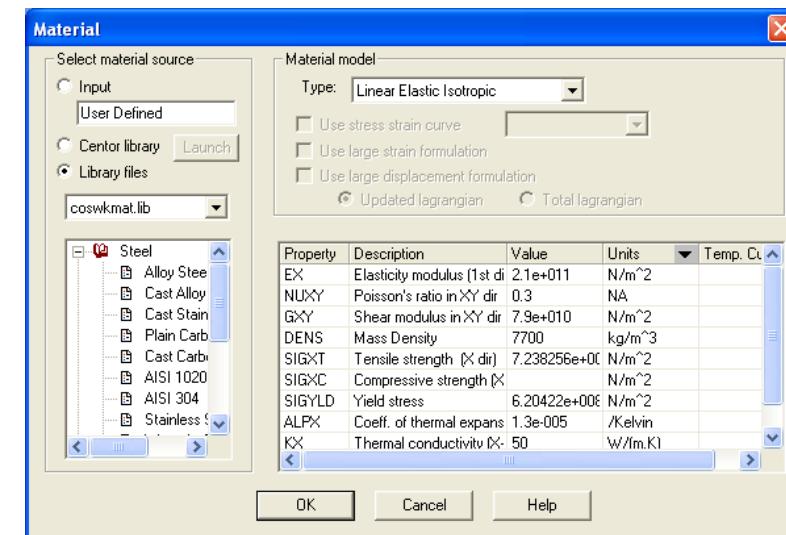


Figura 1.17

Lista **Type** definește tipul de material; pentru analize statice, de frecvențe proprii, de flambaj și termice sunt disponibile opțiunile **Linear Elastic Isotropic** și **Linear Elastic Orthotropic**.

Cea mai mare parte a ferestrei **Material** este ocupată de tabelul proprietăților de material, care include următoarele coloane: **Property** (proprietatea de material), **Description** (o scurtă descriere a proprietății de material), **Value** (valoarea numerică asociată proprietății), **Units** (lista unităților de măsură, din care se poate selecta unitatea de măsură favorită, care include următoarele opțiuni: **SI Units** – sistem internațional, **IPS Units** – sistem de măsură al SUA, **MKS Units** - sistem metric și **CGS Units** – sistem Centimetru, Gram, Secundă).

Cele mai des utilizate proprietăți sunt următoarele:

- Elasticity Modulus** - modul de elasticitate longitudinal în direcțiile globale X, Y, Z; pentru materiale elastice modulul de elasticitate longitudinal este definit ca efortul pe o direcție ce cauzează o alungire unitară în aceeași direcție și corespunde ra-

portului acestor mărimi în direcția respectivă. Mărimea a fost introdusă de Young și este utilizată în analize structurale; în mod implicit aceeași valoare este considerată și în celealte direcții Y și Z, exceptând cazul materialelor non-isotropice;

- **Shear Modulus** - modul de elasticitate transversal în direcțiile globale X, Y, Z; pentru materiale elastice modulul de elasticitate transversal este definit ca tensiunea tangențială pe o direcție ce cauzează o lunecare unitară în aceeași direcție și corespunde raportului acestor mărimi în direcția respectivă.
- **Poisson's Ratio** – coeficientul lui Poisson: extensia materialului în direcție longitudinală este însoțită de o contractie în direcție laterală; la întinderea unui corp pe direcția X, coeficientul lui Poisson ν_{XY} se definește ca raportul adimensional între contractia laterală pe direcția Y și lunecarea în direcția X. Pentru materiale isotropice, coeficientul este egal în toate direcțiile ($\nu_{XY} = \nu_{XZ} = \nu_{YZ}$). Proprietatea se utilizează în analizele de tip static, frecvență, flambaj și neliniare. În cazul în care nu este definit, programul va prelua implicit valoarea 0.3.
- **Coefficient of Thermal Expansion** – coeficient de dilatare termică, definit ca și modificare a unității de lungime pentru o modificare cu un grad a temperaturii. Proprietatea este utilizată în analizele de tip static, frecvență, flambaj și neliniare, dacă se utilizează încărcări termice.
- **Density** – densitatea, definită ca raport între masă și volum. Proprietatea este utilizată în analizele de tip static, frecvență, flambaj, neliniare și termice. Analizele statice și de flambaj utilizează proprietatea numai dacă sunt definite încărcări gravitaționale și sau centrifugale.

Cosmos Design Star oferă utilitarul **Material Browser** ce se instalează automat odată cu programul de bază și care permite gestionarea materialelor (adăugare, stergere, modificare de proprietăți, crearea de noi librării).

Dacă în același fișier se creează mai multe studii de analiză, materialele de la un studiu se pot transfera altui/altor studii prin metoda **Copy/Paste** specifică mediului Windows.

1.12. Încărcări și condiții de frontieră

1.12.1. Condiții generale de aplicare

Anterior calculului analizei trebuie definite încărcări și condiții de frontieră aplicate asupra componentelor/suprafețelor modelului. Definirea acestora poate fi efectuată oricând înainte de calculul analizei. După modificarea valorilor acestor încărcări și/sau condițiilor de frontieră, calculul analizei trebuie reluat.

În Cosmos Design Star încărcările și condițiile de frontieră se aplică geometriei și nu nodurilor, fiind complet asociate geometriei în următorul sens: modificarea geometriei este preluată și de încărcările respectiv condițiile de frontieră, atunci când o conexiune cu un sistem CAD este activă. Asociativitatea cu sistem CAD este disponibilă numai pentru programele Solid Works, Solid Edge și Autodesk Inventor.

Definirea încărcărilor și a condițiilor de frontieră se realizează prin intermediul ferestrei **Loads/BC**, activată în următoarele variante posibile:

- din meniul principal, în succesiunea **Define** → **Loads/BC**;
- selecția opțiunii corespunzătoare încărcării sau condiției de frontieră dorit din meniul contextual activat prin buton dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.

În mod implicit încărcările și condițiile de frontieră se aplică în sistemul global de referință (cartezian, cilindric sau sferic - definite prin intrările **Origin1**, **Axis1** și **Plane1** în intrarea **Origin** din zona **Visualizer**); pentru alte direcții de aplicare se vor utiliza referințe geometrice (& 1.10).

Pentru o geometrie selectată, aplicarea unor noi restrângeri sau încărcări provoacă înlocuirea anterioarelor restrângeri sau încărcări de același tip aplicate. De exemplu, la aplicarea unei forțe de 1000 N pe o față și ulterior a unei forțe de 2000 N pe aceeași față, va provoca ștergerea forței inițiale de 1000 N și înlocuirea cu noua valoare de 2000 N.

Pe o față se poate aplica o singură presiune; de asemenea nu se poate aplica presiuni simultan pe direcții diferite; orice aplicare a unei presiuni pe o față va provoca înlocuirea valorii anterioare a presiunii cu cea nouă.

Forțele și restrângerile se pot aplica simultan pe trei direcții exprimate în același sistem de referință. De exemplu, să presupunem aplicarea unor forțe pe un vertex pe direcțiile X, Y și Z, utilizând **Plane1** ca referință; după aplicarea forței pe direcția X pentru același vertex, dar utilizând o altă referință, programul va utiliza noua referință și vechile valori pentru forțele Y și Z; noua direcție și valoare vor fi preluate pentru forța pe direcția X.

Aplicarea pe mai multe entități a unei încărcări de o anumită valoare, va produce aplicarea aceleiași valori pe fiecare dintre entitățile selectate; deci programul nu va împărtăși valoarea încărcării proporțional cu vreun criteriu asociat entităților selectate.

Cosmos Design Star oferă următoarele patru categorii de tipuri de încărcări și condiții de frontieră:

- **deplasări impuse pentru studii structurale** – deplasările impuse pot fi definite pentru analize de tip static, flambaj și de frecvențe proprii. Valoarea impusă a deplasărilor poate fi nulă sau nenulă pe vertex-uri, muchii sau fețe.
- **încărcări pentru studii structurale** – încărcările pot fi impuse pentru studii de tip static, flambaj și neliniar; optional pot fi definite și pentru analize de frecvențe proprii. Încărcările includ următoarele categorii: forțe, momente de torsiune, momente de încovoiere, presiune uniformă, încărcări de masă (accelerații liniare, viteze și accelerării unghiulare, viteze și accelerării centrifugale), încărcări la distanță, conexiuni rigide și încărcări termice.
- **încărcări pentru studii termice** – temperaturi, convecții, radiații.
- **încărcări pentru studii de curgeri de fluide** – viteze, presiuni, curbe ventilațor, scalari, necunoscute, temperaturi, convecții, încărcări de masă, radiații.

1.12.2. Condiții de aplicare adecvată a restrângerilor

Restrângerile sunt adecvate, dacă nu permit nici o mișcare a corpului rigid. Se va analiza un cub în diverse variante de fixare:

- la fixarea unui vertex cubul nu va fi stabil, deoarece se poate roti în jurul vertex-ului;
- la fixarea a două vertex-uri cubul nu va fi stabil, deoarece se poate roti în jurul liniei ce unește cele două vertex-uri;
- la fixarea unei muchii drepte cubul nu va fi stabil, deoarece se poate roti în jurul muchiei;
- la fixarea unei muchii și a unei fețe normale pe muchie (astfel ca fața să nu se poată deplasa în direcția normalei) cubul nu va fi stabil, deoarece se poate roti în jurul muchiei;
- la fixarea a trei vertex-uri cubul va fi stabil.
- la fixarea a unei fețe cubul va fi stabil.
- la fixarea a unei muchii și a unui vertex ce nu aparține muchiei cubul va fi stabil.
- la restrângerea a trei fețe normale una pe alta pentru a împiedica mișcarea pe direcția normalelor, cubul va fi stabil.

Se va analiza un tub cilindric în diverse variante de fixare:

- la restrângerea unei fețe cilindrice în direcție radială tubul nu va fi stabil, deoarece poate aluneca și se poate roti;
- la restrângerea unei fețe cilindrice în direcție tangențială tubul nu va fi stabil, deoarece poate aluneca de-a lungul axei;
- la restrângerea unei fețe cilindrice în direcție radială și tangențială, precum și a unei fețe plane în direcție axială, tubul va fi stabil;
- la restrângerea unei fețe cilindrice în direcție tangențială, precum și a unei fețe plane în direcție axială, tubul va fi stabil;
- la fixarea oricărei fețe, tubul va fi stabil.

Analiza restrângerilor aplicate entităților de tip **shell** este guvernată de următoarele considerații:

- elementele de tip **shell** suportă atât translații cât și rotații în noduri;
- tipurile de constrângerii **Immovable** și **Fixed** reprezintă condiții identice pentru solide, dar pentru elemente **shell** sunt diferite în următorul sens: restrângerea **Immovable** impune translațiile la valoarea zero, dar nu restrânge rotațiile, pe când restrângerea **Fixed** impune atât translațiile cât și rotațiile la valoarea zero;
- aplicarea unei restrângerii **Immovable** unui vertex sau muchii, nu va stabiliza modelul, deoarece acesta se poate roti în jurul vertex-ului respectiv muchiei;
- la fixarea unui vertex, modelul poate fi sau nu stabil, funcție de încărcările aplicate;
- la fixarea unei muchii sau a mai mult de un vertex, modelul devine stabil.

Analiza restrângerilor aplicate entităților plane este guvernată de următoarele considerații:

- deplasarea unui nod al unui element plan este definită complet de deplasările în direcția X și Y din planul elementului;
- restrângerile deplasărilor se vor aplica întotdeauna în sistemul de coordinate asociat planului elementului;
- tipurile de constrângerii **Immovable** și **Fixed** reprezintă condiții similare fiind echivalente valorilor nule pentru deplasările pe direcțiile X și Y;
- pentru modele axial simetrice trebuie restrâns cel puțin un punct în direcția axei de simetrie pentru a preveni mișcarea de alunecare de-a lungul axei;
- pentru modele lungi extrudate (formulare **plane stress**) sau modele extrudate subțiri (formulare **plane stress**) trebuie restrâns cel puțin un vertex în direcția X și un vertex pe direcția Y; fixarea unui singur vertex nu este adecvată deoarece modelul se poate roti liber în jurul acestuia; fixarea unei muchii va stabiliiza modelul.

Analiza restrângerilor simetrice este guvernată de următoarele considerații:

- pentru modele solide, o față de simetrie este specificată prin setarea translației normalelor la valoarea zero;
- pentru modele **shell**, simetria necesită setarea translației și a două rotații la valoarea zero.

Acste principii se vor exemplifica pentru elementul plan din figura 1.18. Datorită dublei simetriei, modelul poate fi analizat numai pe un sfert. Pentru varianta de modelare solidă (stânga) trebuie impuse translația normalelor la valoarea zero pentru fețele 1 și 2; pentru varianta de modelare **shell** (dreapta) trebuie impuse următoarele condiții de frontieră: pentru muchia 1 valorile zero pentru translația pe direcția Y și rotațiile pe direcțiile X și Z, iar pentru muchia 2 valorile zero pentru translația pe direcția X și rotațiile pe direcțiile Y și Z.

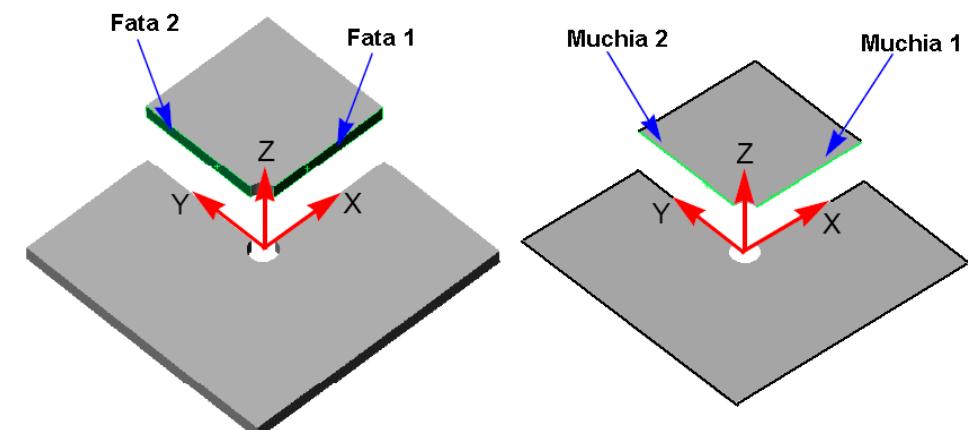


Figura 1.18

1.12.3. Restrângerea deplasărilor

Restrângerea deplasărilor se poate impune pentru analize de tip static, frecvențe proprii, flambaj sau neliniar și constau în valori nule sau nenule ale translațiilor și/sau rotațiilor pentru vertex-uri, muchii sau fețe ale modelului.

Restrângerea deplasărilor se impune prin intermediul ferestrei **Restraint**, figura 1.19, activată în următoarele variante posibile:

- din meniu principal, în succesiunea **Define→ Loads/BC→ Restraints**;
- selecția opțiunii **Restraints** din meniu contextual activat prin buton dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.

Opțiunile disponibile ale ferestrei **Restraint** sunt următoarele:

- lista **Restraint Type** – permite selecția tipului de restrângere:

Restrângere	Caracteristici	Aplicabilă la	Geometrie referință
Fixed	Fixează spațial entitățile selectate; o entitate fixată nu se poate deplasa în nici o direcție.	Vertex, muchii, fețe	Nu este cazul
Symmetric	Punctele planului se pot deplasa în plan, deplasarea fiind împiedicată pe direcție normală la plan.	Fețe plane	Nu este cazul
Non-Sliding Face	Punctele planului nu se pot deplasa în plan, deplasarea fiind permisă pe direcție normală la plan.	Fețe plane	Nu este cazul
Sliding Face	Punctele planului se pot deplasa în plan, deplasarea fiind împiedicată pe direcție normală la plan (condiție similară cu Symmetric).	Fețe plane	Nu este cazul
No Translation	Impune valori nule pentru deplasările pe direcțiile X, Y, Z.	Vertex, muchii, fețe	Nu este cazul
No Rotation	Impune valori nule pentru rotațiile în jurul axelor X, Y, Z.		Nu este cazul
Prescribed	Permite impunerea deplasării entității la valoarea prescrisă pe o direcție specificată prin geometria referință.		Puncte, axe sau plane

- zona **Translation** – este utilizată numai pentru tipul de restrângere **Prescribed**; conține lista **Units** pentru selecția unității de măsură în care vor fi considerate valorile prescrise și câmpurile **X**, **Y** și **Z** pentru introducerea valorilor prescrise ale deplasării pe direcțiile specificate prin geometria referință. Pentru activarea câmpului se va puncta icoana asociată și se va introduce în câmp valoarea prescrisă; pentru inversarea direcției trebuie schimbat semnul valorii; câmpul nu trebuie activat decât dacă se dorește specificarea unei valori prescrise a rotației (nule sau nenule).

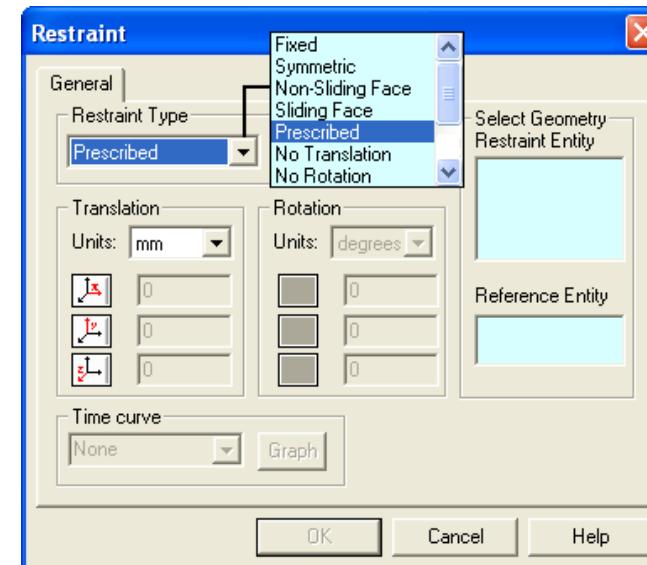


Figura 1.19

- zona **Rotation** – este utilizată numai pentru tipul de restrângere **Prescribed** și numai pentru discretizare de tip **Shell**; conține lista **Units** pentru selecția unității de măsură în care vor fi considerate valorile prescrise (grade și radiani) și câmpurile **X**, **Y** și **Z** pentru introducerea valorilor prescrise ale rotației în jurul axelor **X**, **Y** și **Z** specificate prin geometria referință. Pentru activarea câmpului se va puncta icoana asociată și se va introduce în câmp valoarea prescrisă; pentru inversarea direcției trebuie schimbat semnul valorii; câmpul nu trebuie activat decât dacă se dorește specificarea unei valori prescrise a rotației (nule sau nenule).
- zona **Select Geometry** – opțiunea **Restraint Entity** – afișează identificatorul entității selectate pentru aplicarea restrângerii; selecția se poate realiza anterior sau ulterior deschiderii ferestrei **Restraint**;
- zona **Select Geometry** – opțiunea **Reference Entity** – afișează identificatorul entității utilizate ca referință pentru aplicarea direcțională a restrângerii; se poate selecta o singură entitate: punct, axă sau plan.

1.12.4. Încărcări structurale

Încărcările structurale se pot impune pentru analize de tip static, flambaj sau neliniar și constau în forțe, momente de încovoiere și torsione, presiune uniformă. Pentru analize de frecvențe proprii încărcările vor fi considerate numai încărcări planare.

Încărcările structurale se impun prin intermediul ferestrei **Loads**, figura 1.20, activată în următoarele variante posibile:

- din meniu principal, în succesiunea **Define→ Loads/BC→ Loads**;
- selecția opțiunii **Loads** din meniu contextual activat prin buton dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.

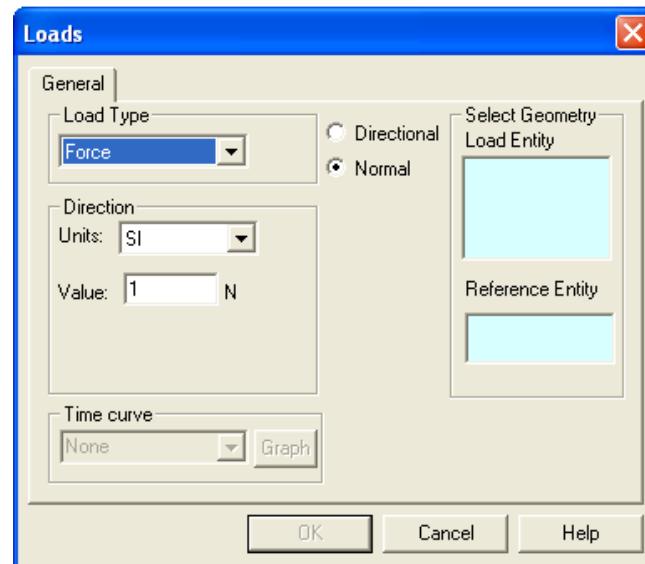


Figura 1.20

Opțiunile disponibile ale ferestrei **Loads** sunt următoarele:

- lista **Load Type** – permite selecția tipului de încărcare structurală:
 - **Force** – încărcare de tip forță ce se poate aplica vertex-urilor, muchiilor sau fețelor; valoarea specificată se aplică fiecareia dintre entitățile selectate;
 - **Torque** – încărcare de tip moment de torsiune ce se poate aplica fețelor; valoarea specificată se aplică fiecareia dintre entitățile selectate;
 - **Moment** – încărcare de tip moment de încovoiere ce se poate aplica vertex-urilor, muchiilor sau fețelor; valoarea specificată se aplică fiecareia dintre entitățile selectate;
 - **Uniform Pressure** – încărcare de tip presiune uniformă ce se poate aplica fețelor.
- **Direcțional** – opțiune disponibilă numai pentru încărcări **Force** și **Uniform Pressure** pe o direcție specificată prin geometrie referință (punct, axă sau plan);
- **Normal** – pentru activare aplicare **Force** sau **Uniform Pressure** normal pe o față; opțiunea nu este disponibilă pentru aplicare pe vertex-uri sau muchii ale modelelor solide, dar se poate utiliza pentru aplicare pe muchii ale elementelor **shell** sau planare;
- zona **Direction** lista **Units** – permite selecția unităților de măsură asociate încărcărilor (**SI**, **English (IPS)**, **Metric (G)** și **CGS**);
- zona **Direction** câmpul **Value** – permite introducerea valorii numerice a încărcării; valoarea se va aplica fiecarei entități selectate;
- zona **Direction** câmpurile **X**, **Y** și **Z** – permit introducerea valorilor prescrise ale încărcării pe direcțiile specificate prin geometria referință. Pentru activarea câmpului se va puncta icoana asociată și se va introduce în câmp valoarea; pentru inversarea direcției trebuie schimbat semnul valorii; câmpul nu trebuie activat decât dacă se dorește specificarea unei valori prescrise a încărcării.

Câmpurile **X**, **Y** și **Z** devin disponibile numai pentru încărcările de tip **Force**, **Moment** sau **Uniform Pressure** și opțiunea **Direcțional**, pentru celelalte tipuri valoarea unică din câmpul **Value** fiind suficientă;

- zona **Select Geometry** – opțiunea **Load Entity** – afișează identificatorul entității selectate pentru aplicarea încărcării; selecția se poate realiza anterior sau ulterior deschiderii ferestrei **Restraint**;
- zona **Select Geometry** – opțiunea **Reference Entity** – afișează identificatorul entității utilizate ca referință pentru aplicarea direcțională a încărcării; se poate selecta o singură entitate: punct, axă sau plan.

1.12.5. Încărcări de masă

Încărcările de masă se pot impune pentru analize de tip structural (static, frecvențe proprii și flambaj) și curgeri de fluide și constau în încărcări de tip gravitațional și centrifugal ce se aplică întregului model. Din acest motiv densitatea materialelor trebuie definită în cazul utilizării încărcărilor de masă.

Pentru analize de tip structural se pot aplica accelerări liniare, viteze și accelerări unghiulare. Pentru fluide se pot aplica numai aplica accelerări liniare.

Încărcările de masă se impun prin intermediul ferestrei **Body Loads**, figura 1.21, activată în următoarele variante posibile:

- din meniu principal, în succesiunea **Define** → **Loads/BC** → **Body Force**;
- selecția opțiunii **Body Force** din meniu contextual activat prin buton dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.

Opțiunile disponibile ale ferestrei **Body Loads** sunt următoarele:

- lista **Body Load Type** – permite selecția tipului de încărcare structurală:
 - **Linear Acceleration** – pentru aplicare acceleratie liniară întregului model;
 - **Angular Acceleration** – pentru aplicare acceleratie unghiulară întregului model;

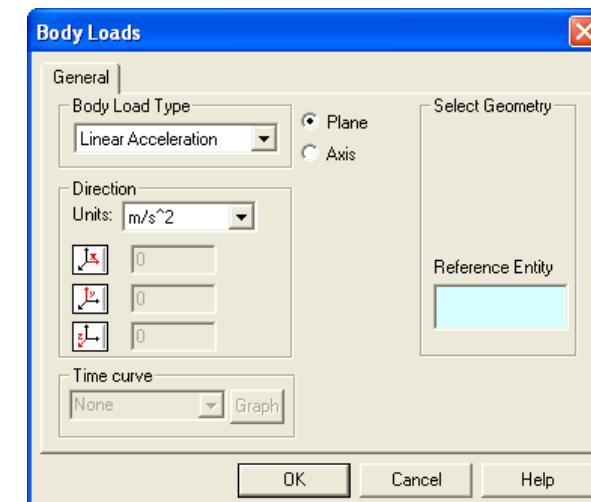


Figura 1.21

- **Angular Velocity** – pentru aplicare viteza unghiulară întregului model;
- **CG Angular Acceleration** – pentru aplicare accelerări unghiulară întregului model în centrul de greutate al acestuia;
- **CG Angular Velocity** – pentru aplicare viteza unghiulară întregului model în centrul de greutate al acestuia;
- zona **Direction** lista **Units** – permite selecția unităților de măsură pentru viteze și accelerării;
- zona **Direction** câmpurile **X**, **Y** și **Z** – permit introducerea valorilor prescrise ale încărcării pe direcțiile specificate prin geometria referință. Pentru activarea câmpului se va puncta icoana asociată și se va introduce în câmp valoarea; pentru inversarea direcției trebuie schimbat semnul valorii; câmpul nu trebuie activat decât dacă se dorește specificarea unei valori prescrise a încărcării.
- opțiunea **Plane** – se va activa dacă se dorește utilizarea unui plan referință la specificarea încărcării de masă;
- opțiunea **Axis** – se va activa dacă se dorește utilizarea unei axe referință la specificarea încărcării de masă;
- zona **Select Geometry** – opțiunea **Reference Entity** – afișează identificatorul entității utilizate ca referință pentru aplicarea încărcării; se poate selecta o singură entitate: axă sau plan.

1.12.6. Încărcări la distanță

Există situații în care rezultatele locale ale unei componente nu interesează în analiză, dar efectul componentei asupra restului modelului nu poate fi neglijat. În aceste situații funcția componentei este numai de transfer a încărcărilor spre restul modelului. Simularea unei asemenea situații se realizează înălțărând componenta care nu interesează în analiză și aplicând încărcări și/sau restrângeri la distanță asupra restului modelului. Aceasta conduce la o simplificare a modelului, fără prea mari erori numerice.

Deci încărcările la distanță sunt aplicate în locații exterioare modelului și efectul lor se transferă asupra modelului, figura 1.22.

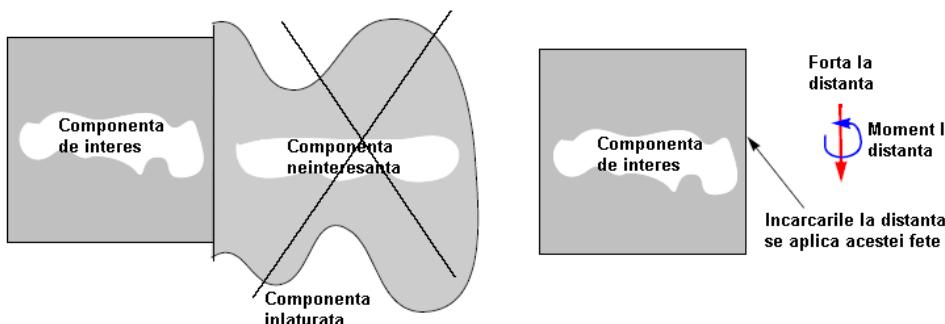


Figura 1.22

Cosmos Design Star oferă trei opțiuni de aplicare a încărcărilor la distanță:

- **Load (Direct Transfer)** – se va utiliza această opțiune când componenta înălțată este flexibilă, iar deplasările acesteia se încadrează în ipoteza micilor deplasări. Încărcările la distanță (forțe și/sau momente) sunt aplicate în puncte definite prin coordonate X, Y, Z raportat la un sistem de coordonate. În mod implicit este utilizat sistemul global de coordonate (**Plane1**), dacă nu este selectat nici un alt sistem de coordonate. Momentele se aplică în raport cu axele specificate ale sistemului de coordonate. Programul calculează și aplică automat forțele echivalente fețelor selectate. O forță aplicată într-un punct la distanță își transferă efectul printr-o forță și un moment echivalent aplicate feței selectate, figura 1.23.

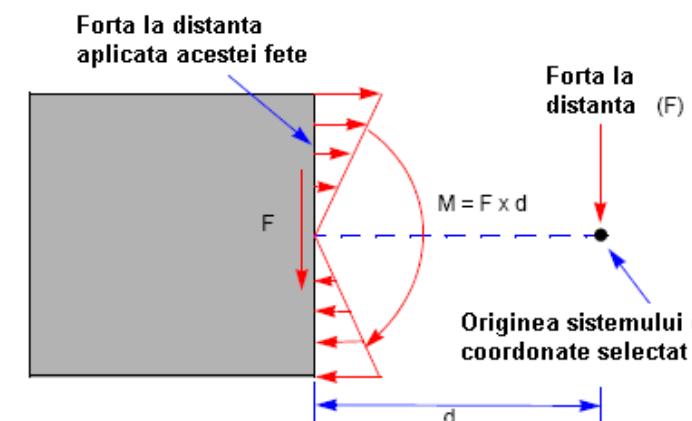


Figura 1.23

- **Load (Rigid Connection)** – se va utiliza această opțiune când componenta înălțată este rigidă, iar încărcările la distanță pot înlocui efectul ei în restul modelului, figura 1.24. Punctul de aplicare al încărcării este conectat la fețele selectate prin bare rigide. Față fiind rigid conectată la un punct se poate deplasa ca un corp rigid. Deci suprafața și forma fiecărei fețe ce participă la conexiune vor rămâne nemodificate. În apropierea fețelor rigid conectate se pot dezvolta eforturi ridicate.

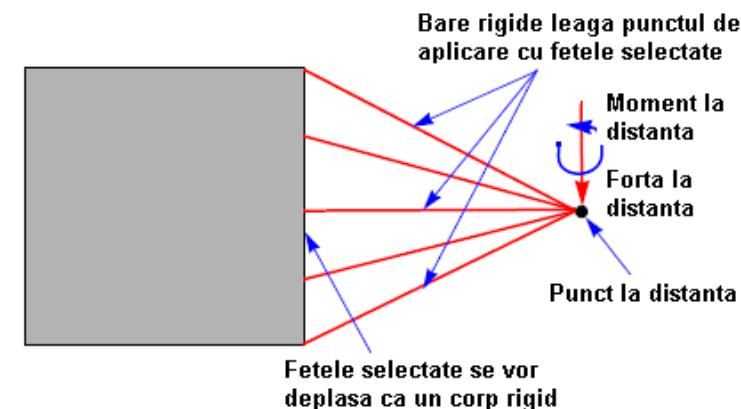


Figura 1.24

- **Displacement (Rigid Connection)** – se va utiliza această opțiune când componenta înălțurată este rigidă, iar deplasările la distanță (translații și/sau rotațiile pot înlocui efectul ei în restul modelului), figura 1.25. Punctul de aplicare al încărcării este conectat la fețele selectate prin bare rigide. Față fiind rigid conectată la un punct se poate deplasa ca un corp rigid. Deci suprafața și forma fiecărei fețe ce participă la conexiune vor rămâne nemodificate. În apropierea fețelor rigid conectate se pot dezvolta eforturi ridicate.

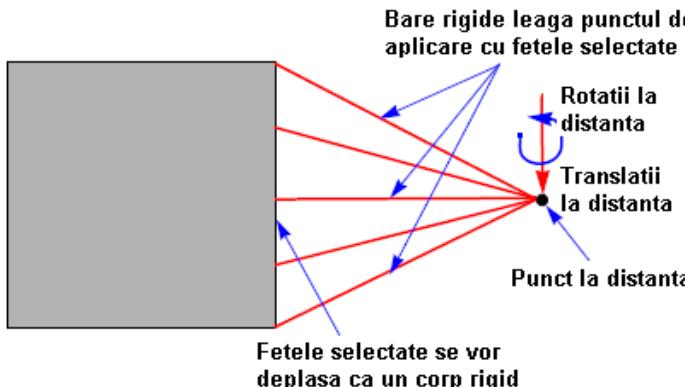


Figura 1.25

Încărcările la distanță se impun prin intermediul ferestrei **Remote Loads**, figura 1.26, activată în următoarele variante posibile:

- din meniu principal, în succesiunea **Define→ Loads/BC→ Remote Loads**;
- selecția opțiunii **Remote Loads** din meniu contextual activat prin buton dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.

Opțiunile disponibile ale ferestrei **Loads** sunt următoarele:

- lista **Remote Load Type** – permite selecția tipului de încărcare:
 - **Load (Direct Transfer)** – pentru transfer direct al forțelor și momentelor fețelor selectate;
 - **Load (Rigid Connection)** – conectează fețele selectate prin bare rigide cu locația la distanță, în care sunt aplicate forțe și momente;
 - **Displacement (Rigid Connection)** – conectează fețele selectate prin bare rigide cu locația la distanță, în care sunt aplicate restrângerile (translații și rotații);
- zona **Select Geometry** – opțiunea **Reference Entity** – afișează identificatorul sistemului de referință (planul acestuia) utilizat pentru specificarea locației la distanță de unde sunt preluate încărcările și restrângerile;
- zona **Remote Location** – afișează coordonatele X, Y și Z ale punctului de aplicare al încărcării la distanță, precum și unitatea de măsură prin lista **Units**;
- zona **Force** – permite specificarea componentelor X, Y și Z ale forței la distanță, precum și unitatea de măsură prin lista **Units**;
- zona **Moment** – permite specificarea componentelor X, Y și Z ale momentului la distanță, precum și unitatea de măsură prin lista **Units**.

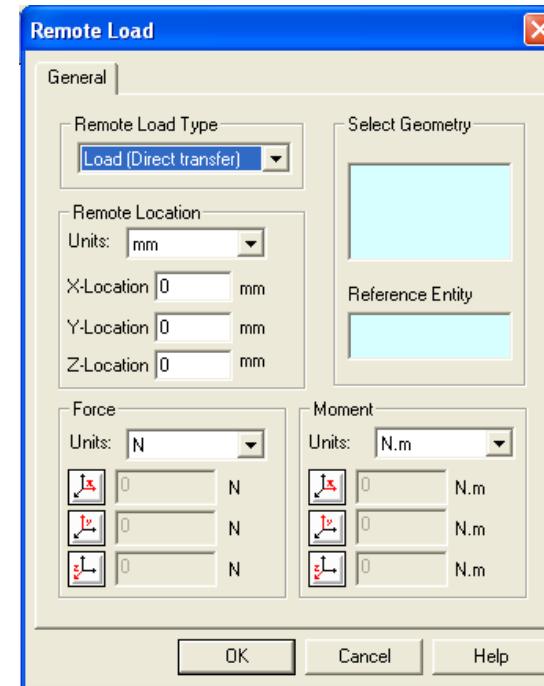


Figura 1.26

1.12.7. Conexiuni rigide

Fereastra **Rigid Connections** permite conectarea rigidă a uneia sau mai multor fețe ale unei componente cu una sau mai multe fețe ale unei alte componente. Fețele conectate se pot deplasa ca un corp rigid. Opțiunea este disponibilă pentru ansambluri.

1.12.8. Temperaturi

Fereastra **Temperature** permite specificarea valorilor temperaturii pe vertexuri, muchii sau fețe ale unui model, pentru studii de tip static, neliniar, termic și curgeri de fluide. Temperaturile se impun prin intermediul ferestrei **Temperature**, activată în următoarele variante posibile:

- din meniu principal, în succesiunea **Define→ Loads/BC→ Temperature**;
- selecția opțiunii **Temperature** din meniu contextual activat prin buton dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.

Opțiunile disponibile ale ferestrei **Temperature** sunt următoarele:

- lista **Units** – permite selecția unității de măsură în care se va exprima temperatura (Kelvin, Fahrenheit și Celsius);
- câmpul **Value** – permite introducerea valorii temperaturii;
- zona **Select Geometry** – opțiunea **Temperature Entity** – afișează identificatorul entităților pe care se va aplica temperatura (vertex, muchie, față sau componentă).

1.12.9. Simboluri ale încărcărilor

Simbolurile utilizate de Cosmos Design Star pentru evidențierea încărcărilor în zona grafică sunt prezentate în continuare:

Translații		Încărcare de masă	
Rotații		Temperatură	
Încărcare			

1.12. Discretizarea modelului

1.13.1. Considerații generale

Metoda elementului finit este o metodă numerică de analiză și simulare a proceselor și fenomenelor tehnice. Ideea de bază a metodei constă în divizarea modelului geometric în elemente finite conectate în punctele comune (noduri). Astfel, întregul model este privit în cadrul analizei ca o rețea de elemente discrete interconectate.

Metoda elementului finit se bazează pe ideea comportării variabile a fiecărui element funcție de condiții particulare și calculează comportarea întregului model pe baza informațiilor preluate de la elementele finite care compun modelul.

În această metodă operația de discretizare este un pas deosebit de important. Cosmos Design Star realizează automat divizarea modelului în elemente finite, operația fiind denumită discretizare (**mesh**).

Discretizarea se realizează pornind inițial de la o valoarea globală a mărimii elementelor finite, valoare rezultată din volumul, suprafața și alte detalii geometrice ale modelului.

Rezultatul final al discretizării (numărul de noduri și de elemente finite generate) depind de geometria și dimensiunile modelului, de calitatea elementului impus (**draft** – grosier sau **high** - fin), de mărimea elementului, de toleranțe impuse pentru discretizare, de condiții de discretizare locale și de condiții de contact specificate.

Pentru calcule inițiale se recomandă generarea unor discretizări cu mărimi grosiere ale elementului finit pentru obținerea rapidă a unor soluții incipiente, iar în fazele finale ale analizelor discretizările trebuie realizate cu mărimi fine ale elementelor finite, pentru a crește precizia soluțiilor finale generate prin această metodă.

Se pot de asemenea impune discretizări locale (**mesh control**) în zonele de geometrie variabilă, unde mărimea elementelor finite poate fi mai fină decât în restul zonelor.

1.13.2. Tipuri de elemente finite

Cosmos Design Star oferă următoarele tipuri de elemente finite:

- **Tetrahedral solid elements** - elemente finite tetraedrale solide - pentru discretizarea solidelor individuale sau ansamblelor;
- **Triangulare planar sau curved shell elements** - elemente finite triunghiular plane sau **shell** curbate pentru discretizarea de tip **shell**;
- **Axisymmetric planar triangular 2D elements** - elemente finite axial simetrice planare triunghiulare 2D pentru discretizarea suprafetelor plane pentru studii de analiză 2D planare axial simetrice;
- **Thin extruded planar triangular 2D elements** - elemente finite triunghiulare de tip planar extrudate subțiri 2D (formulare **plane stress**) pentru discretizarea suprafetelor plane pentru studii de analiză 2D Planar;
- **Long extruded planar triangular 2D elements** - elemente finite triunghiulare de tip planar lungi extrudate 2D (formulare **plane strain**) pentru discretizarea suprafetelor plane pentru studii de analiză 2D Planar.

Teoretic, toate modelele pot fi create și analizate ca modele solide. În practică însă o problemă 3D poate fi mult simplificată prin aproximare cu modele **shell** sau planare, fără concesii majore privind precizia de calcul.

Astfel, elementele de tip **shell** sunt recomandate pentru modele subțiri. Utilizarea modelelor solide conduce în aceste cazuri la un număr foarte mare de elemente finite.

Elemente plane pot simplifica probleme de tip axial simetric, probleme de eforturi plane (formulare **plane stress**) sau probleme de alungiri plane (formulare **plane strain**).

1.13.2.1. Elemente finite solide

Elementele finite de tip solid (**Tetrahedral solid elements**) sunt de două categorii:

- elemente de tip tetraedrale solide lineare – care corespund unei discretizări de nivel calitativ grosier (**draft quality mesh**); aceste elemente se mai numesc de ordinul întâi sau de ordin inferior; elementul este definit prin 4 noduri conectate prin 6 linii drepte;
- elemente de tip tetraedrale solide parabolice – care corespund unei discretizări de nivel calitativ ridicat (**high quality mesh**); aceste elemente se mai numesc de ordinul doi sau de ordin superior; elementul este definit prin 4 noduri și 6 noduri mijlocii conectate prin 6 muchii.

Fiecare nod ale unui element solid are 3 grade de libertate, care reprezintă translațiile pe cele trei direcții ortogonale. Pentru aplicații termice fiecare nod are un grad de libertate (temperatura).

Figura 1.27 prezintă cele două tipuri de elemente finite tetraedrale solide (lineare și parabolice), precum și un exemplu de discretizare cu elemente solide.

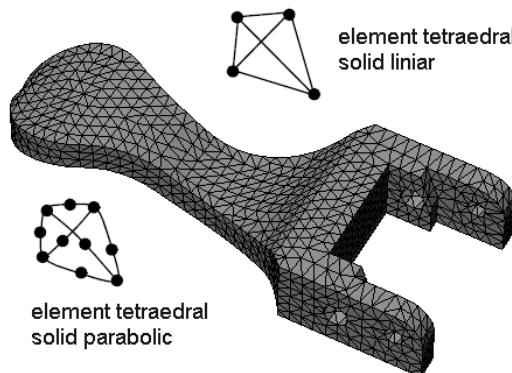


Figura 1.27

Pentru aceeași densitate (același număr de elemente finite și noduri) elementele parabolice oferă rezultate mai precise comparativ cu cele lineare, deoarece reprezintă frontierele curbilinii mult mai precis și oferă o aproximare matematică superioară, dar efortul de calcul este mai mare.

1.13.2.2. Elemente finite de tip „shell”

Elementele de tip **shell** răspund din punct de vedere al rezistenței similar membranelor și de asemenea pot suporta încărcări de încovoieri.

Elementele finite de tip **shell** sunt generate pentru studii de tip **shell** (& 1.9.1) și se clasifică în două categorii:

- elemente de tip **shell** lineare – care corespund unei discretizări de nivel calitativ grosier (**draft quality mesh**); elementul este de tip triunghiular linear, definit prin 3 noduri de colț, conectate prin linii drepte;
- elemente de tip **shell** parabolice – care corespund unei discretizări de nivel calitativ ridicat (**high quality mesh**); elementul este de tip triunghiular parabolic, definit prin 3 noduri de colț, 3 noduri mediane, conectate prin muchii parabolice.

Pentru aplicații de tip structural, fiecare nod ale unui element **shell** are 6 grade de libertate, care reprezintă translațiile și rotațiile pe cele trei direcții ortogonale. Pentru aplicații termice fiecare nod are un grad de libertate (temperatura).

Figura 1.28 prezintă cele două tipuri de elemente finite **shell** (lineare și parabolice), precum și un exemplu de discretizare cu acest tip de elemente.

1.13.2.3. Elemente finite de tip planar 2D

Elementele de tip planar 2D pot fi utilizate atunci când rezultatele pe direcția de extrudare sau de rotație nu variază, conducând astfel la simplificarea problemei din spațiul 3D în spațiul 2D, cu următoarele avantaje:

- discretizarea este mai simplă și mai rapidă;
- numărul de noduri și de elemente și gradele de libertate sunt semnificativ mai mici, deoarece 2 grade per nod conduc la o soluție mult mai rapidă;
- rezultatele sunt mai precise, deoarece dimensiunea a 3-a este considerată în formularea matematică fără nici o aproximare.

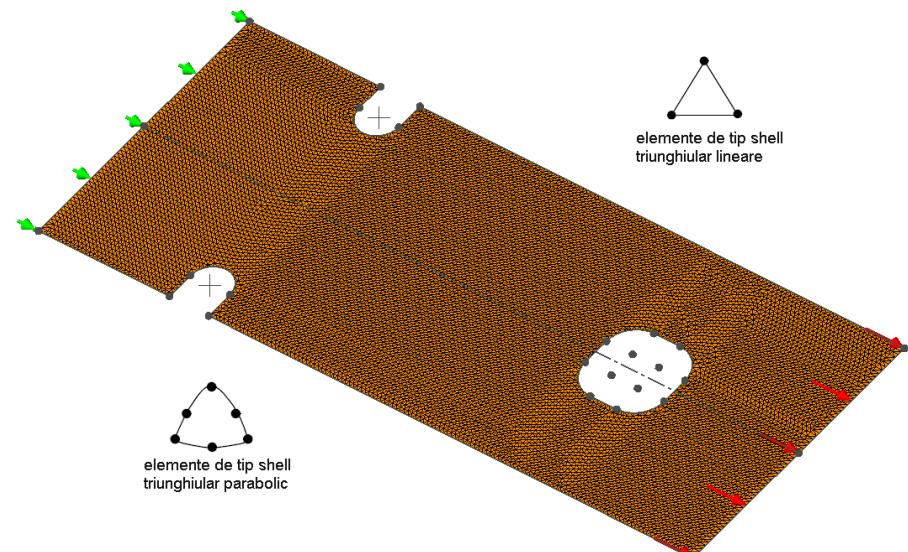


Figura 1.28

Elementele plane 2D pot fi clasificate în:

- elemente axial simetrice (**axisymmetric elements**);
- elemente finite triunghiulare de tip planar lungi extrudate 2D (formulare **plane strain**);
- elemente finite triunghiulare de tip planar extrudate subțiri 2D (formulare **plane stress**).

Elemente axial simetrice (**axisymmetric elements**)

Acest tip de elemente plane reprezintă volume de material generate prin revoluția, în jurul unei axe de simetrie, pe o dispunere unghiulară de 360° a unui element triunghiular 2D. Forțele și încărcările concentrate aplicate secțiunii transversale sunt considerate unei unități radian. Pentru acest tip de elemente nu se specifică o grosime a suprafeței, dar următoarele condiții trebuie să satisfacă:

- modelul trebuie să fie geometric axial simetric, deci să poată fi generat prin rotația pe 360° a unei secțiuni transversale în jurul unei axe; secțiunea transversală poate fi compusă din suprafețe cu materiale diferite;
- încărcările nu pot fi aplicate normal pe secțiunea transversală;
- materialele, încărcările și restrângerile trebuie să fie axial simetrice.

Rezultatele pe secțiunea transversală reprezintă întregul model. Pentru aplicații structurale, criteriul stabilității impune restrângerea a cel puțin 2 puncte în direcție axială. Pentru celelalte direcții, se pot aplica restrângerile suplimentare, dar nu acestea sunt necesare din punct de vedere al stabilității.

O forță concentrată F dispusă în planul secțiunii este echivalentă cu o forță totală egală cu $2 \times \pi \times F$, distribuită de-a lungul circumferinței generate prin rotația punctului de aplicare a forței în jurul axei de rotație.

Figura 1.29 prezintă un vas de revoluție generat prin rotația secțiunii transversale în jurul axei de simetrie. Secțiunea transversală este discretizată prin elemente axial simetrice triunghiulare, care prin rotație generează inele spațiale 3D.

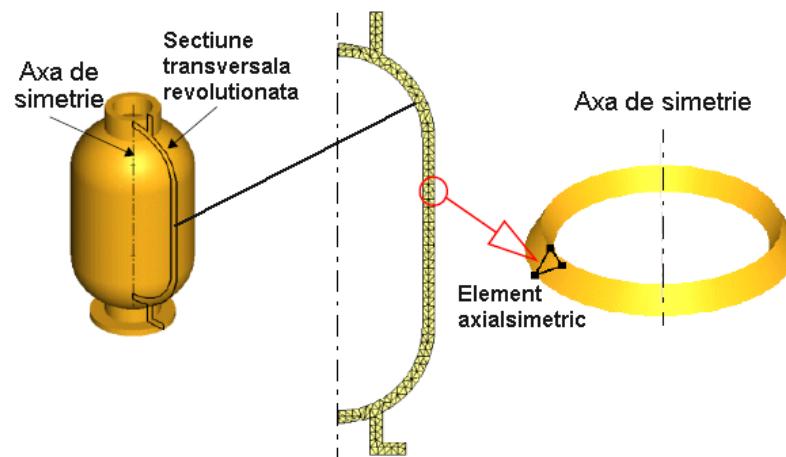


Figura 1.29

□ Elemente finite triunghiulare de tip planar lungi extrudate

Acest tip de elemente plane reprezintă volume de material generate prin extrudarea unui element pe o distanță mult mai mare comparativ cu dimensiunile secțiunii transversale. Forțele și încărcările concentrate aplicate secțiunii transversale sunt considerate pe unitatea de lungime de extrudare (1 metru). Pentru acest tip de elemente nu se specifică o grosime a suprafeței, dar următoarele condiții trebuie să fie îndeplinite:

- secțiunea transversală trebuie să fie uniformă pe toată lungimea extrudării;
- lungimea de extrudare trebuie să fie mult mai mare (de cel puțin 3 ori) decât dimensiunile secțiunii transversale;
- încărcările nu pot fi aplicate normal pe secțiunea transversală;
- materialele, încărcările și restrângerile trebuie să fie identice pe toate segmentele extrudării;
- toate suprafețele studiului trebuie dispuse în același plan;
- rezultatele nu variază pe direcția de extrudare.

Pentru aplicații de analiză statică, alungirea în direcția extrudării este nulă, motiv pentru care elementele se mai numesc de tip **plane strain**. Tensiunile în direcția extrudării nu sunt însă neapărat nule.

Figura 1.30 prezintă exemple de discretizare cu elemente triunghiulare de tip planar lungi extrudate. Varianta a) reprezintă secțiunea transversală a unui dig, iar varianta b) reprezintă secțiunea transversală a unei conducte lungi.

□ Elemente finite triunghiulare de tip planar extrudate subțiri

Acest tip de elemente plane reprezintă volume de material generate prin extrudarea unui element pe o distanță definită prin grosimea secțiunii transversale.

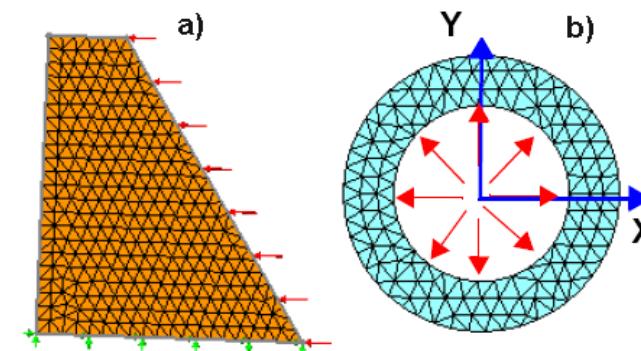


Figura 1.30

Pentru acest tip de elemente trebuie să fie specificată grosimea, iar următoarele condiții trebuie să fie îndeplinite:

- secțiunea transversală trebuie să fie uniformă pe toată lungimea extrudării;
- distanța de extrudare trebuie să fie mică comparativ cu dimensiunile secțiunii transversale pentru ca rezultatele să nu varieze de-a lungul grosimii;
- încărcările nu se vor aplica normal pe secțiunea transversală, adică de-a lungul direcției de extrudare;
- materialele, încărcările și restrângerile nu se variază de-a lungul direcției de extrudare;
- toate elementele trebuie create în același plan.

Pentru aplicații de analiză statică, efortul în direcția extrudării este nul, motiv pentru care elementele se mai numesc de tip **plane stress**. Alungirile în direcția extrudării nu sunt însă neapărat nule.

1.13.3. Comportarea elementelor shell și planar 2D

Deși din punct de vedere vizual elementele **shell** și planar 2D arată la fel, funcțional ele se comportă diferit, definițiorii fiind următoarele elemente:

- elementele **shell** pot fi plane sau curbate, pe când elementele planare 2D pot fi dispuse numai în plan;
- mulți elementelor **shell** pot fi curbate în orice direcție, pe când curbura mulțimii elementelor planare 2D poate fi dispusă numai în plan;
- pentru probleme de tip structural, elementele **shell** se pot deforma în orice direcție generată ca efect al încărcărilor și/sau restrângerilor, iar fiecare nod are 6 grade de libertate; elementele planare 2D se pot deforma numai în planul lor, iar fiecare nod are numai 2 grade de libertate; pentru analize termice nodurile ambelor tipuri de elemente au un singur grad de libertate pe nod, adică temperatură;
- elementele planare 2D sunt insensibile la încărcări aplicate normal pe planul lor, acestea fiind ignorate; elementele **shell** sunt sensibile la încărcări pe orice direcție;

- toatele elementele de tip planar 2D trebuie dispuse în același plan, restricție care nu este obligatorie pentru elemente **shell**;
- pentru un material ortotropic asociat elementelor plane extrudate, planul elementelor trebuie să reprezinte un plan de simetrie elastică; condiția nu este obligatorie pentru elemente **shell**.

Discretizarea de tip **shell** se generează la selecția opțiunii **Mesh Type→ Shell** la crearea studiului de analiză (& 1.9.1). Intrarea **Shell** va fi creată în zona **Visualizer**, fiecare suprafață definită în intrarea **Geometry** generând câte o intrare subordonată intrării **Shell**. Prin selecția opțiunii **Options** din meniu contextual activat prin buton dreapta mouse pe fiecare intrare subordonată intrării **Shell** poate fi definită grosimea și tipul de formulare asociată analizei (**plane stress** sau **plane strain**). Suprafața mediană a elementelor generate coincide cu suprafața geometrică.

Fiecare element de tip **shell** are o față superioară și una inferioară, care trebuie aliniate, deoarece rezultatele nu sunt în general identice pe cele două fețe. Fiecare tip de față are asociată o culoare specifică. Deoarece tensiunile rezultă ca medie a valorilor nodale comune, este importantă orientarea corectă a fețelor. În caz contrar tensiunile rezultă incorect ca medie a unor valori nodale pentru care fețele nu sunt aliniate corect. Din acest motiv verificarea orientării fețelor trebuie efectuată anterior analizei. Modificarea orientării unei fețe se poate realiza prin opțiunea **Flip Shell Elements** preluată din meniu contextual activat pe buton dreapta mouse pe fața supusă modificării. Deoarece fețele inferioare și superioare sunt colorate diferit, verificarea corectitudinii orientării se realizează vizual astfel ca pentru aceeași parte (inferioară sau superioară) culoarea fețelor să fie aceeași.

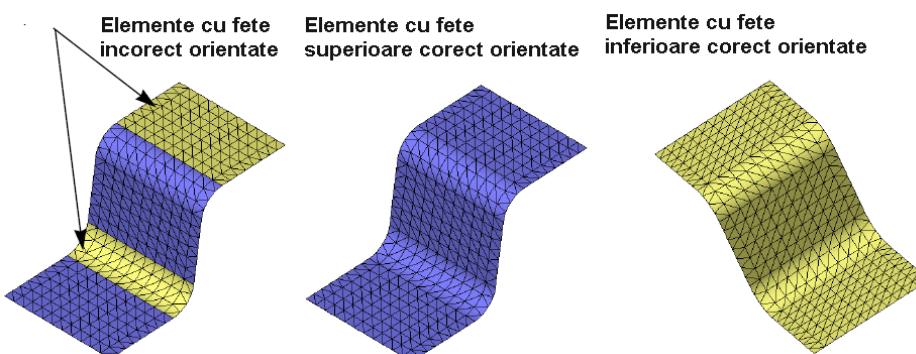


Figura 1.31

Rezultatele eforturilor pe elemente **shell** corespund următoarelor situații, figura 1.32:

- **Top** - tensiuni pe față superioară;
- **Bottom** - tensiuni pe față inferioară;
- **Membrane** – componentă de tip membrană a tensiunii;
- **Bending** – componentă de tip încovoiere a tensiunii pe față superioară.

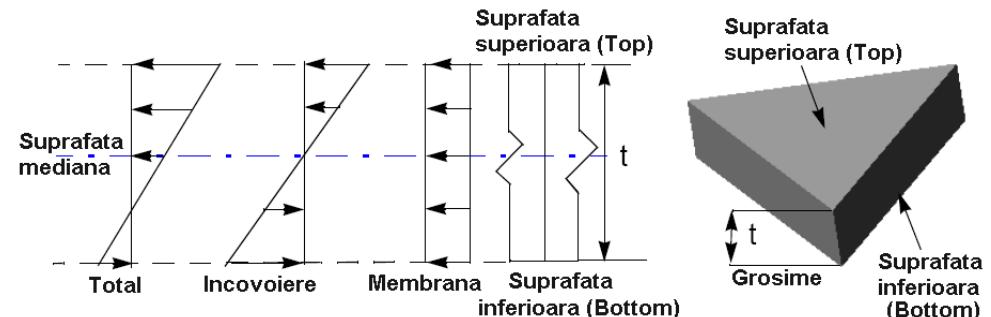


Figura 1.32

Pentru elemente planare 2D sau axial simetrice trebuie specificat planul de referință; în acest plan trebuie dispuse toate elementele planare 2D asociate aceleiași analize; pentru elemente axial simetrice trebuie reținută faptul că axa Y a planului selectat este considerată ca axă de simetrie.

Discretizarea de tip **2D Planar** sau **2D Axisymmetric** se generează la selecția opțiunii **Mesh Type→ 2D Planar** sau **Mesh Type→ 2D Axisymmetric** la crearea studiului de analiză (& 1.9.1).

Intrarea **Sheets** va fi creată în zona **Visualizer**, fiecare suprafață definită în intrarea **Geometry** generând câte o intrare subordonată intrării **Sheets**. Prin selecția opțiunii **Options** din meniu contextual activat prin buton dreapta mouse pe fiecare intrare subordonată intrării **Sheets** poate fi definită grosimea și tipul de formulare asociată analizei (**plane stress** sau **plane strain**). Pentru formularea **plane stress** grosimea nu trebuie specificată; pentru formularea **plane strain** grosimea trebuie specificată; pentru varianta **2D Axisymmetric** opțiunea **Options** nu este disponibilă.

1.13.4. Parametrii discretizării

Discretizarea este generată automat de Cosmos Design Star și depinde de următorii factori:

- tipul de discretizare definit la crearea studiului de analiză (& 1.9.1): **Solid**, **Shell**, **2D Planar** sau **2D Axisymmetric**;
- parametrii discretizării;
- opțiuni de contact;
- mărimea globală a elementului și toleranța (specificate în fereastra activată la declanșarea procesului de discretizare).

Parametrii discretizării sunt factori esențiali ce influențează calitatea discretizării; aceștia se pot defini/modifica prin intermediu ferestrei **Options**, figura 1.33, activată din meniu principal în succesiunea **Tools→ Options→ Mesh** sau prin opțiunea **Options** preluată din meniu contextual generat prin buton dreapta mouse pe intrarea **Mesh** din zona **Visualizer**.

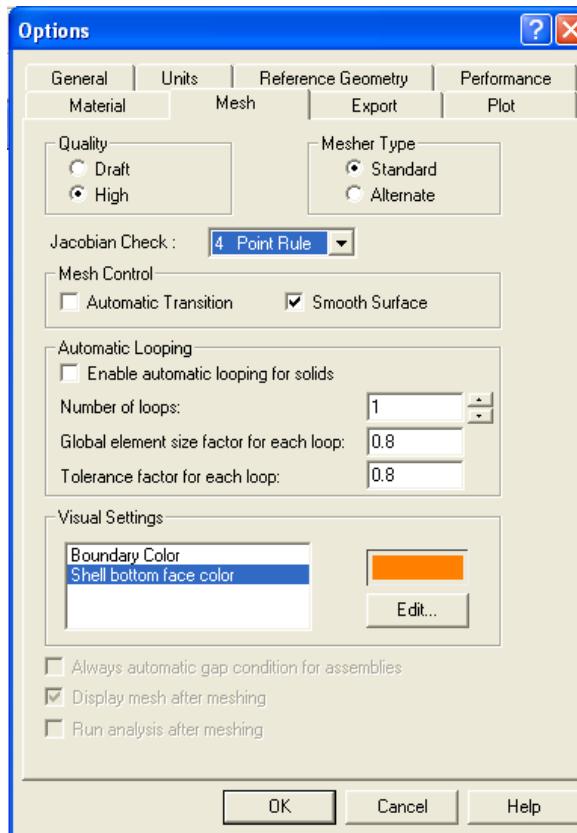


Figura 1.33

Zona **Quality** conține 2 opțiuni:

- **Draft** - care corespunde unei discretizări de nivel calitativ grosier; elementele solide au câte 4 noduri, elementele **shell**, **2D Planar** sau **2D Axisymmetric** sunt definite prin 3 noduri de colț, fără noduri intermediare;
- **High** - care corespunde unei discretizări de nivel calitativ ridicat; elementele solide au câte 10 noduri (4 noduri de colț și unul median pentru fiecare muchie), elementele **shell**, **2D Planar** sau **2D Axisymmetric** sunt definite prin 6 noduri, din care 3 de colț și 3 noduri intermediare.

Se recomandă selecția opțiunii **Draft** pentru calcule incipiente, iar opțiunea **High** pentru calcule finale și pentru modele cu geometrie pronunțat curbată.

Zona **Mesh Type** conține 2 opțiuni prin care se impune tehnica de discretizare:

- **Standard** – activează schema de discretizare **Voronoi-Delaunay**; opțiunea trebuie folosită în majoritatea cazurilor;
- **Alternate** – activează schema de discretizare **Advancing Front**; opțiunea trebuie folosită în cazurile când varianta **Standard** eșuează; la utilizarea acestei variante se va dezactiva opțiunea **Automatic Transitions**.

Lista **Jacobian Check** impune numărul de puncte de integrare utilizate la verificarea distorsiunii nivelului elementelor tetraedrale (opțiunea este disponibilă numai pentru discretizare de tip **Solid**); pot fi selectate variantele cu 4, 16 sau 29 de puncte (& 1.13.6).

Zona **Mesh Control** conține 2 opțiuni:

- **Automatic Transition** – la activare, programul va aplica discretizarea și micilor entități, detalii, găuri și filete; opțiunea trebuie dezactivată pentru modele mari cu multe entități de mici dimensiuni, pentru a evita generarea unui număr foarte mare de elemente finite;
- **Smooth Surfaces** – la activare, programul recorectează nodurile de frontieră pentru a îmbunătăți versiunea inițială a discretizării.

Zona **Automatic Looping** conține 4 opțiuni pentru a forța programul să reia automat discretizarea pentru un element global cu mărime mai mică decât cea inițială:

- **Enable automatic looping for solids** – la activare, programul încearcă reluarea discretizării elementelor solide, dacă această operație eșuează pentru mărimea globală a elementului specificată inițial;
- **Number of loops** – impune numărul de încercări de reluare a discretizării;
- **Global element size factor for each loop** – impune rația de reducere a elementului global la fiecare încercare;
- **Tolerance factor for each loop** – impune rația de reducere a toleranței la fiecare încercare.

Zona **Visual Settings** conține 2 opțiuni:

- **Boundary Color** – permite selecția culorii pentru trasarea muchiilor;
- **Shell Bottom Faces Color** - permite selecția culorii fețelor inferioare a elementelor de tip **shell**; elementele **shell** au două fețe (inferioară și superioară), iar colorarea diferită a acestora ajută la corecta lor identificare și aliniere (& 1.13.3); butonul **Edit** provoacă apariția matricii de culori din care se poate selecta culoarea fețelor inferioare a elementelor de tip **shell**.

Deși există opțiunea **Automatic Transitions** care va genera o discretizare mai fină în zona micilor entități și care se recomandă în majoritatea cazurilor, programul permite aplicarea suplimentară a unei discretizări locale (**User Defined Mesh Control**) vertex-urilor, muchiilor, fețelor și componentelor modelului. Operația implică selecția opțiunii **Apply Control** preluată din meniul contextual generat prin buton dreapta mouse pe intrarea **Mesh** din zona **Visualizer**, ceea ce va provoca apariția ferestrei **Mesh Control**, figura 1.34, prin care se pot defini parametrii discretizării locale:

- **Units** – unitatea de măsură în care se definește mărimea elementului;
- **Size** – mărimea elementului discretizării locale „*e*”;
- **Ratio** - Rata de creștere a elementului „*r*”;
- **Layers** – numărul de straturi asociate discretizării locale „*n*”.

Principiul aplicat pentru discretizare este următorul: comparativ cu mărimea globală a discretizării „E”, media mărimi elementelor locale descrește pe numărul „n” de straturi impus de la vertex-uri spre muchii, de la muchii spre fețe și de la fețe spre componente în proporție: $e, e \cdot r, e \cdot r^2, e \cdot r^3$ etc. Dacă mărimea elementului discretizării locale depășește mărimea globală a discretizării „E”, aceasta din urmă va fi utilizată în continuare pentru discretizare. Dacă numărul de straturi este prea mic pentru tranziția discretizării locale, programul va genera straturi suplimentare.

După specificarea parametrilor se vor selecta entitățile asupra cărora se va impune discretizarea locală, lista acestora fiind afișată în zona **Selected Entities**.

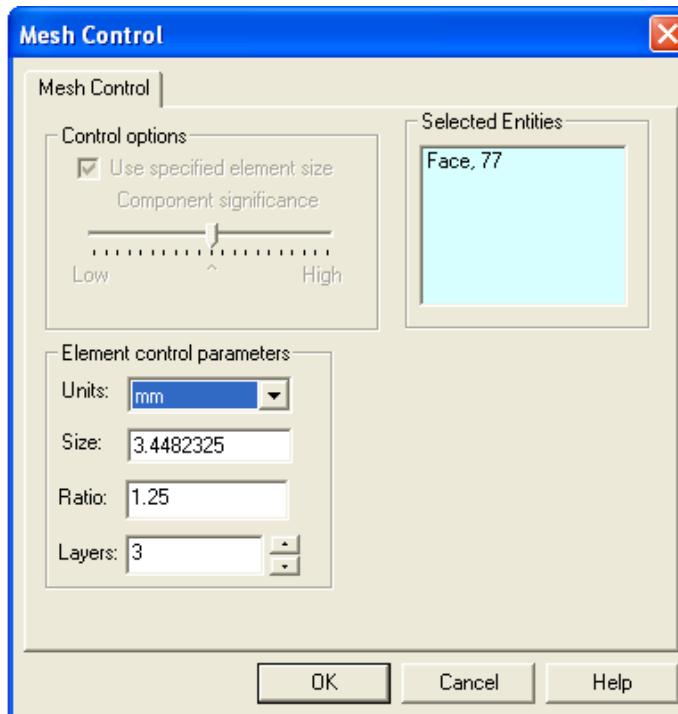


Figura 1.34

Fiecare discretizare locală aplicată va genera câte o intrare subordonată intrării **Mesh** din zona **Visualizer**. Modificarea ulterioară a parametrilor discretizării locale se poate realiza prin selecția opțiunii **Edit/Define** preluată din meniul contextual generat prin buton dreapta mouse pe intrarea subordonată intrării **Mesh** din zona **Visualizer**, ceea ce va provoca reapariția ferestrei **Mesh Control**.

1.13.5. Declanșarea discretizării

Procesul de discretizare se declanșează prin opțiunea **Create** preluată din meniul contextual activat prin buton dreapta mouse pe intrarea **Mesh** din zona **Visualizer**. Va apărea fereastra **Mesh**, figura 1.35, în care se pot impune opțiuni suplimentare a discretizării:

- **Global Size** – permite specificarea mărimi globale (medie) a elementului discretizării, exprimată în unitatea curentă de lungime; o mărime mică va genera rezultate mai precise, iar o mărime mai mare va reduce timpul de calcul. Unitatea de măsură poate fi impusă din meniul principal în succesiunea **Tools**→**Options**→**Units**→**Length**.
- **Tolerance** – valoarea implicită a toleranței este de 5% din mărimea globală; creșterea valorii poate ajuta la discretizarea unor modele pentru care discretizarea inițială a eşuat la valoarea implicită; valoarea toleranței nu poate depăși 30% din mărimea globală a discretizării.

Declanșarea procesului de discretizare se realizează pe butonul **OK**.

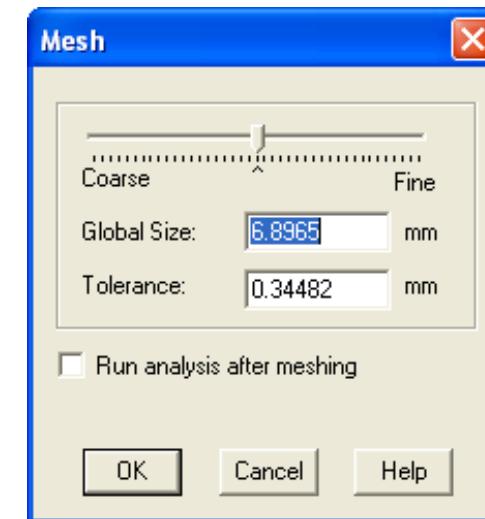


Figura 1.35

1.13.6. Verificarea discretizării

Calitatea discretizării joacă un rol esențial în acuratețea rezultatelor. Criteriile de verificare a discretizării sunt: verificarea rației aspectului și verificarea de tip Jacobian.

Cele mai bune rezultate se obțin pentru elemente tetraedrale cu muchii de lungimi egale. Însă, pentru geometrii reale acest criteriu nu poate fi întotdeauna respectat, datorită existenței unor muchii foarte mici, curburilor, a entităților de mici dimensiuni etc.; astfel unele muchii ale elementelor tetraedrale pot fi mult mai lungi decât celelalte, cu efecte negative privind acuratețea rezultatelor numerice.

Criteriul rației aspectului unui element perfect tetraedral (cu muchii de lungimi egale) este utilizat ca bază pentru a calcula același criteriu la elementele generate ale discretizării. Astfel, criteriul rației aspectului este definit ca raportul între cea mai lungă muchie și cea mai scurtă normală dusă dintr-un vertex pe față opusă, normalizată pentru a respecta un element perfect tetraedral.

Prin definiție rația aspectului unui element tetraedral perfect este egală cu 1. Pentru calculul acestui criteriu se admite că muchiile care unesc cele 4 colțuri ale elementului tetraedral sunt lineare.

Verificarea de tip Jacobian este disponibilă numai pentru discretizare de tip solid. Elementele de tip parabolic pot reproduce geometria mai precis decât elementele lineare de aceeași mărime, datorită nodurilor mediane suplimentare ale elementelor parabolice. Pentru geometrii ascuțite sau puternic curbate, aceste noduri mediane pot genera elemente distorsionate, cu muchii ce se intersectează, situație în care Jacobianul devine negativ., iar calculul se oprește. La calculul matricii de rigiditate, programul realizează o integrare pe domeniul elementelor, proces care poate fi simplificat prin evaluarea funcțiilor în locații prescrise din interiorul elementelor, denumite puncte gaussiene. În scopul verificării calității elementelor parabolice, Cosmos Design Star oferă posibilitatea selecției variantei de verificare a Jacobianului în 4, 16 sau 29 de puncte gaussiene (& 1.13.4). Astfel, rația Jacobianului unui element parabolic tetraedral cu toate nodurile mediane plasate exact la mijlocul muchiilor drepte este 1. Această rație crește cu curbura muchiilor. Deci rația Jacobianului este o măsură a gradului de distorsiune a unui element. Jacobianul va fi calculat pentru numărul de puncte gaussiene impus, iar programul va ajusta automat poziția nodurilor mediane astfel ca acest criteriu să fie satisfăcut.

Dacă discretizarea nu poate fi generată procesul se oprește, în cazul în care opțiunea **Automatic Looping** nu este activată (& 1.13.4). Programul oferă un instrument de diagnosticare pentru identificarea și rezolvarea problemei apărute în procesul de discretizare.

Discretizarea se derulează în două faze: în prima fază se plasează noduri pe frontiere, fază denumită discretizare de suprafață (**surface meshing**). Dacă această fază este finalizată, se continuă cu faza a doua de discretizare, prin plasarea nodurilor interioare, acoperirea volumelor cu elemente tetraedrale și eventual, pentru varianța **High** de discretizare, plasarea nodurilor mediane.

După apariția problemei de discretizare se poate lansa instrumentul de analiză a problemei, prin opțiunea **Failure Diagnostic**, preluată din meniu contextual activat pe buton dreapta mouse pe intrarea **Mesh**. Va apărea fereastra **Mesh Failure Diagnostic** care conține lista componentelor ce nu pot fi discretizate precum și fețele și muchiile cu probleme. Selecția uneia din aceste elemente activează oferă în zona **Status** informații referitoare la etapa de discretizare în care a apărut problema și oferă posibile soluții de remediere. Instrumentul este disponibil numai pentru discretizare de tip **Solid**.

Următoarele recomandări trebuie avute în vedere pentru reușita discretizării:

- întotdeauna se impune inițial varianța **Standard** de discretizare; dacă procesul eșuează se va încerca diferită mărimi ale elementului global sau modifica parametrii de discretizare; în cazurile în care totuși discretizarea nu se poate finaliza, se va apela la discretizare de tip **Alternate**;
- pentru analize inițiale se va utiliza opțiunea **Draft**, iar la analize finale se va utiliza opțiunea **High**;

- se va dezactiva opțiunea **Automatic Transition**, mai ales în cazul modelelor cu multe entități de mici dimensiuni, care pot induce un număr foarte mare de elemente finite; în cazul contrar opțiunea poate fi activată;
- în general se va activa opțiunea **Smooth Transition**, care va conduce la o calitate mai bună a discretizării;
- se vor aplica discretizări locale cu mărimi mai mici a elementului de discretizare în zone de importanță sau de variație bruscă de geometrie;
- inițial se vor accepta valorile propuse ale mărimii globale a elementului și toleranței de discretizare;
- dacă opțiunea **Automatic looping** este activată, nu trebuie impusă o valoare foarte mică a rației mărimii elementelor, pentru a evita generarea unui număr foarte mare de elemente finite;
- la eșuarea procesului de discretizare, se va utiliza instrumentul de diagnosticare **Mesh Failure Diagnostic**; se pot aplica discretizări locale și relua procesul de discretizare.

După generarea discretizării, parametrii de discretizare și informații referitoare la discretizare (numărul de noduri și de elemente generate) se pot obține prin opțiunea **Detail**, preluată din meniu contextual activat prin buton dreapta mouse pe intrarea **Mesh** din zona **Visualizer**.

1.13.7. Opțiuni de contact pentru studii statice

Intrarea **Contact/Gaps** apare în studiu de analiză numai dacă modelul este de tip ansamblu, iar tipul de analiză este static sau termic. Meniu contextual generat prin buton dreapta mouse pe intrare include următoarele opțiuni:

- **Touching Faces: Bonded**;
- **Touching Faces: Free**;
- **Touching Faces: Node to Node**.

Cel puțin una din aceste opțiuni trebuie selectată, acestea fiind condiții de contact globale. În plus meniu mai conține încă două opțiuni :

- **Define Contact Pair** – pentru specificarea condițiilor de contact locale sau față la față;
- **Define Contact for Components** - pentru specificarea condițiilor de contact între componente; acest tip de contact mărește productivitatea analizei, deoarece impune contactul fețelor tuturor componentelor selectate; astfel se câștigă timp, prin evitarea specificării contactului între fețe individuale; condițiile de contact între componente sunt prioritare în raport cu cele globale. Opțiunile de contact între componente sunt identice cu cele globale.

După specificarea condițiilor de contact globale, care se vor aplica tuturor fețelor în contact, se pot defini condiții locale de tip față la față sau între componente. Fiecare condiție locală generează câte o intrare subordonată intrării **Contact/Gaps**.

1.13.7.1. Condiții globale de contact

Acet tip de condiții definește tipul de contact între toate fețele în contact ale ansamblului, fiind disponibile următoarele variante:

- **Touching Faces: Bonded** – toate fețele ce se ating vor fi cuplate în punctele lor de contact (noduri) și rămân în contact indiferent de condițiile aplicate;
- **Touching Faces: Free** – fețele aflate inițial în contact sunt libere să se deplaseze în orice direcție, inclusiv să se penetreze una pe alta, condiție imposibilă fizic; opțiunea trebuie utilizată numai în cazul în care există siguranță imposibilității penetrării.
- **Touching Faces: Node to Node** – programul creează elemente interstițiale conectate între nodurile corespondente ale fețelor. Fețele se pot deplasa una în raport cu alta, dar fără a se admite penetrarea.

Condițiile globale vor fi aplicate tuturor fețelor în contact pentru care nu s-au definit condiții locale de contact. Fețele pot fi în contact total sau parțial.

1.13.7.2. Condiții locale de contact de tip față la față

Acet tip de condiții definește tipul de contact între fețe pereche, fiind disponibile următoarele variante:

- **Bonded** – fețele pereche ce se ating vor fi cuplate în punctele lor de contact (noduri) și rămân în contact indiferent de condițiile aplicate;
- **Free** – fețele pereche aflate inițial în contact sunt libere să se deplaseze în orice direcție, inclusiv să se penetreze una pe alta, condiție imposibilă fizic; opțiunea trebuie utilizată numai în cazul în care există siguranță imposibilității penetrării;
- **Node to Node** – programul creează elemente interstițiale conectate între nodurile corespondente ale fețelor pereche. Fețele pereche se pot deplasa una în raport cu alta, dar fără a se admite penetrarea. Opțiunea se va utiliza la discretizări identice ale fețelor pereche, iar alunecarea fețelor este neglijabilă;
- **Surface** – programul creează perechi noduri-arie; fiecare nod de pe o față este asociat cu o arie definită prin noduri de pe fața pereche; fețele pereche se pot deplasa una în raport cu alta, dar fără a se admite penetrarea. Opțiunea se va utiliza la discretizări identice sau nu ale fețelor pereche, iar alunecarea fețelor este luată în considerare;
- **Shrink Fit** – acest tip de contact se referă la încadrarea unui corp într-o cavitate de mici dimensiuni; datorită forțelor normale care apar la contactul celor două, partea interioară se va micșora, iar cea exterioară se va mări, valoarea deplasării fiind determinată de proprietăți de material, geometrie, încărcări și restrângeri aplicate.

1.14. Calculul analizei

Calculul unui studiu se declanșează prin opțiunea **Run**, preluată din meniul contextual activat prin buton dreapta mouse pe intrarea corespunzătoare numelui studiului de analiză din zona **Visualizer** sau din meniul principal, în succesiunea **Define→ Run**.

Pe durata calculului se afișează bare termometru, iar la final în zona **Visualizer** se creează întrări corespunzătoare tipului de analiză calculat.

1.15. Vizualizarea rezultatelor

Vizualizarea rezultatelor se poate realiza după calculul analizei. Pentru vizualizarea rezultatelor, programul oferă trusa de instrumente **Result Tools** (& 1.5.4). Programul va genera seturi de rezultate, al cărui conținut depinde de tipul de analiză efectuat:

- Analiză statică
 - Tensiuni, deplasări, alungiri, deformații, criteriu de verificare (& 1.6.1.4);
- Analiză de flambaj
 - Deplasări, deformații (& 1.6.3);
- Analiză de frecvență
 - Deplasări, deformații (& 1.6.2);
- Analiză termică
 - Rezultate termice (temperaturi, gradienți de temperatură, flux termic)
 - Grafice de istorie temporală, pentru analize termice tranzitorii;
- Analiză neliniară
 - Tensiuni, deplasări, alungiri, deformații, grafice de istorie în răspuns. Rezultatele pot fi exprimate în următoarele formate:
- sub forma hărților de culori (opțiunea **Fringe Type**)
 - Hartă de puncte colorate (**Point**);
 - Hartă de linii colorate (**Line**);
 - Hartă de zone colorate distincte (**Filled, Discrete**):
 - Hartă de zone colorate gradual (**Filled, Tone**):
 - Hartă de zone colorate Gouraud (**Filled, Gouraud**).
- sub formă vectorială (opțiunea **Vector**) – generează o reprezentare vectorială a rezultatelor, vectorii indicând mărimea și direcția rezultatului
- sub formă de secțiuni (opțiunea **Section**) – generează o reprezentare a rezultatelor într-un număr impus de secțiuni în câmpul **No. of sections**;
- sub formă de izolinii (opțiunea **Iso**) – generează o reprezentare a rezultatelor pentru un număr impus de suprafețe în câmpul **Number of Surfaces**;

Unitatea de măsură pentru afișarea rezultatelor poate fi selectată din lista **Units**.

Pot fi afișate valori nodale (**Node Values**) sau mediate pe element (**Element Values**).

Frontierele modelului (muchiile acestuia) pot fi suprapuse sau nu peste rezultate (**Boundary Option**), în următoarele variante:

- **None** – frontiera modelului nu este afișată;
- **Model** – frontiera modelului este afișată;
- **Mesh** – discretizarea modelului este afișată.

Deformația modelului se afișează la o scară ce poate fi calculată:

- **Automatic** – scara se calculează din condiția ca cea mai mare deformație să fie de cel mult 10% din dimensiunea maximă a celui mai mic dreptunghi ce încadrează modelul;
- **Defined** – oferă posibilitatea specificării manuale a scarii de reprezentare a deformării.

Activarea opțiunii **Superimpose the original model on the deformed shape** va provoca suprapunerea formei nedeformate a modelului peste forma deformată, cu următoarele setări disponibile:

- **Translucent (Single Color)** – permite selecția culorii și specificarea nivelului de transparență a modelului;
- **Translucent (Part Color)** – permite specificarea nivelului de transparență a modelului; se va utiliza culoarea componentei.

Opțiuni suplimentare sunt oferite pentru specificarea caracteristicilor legendei și textelor:

- **Show annotations for: Minimum** respectiv **Maximum** – la activare, vor fi afișate valorile minime / maxime ale rezultatelor;
- **Display Chart** – pentru afișarea sau nu a legendei colorate, cu opțiunea **Automatic** - pentru afișarea întregului domeniu de rezultate, respectiv **Defined** – pentru afișarea domeniului de rezultate cuprins între valoarea câmpului **Min** respectiv **Max**.
- **Show Chart Unit** – pentru afișarea sau nu a unității de măsură a legendei.

În paralel cu vizualizarea rezultatelor, Cosmos Design Star oferă și posibilitatea listării acestora în format numeric, precum și de generare a unui raport în format HTML care să includă rezultate exprimate numeric și grafic. Generarea raportului se declanșează prin opțiunea **Define** preluată din meniu contextual activat prin buton dreapta pe intrarea **Report** din zona **Visualizer**.

Aplicațiile din capitolele următoare vor exemplifica procedurile de vizualizare și de listare a rezultatelor.

1.16. Criterii de rupere

Un criteriu de rupere permite precizarea ruperii unui material supus unei stări de eforturi. Cosmos Design Star oferă instrumentul **Design Check Wizard**, prin

care se poate analiza siguranța modelului funcție de un criteriu de rupere. După calculul analizei, în zona **Visualizer** va fi plasată intrarea **Design Check**, care permite efectuarea acestei analize.

Criteriile de rupere utilizate de program sunt următoarele:

- **Maximum von Mises Stress Criterion** - criteriul tensiunii maxime Von Mises;
- **Maximum Shear Stress Criterion** - criteriul tensiunii tangențiale maxime;
- **Mohr-Coulomb Stress Criterion** – criteriul tensiunii Mohr—Coulomb;
- **Maximum Normal Stress Criterion** - criteriul tensiunii normale maxime.

Aplicarea unui criteriu de rupere implică parcursul următoarelor etape:

- declanșarea procedurii, prin selecția opțiunii **Define**, preluată din meniu contextual activat pe buton dreapta mouse pe intrarea **Design Check**;
- selecția criteriului de rupere;
- selecția/definirea tensiunii limită;
- tipul de rezultat analizat:
 - coeficientul de siguranță;
 - criteriul adimensional al tensiunii;
 - afișarea regiunilor cu valori inferioare față de o valoare specificată a coeficientului de siguranță; regiunile cu valori inferioare vor fi afișate cu roșu, iar cele cu valori superioare vor fi afișate în albastru.

Procedura este simplu de parcurs, deoarece Cosmos Design Star ghidează utilizatorul prin trei ecrane succesive ale ferestrei **Check Wizard**.

În final va obține sub formă de hartă de culori distribuția tipului de rezultat selectat pe modelul supus analizei.

1.16.1. Criteriul tensiunii maxime Von Mises

Această teorie prezice că pentru materiale ductile curgerea apare atunci când distorsiunea energiei unității de volum de material este egală sau depășește distorsiunea energiei unității de volum a același material supus curgerii în încercarea de întindere. Teoria ia în considerare modificările formei materialului și se aplică materialelor ductile. Conform acestui criteriu apariția curgerii are loc atunci când este îndeplinită condiția:

$$\sigma_{\text{VonMises}} \geq \sigma_{\text{limit}} \quad [1.16.1]$$

Aici tensiunea Von Mises se poate calcula prin relația 1.7 sau 1.8.

Coefficientul de siguranță este definit prin relația:

$$\text{Coeficientul de siguranță} = \frac{\sigma_{\text{limit}}}{\sigma_{\text{VonMises}}} \quad [1.16.2]$$

Criteriul adimensional al tensiunii este definit prin relația:

$$\text{Criteriul adimensional al tensiunii} = \frac{\sigma_{\text{VonMises}}}{\sigma_{\text{limit}}} \quad [1.16.3]$$

Pentru condiții de forfecare pură, criteriul Von Mises prezice ruperea la valoarea $0.577 \times$ limita de curgere.

Programul va calcula factorul de siguranță minimal, considerând cele mai ridicate valori ale tensiunii generate din calcul. Este de datoria utilizatorului să decidă dacă va considera sau nu valorile maximale locale ale tensiunii la calculul coeficientului de siguranță pentru întregul model.

1.16.2. Criteriul tensiunii tangențiale maxime

Această teorie prezice apariția curgerii atunci când tensiunea tangențială maximă atinge valoarea tensiunii tangențiale maxime ce cauzează curgerea aceluiași material supus curgerii în încercarea de întindere. Teoria se aplică materialelor ductile.

Criteriul se exprimă prin relația:

$$\tau_{\max} \geq \frac{\sigma_{\text{limit}}}{2} \quad [1.16.4]$$

unde: τ_{\max} este tensiunea tangențială maximă rezultată din cea mai mare dintre valorile: $\tau_{1/2}$, $\tau_{2/3}$ sau $\tau_{1/3}$, iar expresiile acestora sunt date de:

$$\tau_{1/2} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}; \quad \tau_{2/3} = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2}; \quad \tau_{1/3} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad [1.16.5]$$

Coefficientul de siguranță este definit prin relația:

$$\text{Coeficientul de siguranță} = \frac{\sigma_{\text{limit}}}{2 \times \tau_{\max}} \quad [1.16.6]$$

Criteriul adimensional al tensiunii este definit prin relația:

$$\text{Criteriul adimensional al tensiunii} = \frac{\sigma_{\text{VonMises}}}{\sigma_{\text{limit}}} \quad [1.16.7]$$

1.16.3. Criteriul tensiunii Mohr-Coulomb

Conform acestei teorii ruperea apare atunci când:

$$\sigma_1 \geq \sigma_{\text{TensileLimit}} \quad \text{daca } \sigma_1 > 0 \quad \text{si } \sigma_3 > 0 \quad [1.16.8]$$

$$\sigma_3 \geq -\sigma_{\text{CompressiveLimit}} \quad \text{daca } \sigma_1 < 0 \quad \text{si } \sigma_3 < 0 \quad [1.16.9]$$

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{\text{TensileLimit}}} - \frac{\sigma_3}{\sigma_{\text{CompressiveLimit}}} < 1 \quad \text{daca } \sigma_1 \geq 0 \quad \text{si } \sigma_3 \leq 0 \quad [1.16.10]$$

Valorile tensiunii de întindere $\sigma_{\text{TensileLimit}}$ și ale tensiunii de compresiune $\sigma_{\text{CompressiveLimit}}$ pot fi exprimate în raport de limita de curgere sau tensiunea de rupere a materialului.

Coefficientul de siguranță este definit prin relația:

$$\text{Coeficientul de siguranță} = \left\{ \frac{\sigma_1}{\sigma_{\text{TensileLimit}}} - \frac{\sigma_2}{\sigma_{\text{CompressiveLimit}}} \right\}^{-1} \quad [1.16.11]$$

Criteriul adimensional al tensiunii este definit prin relația:

$$\text{Criteriul adimensional al tensiunii} = \left\{ \frac{\sigma_1}{\sigma_{\text{TensileLimit}}} - \frac{\sigma_2}{\sigma_{\text{CompressiveLimit}}} \right\} \quad [1.16.12]$$

Acet criteriu se utilizează pentru materiale fragile, la care proprietățile de întindere și compresiune sunt diferite.

1.16.4. Criteriul tensiunii normale maxime

Această teorie prezice apariția ruperii atunci când tensiunea principală maximă σ_1 atinge valoarea tensiunii de rupere a aceluiași material supus încercării de întindere:

$$\sigma_1 \geq \sigma_{\text{limit}} \quad [1.16.13]$$

Coefficientul de siguranță este definit prin relația:

$$\text{Coeficientul de siguranță} = \frac{\sigma_{\text{limit}}}{\sigma_1} \quad [1.16.14]$$

Criteriul adimensional al tensiunii este definit prin relația:

$$\text{Criteriul adimensional al tensiunii} = \frac{\sigma_1}{\sigma_{\text{limit}}} \quad [1.16.15]$$

Acet criteriu se utilizează pentru materiale fragile; teoria admite că valoarea de rupere este la fel la întindere și la compresiune.

Capitolul 2

SOLICITĂRI SIMPLE

2.1. Întinderea unei bare de secțiune circulară

a) Formularea problemei

Se consideră o bară de secțiune circulară cu diametru $D = 20$ mm și lungime $l = 300$ mm, solicitată de o forță axială $P = 30000$ N. Materialul barei este oțel, cu modulul de elasticitate $E = 2.1 E + 5$ MPa și coeficientul lui Poisson $\nu = 0.3$. Să se determine tensiunea maximă și lungirea totală a barei.

b) Obiectivele problemei

Obiectivele problemei sunt următoarele:

- importul în Cosmos Design Star a geometriei modelate în Autodesk Inventor;
- crearea unui studiu de analiză statică;
- selecția unui material din librăria Cosmos;
- aplicarea restrângerilor și încărcărilor;
- discretizarea modelului în elemente finite;
- calculul studiului de analiză statică;
- vizualizarea și interpretarea rezultatelor.

c) Considerații teoretice

Formulele de calcul ale tensiunii maxime respectiv alungirii barei sunt :

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{30000}{314.16} = 95.49 \text{ MPa} \quad [2.1.1]$$

$$\Delta l = \frac{P \cdot l}{E \cdot A} = \frac{30000 \cdot 300}{2.1 \cdot 10^5 \cdot 314.16} = 0.1364 \text{ mm} \quad [2.1.2]$$

unde: $A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 314.16 \text{ mm}^2$ este aria secțiunii transversale a barei.

d) Importul geometriei în Cosmos Design Star

Modelul barei generate în Autodesk Inventor va fi importat în Design Star.

1. Se lansează în execuție programul Cosmos Design Star, prin click stânga mouse pe icoana acestuia.
2. Se selectează opțiunea **Open** din meniul **File**.
3. În lista **Look in** a ferestrei **Open** se selectează locația directorului în care este plasat fișierul modelului 3D, adică **2_1.upt**.

4. În lista **Files of type** se selectează opțiunea **Autodesk Inventor Files (*.ipt, *.iam)**. Dacă geometria este modelată în alt program, în listă se va selecta tipul de fișier specific programului de modelare.
5. Dublu click stânga pe numele fișierului **2_1.upt** sau click stânga mouse pe numele fișierului urmat de click stânga mouse pe butonul **Open**, va declanșa încărcarea în Cosmos Design Star a geometriei modelate în Autodesk Inventor.

e) Crearea studiului de analiză statică

1. Click dreapta mouse pe numele fișierului **2_1** în zona **Visualizer** a interfeței Cosmos Design Star, figura 2.1.1 și selecția opțiunii **Study**, pentru a crea un nou studiu. Se va activa fereastra **Study**, figura 2.1.2.
2. Click stânga mouse pe butonul **Add**, pentru adăugarea unui nou studiu. Se va activa fereastra **Study Name**, figura 2.1.2.
3. Se va completa numele **2_1_Caz1** în câmpul **New Study**, figura 2.1.2, se selectează tipul de analiză asociat studiului, prin opțiunea **Static** în lista **Analysis Type**; modelul 3D încărcat în prealabil va impune tipul de discretizare **Solid**; în final se va crea studiul prin click stânga mouse pe butonul **OK**, care va închide fereastra **Study Name**.
4. Numele acestuia va apărea în fereastra **Study** în zona **Studies**.
5. Se va selecta acest studiu prin click stânga mouse pe numele său și se va puncta butonul **Properties**. Se va activa fereastra **Static**, în care se va verifica tipul solver-ului **FFEPlus**, figura 2.1.3.
6. Click stânga pe butoanele **OK** din ferestrele **Static** respectiv **Study** va încheia procedura de crearea a noului studiu.

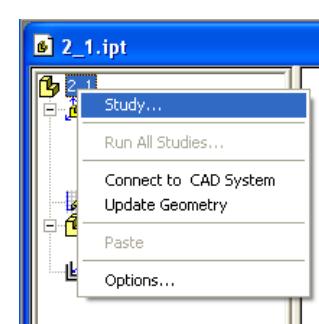


Figura 2.1.1

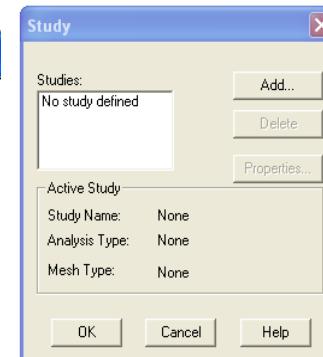
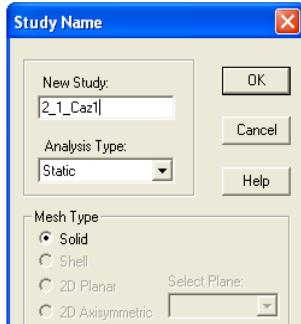


Figura 2.1.2



7. Zona **Visualizer** va fi completată cu intrarea **2_1_Caz1**, căreia îi vor fi subordonate intrările **Components**, **Loads/BC**, **Mesh** și **Report**, figura 2.1.4. Intrarea **Components** are subordonată intrarea **Part1**, care se poate redenumi **Bara D 20 x L 300**, prin două click-uri stânga mouse pe numele intrării cu o scurtă pauză între acestea, urmat de editarea noului nume, figura 2.1.5.



Figura 2.1.3

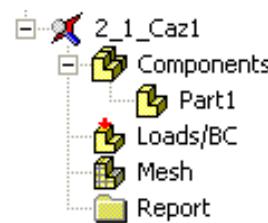


Figura 2.1.4



Figura 2.1.5

f) Selectia unui material din libraria Cosmos

Se va alege materialul asociat barei de secțiune circulară, prin selecția acestuia din libraria Cosmos. Materialul va fi **Alloy Steel**, pentru care s-au modificat următoarele proprietăți: coeficientul lui Poisson 0.3 și densitatea 7850 kg/m^3 . Modificarea se realizează prin intermediul programului **Material Browser**, instalat odată cu instalarea programului Cosmos Design Star. Modulul de elasticitate al materialului este $2.1E+11 \text{ N/m}^2$. Procedura de asignare a materialului este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Bara D 20 x L 300** subordonată intrării **Components** în zona **Visualizer**.
2. Selecția opțiunii **Edit/Define Material....** Se va activa fereastra **Material**.
3. În zona **Select Material Source**, se verifică dacă opțiunea **Library files** este selectată și dacă opțiunea **Coswkm.mat.lib** este selectată în lista asociată.
4. Din zona **Select Material Source**, se va selecta materialul **Alloy Steel**.
5. Butonul **OK** va încheia procedura de asignare, numele materialului selectat va fi asociat intrării **Bara D 20 x L 300** în zona **Visualizer**, aceasta fiind marcată prin semnul **✓**.

g) Aplicarea restrângerilor și încărcărilor

Bara se va fixa în origine, lungimea acesteia fiind orientată pe direcția X. Fixarea constă în anularea translației pe direcția X, deci se va impune $U_x = 0$, iar forța $P = 30000 \text{ N}$ se aplică pe față opusă, figura 2.1.6. Procedura de aplicare a fixării este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Restraint....** Se va activa fereastra **Restraint**.
3. Din lista **Restrain Type** se va selecta opțiunea **Prescribed**, figura 2.1.7.

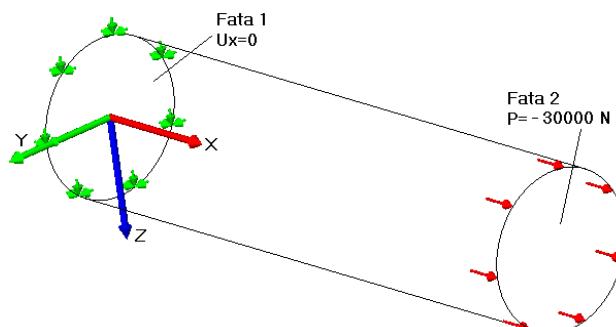


Figura 2.1.6

4. Din lista **Units** se va selecta opțiunea **mm**, figura 2.1.7.
5. În zona **Translation** se va activa icoana direcțională X, impunând valoarea 0 a translației pe direcția X. Icoanele de pe celelalte direcții Y și Z nu vor fi accesate, figura 2.1.7.
6. Se va selecta față 1 prin click stânga mouse pe aceasta; identificatorul numeric al feței va apărea în zona **Select Geometry - Restrain Entity** a ferestrei **Restrain**. Pentru accesarea feței bara se poate roti prin icoana **Rotate**.
7. Butonul **OK** va încheia procedura de aplicare a restrângerii. Față selectată ca sursă de aplicare a restrângerii va fi marcată prin săgeți direcționale de culoarea verde, orientate pe direcția X, figura 2.1.6, iar în zona **Visualizer**, se va genera o nouă intrare **Restrain:1** subordonată intrării **Loads/BC**.

Procedura de aplicare a încărcării este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Load....** Se va activa fereastra **Loads**.
3. Din lista **Load Type** se va selecta opțiunea **Force**, figura 2.1.8.
4. Din lista **Units** se va selecta opțiunea **SI**, ceea ce va impune newton N ca unitate de măsură a forței, pentru câmpul **Value**.
5. În câmpul **Value** se introduce valoarea -30000 . Semnul minus se referă la aplicarea forței în sens opus normaliei feței de aplicare a forței, figura 2.1.8.

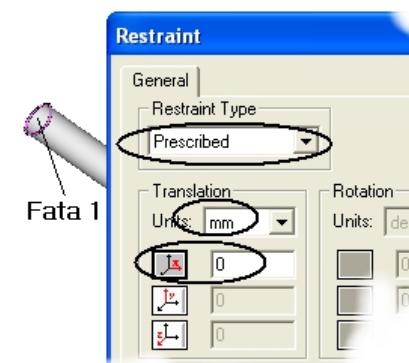


Figura 2.1.7

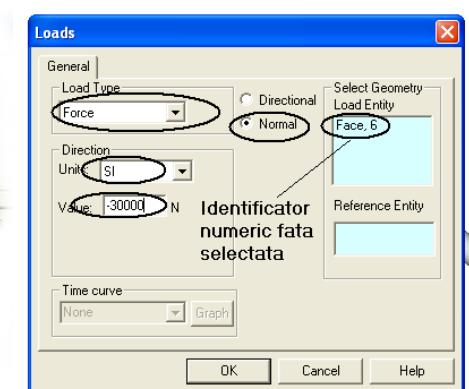


Figura 2.1.8

6. Se verifică activarea opțiunii **Normal**.
7. Se va selecta față 2 prin click stânga mouse pe aceasta; identificatorul numeric al feței va apărea în zona **Select Geometry - Load Entity** a ferestrei **Loads**, figura 2.1.8.
8. Butonul **OK** va încheia procedura de aplicare a încărcării. Față selectată ca sursă de aplicare a încărcării va fi marcată prin săgeți direcționale de culoarea roșie, orientate pe direcția X, figura 2.1.6, iar în zona **Visualizer**, se va genera o nouă intrare **Load:1** subordonată intrării **Loads/BC**.

h) Discretizarea modelului în elemente finite

Se vor stabili opțiunile asociate discretizării:

1. Se va activa fereastra **Options**, din meniul principal în succesiunea **Tools**→
Options sau prin activarea opțiunii **Options** preluată din submeniul contextual, activat prin buton dreapta mouse pe intrarea **Mesh** în zona **Visualizer**.
2. Se va accesa zona **Mesh**.
3. Se va selecta opțiunea **High** din zona **Quality**.
4. Se va selecta opțiunea **Standard** în zona **Mesher Type**.
5. Se va selecta opțiunea **4 Point Rule** din lista **Jacobian Check**.
6. În zona **Mesh Control** se vor activa opțiunile **Automatic Transition** și **Smooth Surface**.
7. Se va puncta butonul **OK**, care va închide fereastra **Options**.

Se lansează procedura de discretizare.

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Mesh** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Create....**. Se va activa fereastra **Mesh**, figura 2.1.9.
3. Se va deplasa slider-ul superior spre dreapta maxim (opțiunea **Fine**), impunând astfel o discretizare fină a geometriei modelului 3D; pe măsura deplasării slider-ului, câmpurile **Global Size** și **Tolerance** se vor actualiza valoric.
4. Butonul **OK** va declanșa procesul de discretizare; pe parcursul acestuia va fi vizibilă fereastra **Mesh Progress**, prevăzută cu o bară termometru, figura 2.1.10.
5. Ca rezultat al discretizării, intrarea **Mesh** din zona **Visualizer** va fi fiind marcată prin semnul **✓**.



Figura 2.1.9

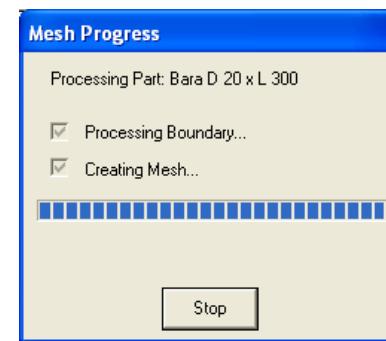


Figura 2.1.10

6. Click dreapta mouse pe intrarea **Mesh** în zona **Visualizer**.
7. Se selectează opțiunea **Detail....**. Se va activa fereastra **Mesh Information**, figura 2.1.11, unde se pot regăsi setările impuse anterior, precum și numărul de elemente finite generate - **Total elements** și numărul de noduri - **Total nodes**.
8. Discretizarea generată este prezentată în figura 2.1.11.
9. Ascunderea temporară a acesteia se poate realiza prin activarea opțiunii **Hide Mesh**, preluată din submeniul contextual, activat prin buton dreapta mouse pe intrarea **Mesh** în zona **Visualizer**. Reafişarea se poate realiza prin activarea opțiunii **Show Mesh**, preluată din același submeniu contextual. Stergerea discretizării se

realizează prin opțiunea **Delete** preluată din submeniul contextual, activat pe buton dreapta mouse pe intrarea **Mesh** în zona **Visualizer**.

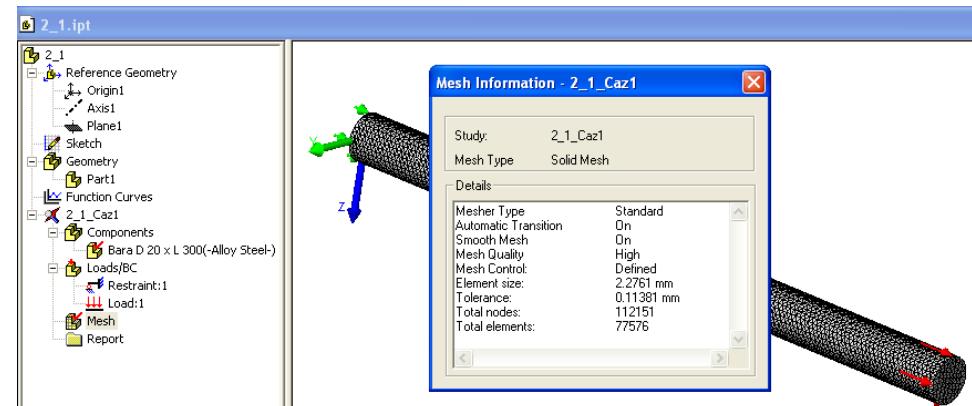


Figura 2.1.11

i) Calculul studiului de analiză statică

1. Click dreapta mouse pe intrarea cu numele studiului **2_1_Caz1** în zona **Visualizer**, urmat de selecția opțiunii **Run** din submeniul contextual generat; ca variantă, se poate selecta opțiunea **Run** din meniul principal **Define** sau activa opțiunea **Run analysis after meshing** în fereastra **Mesh**, figura 2.1.9. În timpul evoluției calculului apare o fereastră în care sunt afișate informații referitoare la numărul de elemente, noduri și grade de libertate, numele etapei curente de rezolvare, o bară termometru și timpul de calcul, ultimele două elemente fiind actualizate dinamic.
2. La finalizarea calculului, în zona **Visualizer** se vor genera următoarele intrări: **Stress**, **Displacement**, **Strain**, **Deformation** și **Design Check**, subordonate studiului analizat. Fiecare dintre aceste intrări, exceptând ultima, îi sunt subordonate câte o intrare, denumită **Plot**: urmat de un număr de ordine. Aceste intrări conțin rezultate specifice analizei efectuate, ce pot fi utilizate pentru vizualizarea grafică și numerică a acestora.

j) Vizualizarea și interpretarea rezultatelor

Pentru a vizualiza variația tensiunii pe direcția X, procedura este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Stress – Plot** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Edit Definition....**. Se va activa fereastra **Stress Plot**.
3. În zona **Display** se vor selecta următoarele opțiuni, figura 2.1.12:
 - din lista **Units** se va selecta unitatea de măsură **MPa**;
 - din lista **Components** se va selecta mărimea **SX: Normal stress(X-dir)**;
 - se va activa opțiunea **Node Values**, dacă nu este deja activă;
 - se va activa opțiunea de vizualizare **Fringe**, dacă nu este deja activă;
 - din lista **Fringe Type** se va selecta opțiunea **Filled, Tone**.
4. Pentru zona **Settings** se vor selecta opțiunile din figura 2.1.13.
5. Se va puncta butonul **OK**.

6. Variația tensiunii pe direcția X este evidențiată în figura 2.1.14. Se observă valoarea maximală 96,289 MPa, precum și distribuția relativ constantă a acesteia în lungul barei.

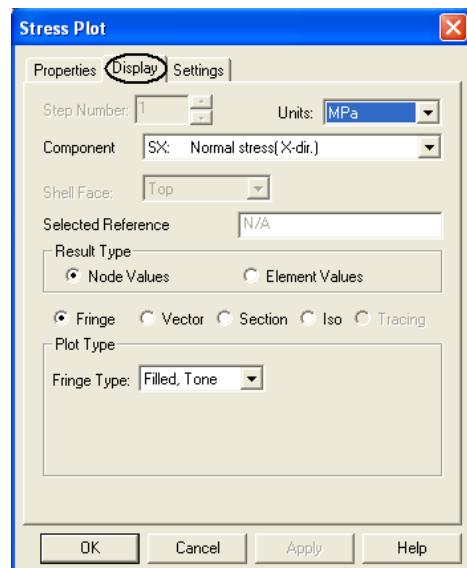


Figura 2.1.12

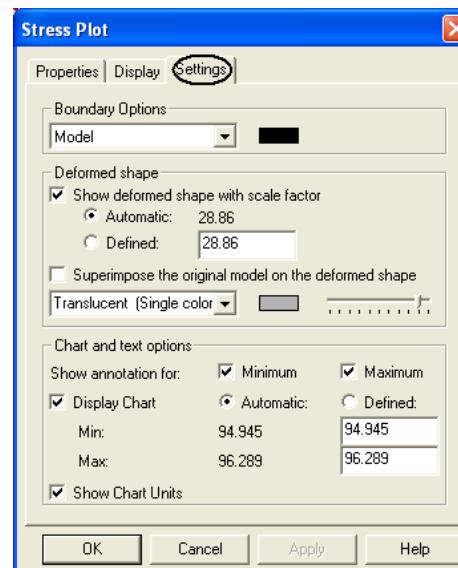


Figura 2.1.13

Pentru a vizualiza variația deplasării pe direcția X, procedura este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Displacement – Plot** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Edit Definition....**. Se va activa fereastra **Displacement Plot**, figura 2.1.15.
3. În zona **Display** se vor selecta următoarele opțiuni:

- din lista **Units** se va selecta unitatea de măsură **mm**;

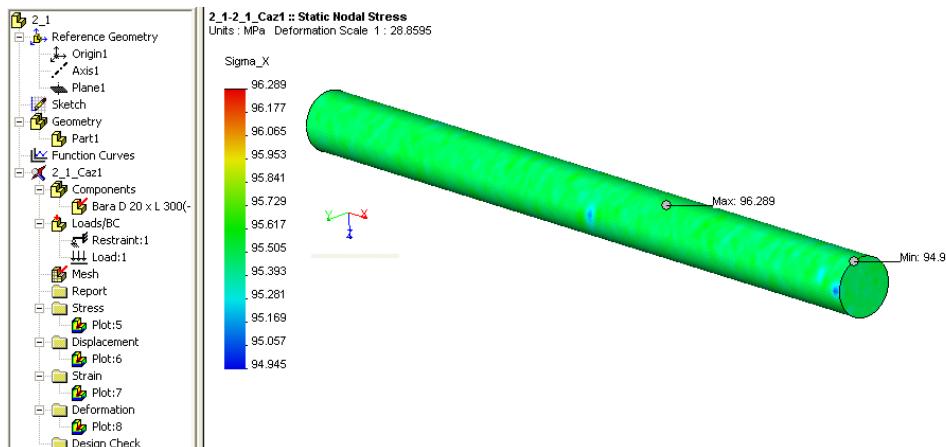


Figura 2.1.14

- din lista **Components** se va selecta mărimea **UX: Displacement (X-dir)**;
- se va activa opțiunea de vizualizare **Fringe**, dacă nu este deja activă;
- din lista **Fringe Type** se va selecta opțiunea **Filled, Tone**.

4. Se va puncta butonul **OK**.

Variația alungirii pe direcția X este evidențiată în figura 2.1.16. Se observă valoarea maximală 0,136 mm, precum și distribuția variabilă a acesteia în lungul barei, de la valoarea 0 la valoarea maximă.

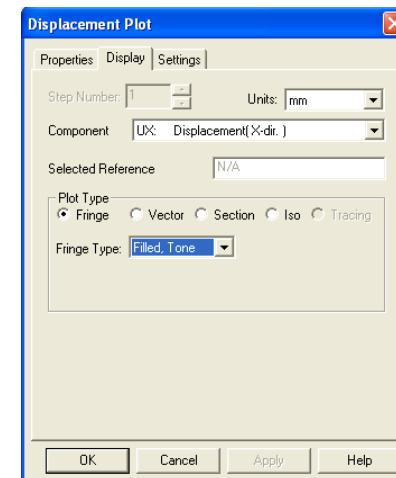


Figura 2.1.15

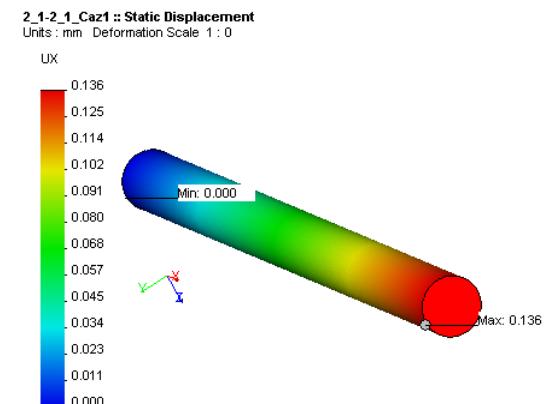


Figura 2.1.16

Pentru a determina valoarea reacțunii pe direcția X, procedura este următoarea:

1. Se va activa fereastra **Reaction Force**, figura 2.1.17, din meniu principal în succesiunea **Tools→Reaction Force** sau prin punctarea icoanei **Reaction Force** din trusa de instrumente **Result Tools**.

2. Se punctează butonul **Update**.

Valoarea reacțunii pentru întregul model este evidențiată în fereastra **Reaction Force**, figura 2.1.17. Se observă valoarea -30001 N pentru forță de reacțune pe direcția X, semnul fiind minus, deoarece orientarea acesteia este opusă direcției pozitive a axei X. Forța rezultantă pentru întregul model este 30001 N.

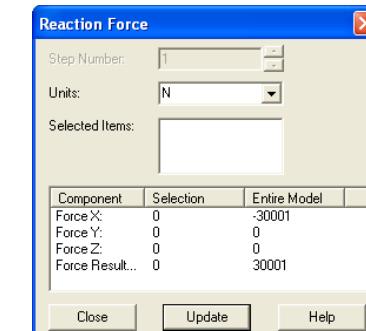


Figura 2.1.17

Tabelul 2.1.1 prezintă rezultatele oferite de programul Cosmos Design Star comparativ cu cele analitice rezultate din relațiile 2.1.1 respectiv 2.1.2, precum și abaterile procentuale relative dintre aceste valori.

Tabel 2.1.1

Mărime	Simbol	U/M	Soluție analitică	Soluție FEM	Abatere procentuală relativă [%]	Număr elemente și noduri
Tensiune	σ	MPa	95.49	96.289	-0.83	77576 112151
Alungire	Δl	mm	0.1364	0.136	0.31	
Reacție	R_x	N	30000	-30001	~0	

2.2. Întinderea unei plăci de secțiune dreptunghiulară

a) Formularea problemei

Se consideră o placă de secțiune dreptunghiulară cu înălțimea $h = 40$ mm, lățimea $b = 6$ mm și lungimea $l = 100$ mm solicitată de o forță axială $P = 6000$ N. Materialul plăcii este oțel, cu modulul de elasticitate $E = 2.1E+5$ MPa și coeficientul lui Poisson $v = 0.3$. Să se determine tensiunea maximă, în următoarele variante:

- analiza plăcii fără concentratori de tensiune – model solid;
- analiza plăcii cu concentratorul de tensiune din secțiunea 1 – model solid;
- analiza plăcii cu concentratorul de tensiune din secțiunea 2 – model solid;
- analiza plăcii cu concentratorii de tensiune din secțiunile 1 și 2 – în variantele: model solid, model 2D planar respectiv model Shell.

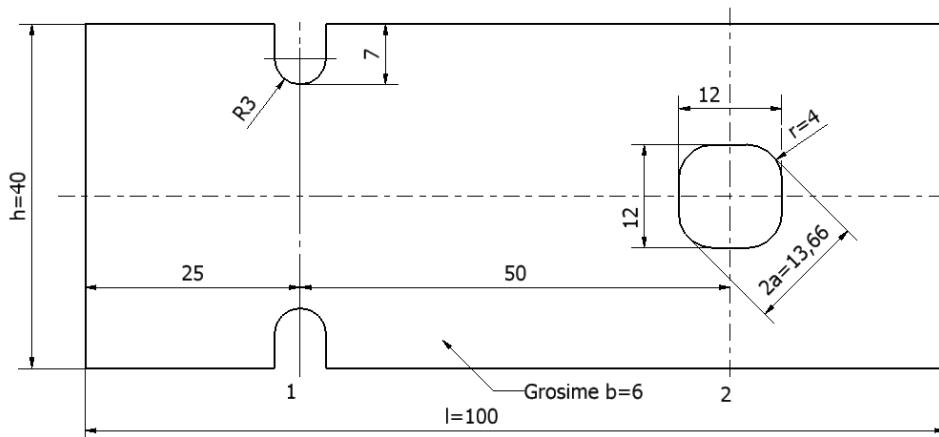


Figura 2.2.1

b) Obiectivele problemei

Pentru fiecare din variante, obiectivele problemei sunt următoarele:

- importul în Cosmos Design Star a geometriei modelate în Autodesk Inventor;
- crearea unui studiu de analiză statică;
- selecția unui material din librăria Cosmos;
- aplicarea restrângerilor și încărcărilor;
- discretizarea modelului în elemente finite;
- calculul studiului de analiză statică;
- vizualizarea și interpretarea rezultatelor.

Se vor parurge aceleași etape ca la problema 2.1, evidențindu-se numai modificările procedurale față de aceasta.

c) Considerații teoretice

Pentru bara neslăbită de concentratori de secțiune, formulele de calcul ale tensiunii maxime respectiv alungirii barei sunt :

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{6000}{240} = 25 \text{ MPa} \quad [2.2.1]$$

$$\Delta l = \frac{P \cdot l}{E \cdot A} = \frac{6000 \cdot 100}{2.1 \cdot 10^5 \cdot 240} = 0.0119 \text{ mm} \quad [2.2.2]$$

unde: $A = h \cdot b = 240 \text{ mm}^2$ este aria secțiunii transversale a barei.

Pentru bara prevăzută cu concentratorul de secțiune 1, formulele de calcul ale tensiunii nominale și maxime sunt [1], problema 2.6, pagina 65:

$$\sigma_{n1} = \frac{P}{A_1} = \frac{P}{(h - 2 \cdot 7) \cdot b} = \frac{6000}{(40 - 2 \cdot 7) \cdot 6} = 38.46 \text{ MPa} \quad [2.2.3]$$

$$\sigma_{\max 1} = \alpha_{k1} \cdot \sigma_{n1} = 2.5 \cdot 38.46 = 96.15 \text{ MPa} \quad [2.2.4]$$

unde: $A_1 = (h - 2 \cdot 7) \cdot b = 156 \text{ mm}^2$ este aria secțiunea 1 a barei, iar $\alpha_{k1} = 2.5$ este coeficientul de concentrare pentru secțiunea 1.

Pentru bara prevăzută cu concentratorul de secțiune 2, formulele de calcul ale tensiunii nominale și maxime sunt [1], problema 2.6, pagina 65:

$$\sigma_{n2} = \frac{P}{A_2} = \frac{P}{(h - 12) \cdot b} = \frac{6000}{(40 - 12) \cdot 6} = 35.71 \text{ MPa} \quad [2.2.5]$$

$$\alpha_{k2} = 1 + 2 \cdot \sqrt{\frac{a}{r}} = 1 + 2 \cdot \sqrt{\frac{4 + 2\sqrt{2}}{4}} = 3.613 \text{ mm} \quad [2.2.6]$$

$$\sigma_{\max 2} = \alpha_{k2} \cdot \sigma_{n2} = 3.613 \cdot 35.71 = 129 \text{ MPa} \quad [2.2.7]$$

unde: $A_2 = (h - 12) \cdot b = 168 \text{ mm}^2$ este aria secțiunea 2 a barei.

d) Importul geometriei în Cosmos Design Star

- Modelul barei generate în Autodesk Inventor va fi importat în Design Star.
1. Se lansează în execuție programul Cosmos Design Star.
 2. Se selectează opțiunea **Open** din meniu **File**.
 3. În lista **Look in** a ferestrei **Open** se selectează locația directorului în care este plasat fișierul modelului 3D, adică **2_2a.ckpt**.
 4. În lista **Files of type** se selectează opțiunea **Autodesk Inventor Files (*.ckpt, *.iam)**.
 5. Dublu click stânga pe numele fișierului **2_2a.ckpt** sau va declanșa încărcarea în Cosmos Design Star a geometriei modelate în Autodesk Inventor.

e) Crearea studiului de analiză statică – model solid

1. Click dreapta mouse pe numele fișierului **2_2a** în zona **Visualizer** a interfeței Cosmos Design Star și selectă opțiunii **Study**, pentru a crea un nou studiu. Se va activa fereastra **Study**.
2. Prin click stânga mouse pe butonul **Add** se va activa fereastra **Study Name**.
3. Se va completa numele **2_2_Caz_A** în câmpul **New Study**, se selectează opțiunea **Static** în lista **Analysis Type** și tipul de discretizare **Mesh Type → Solid**; punctarea mouse pe butonul **OK**, va închide fereastra **Study Name**;
4. Numele acestuia va apărea în fereastra **Study** în zona **Studies**.
5. Click stânga pe butonul **OK** din fereastra **Study** va încheia procedura de crearea a noului studiu.

a) Selectia materialului din libraria Cosmos

Se va selecta materialul asociat barei cilindrice, prin selecția acestuia din libraria Cosmos. Materialul va fi **Alloy Steel**, pentru care s-au modificat următoarele proprietăți: coeficientul lui Poisson 0.3 și densitatea 7850 kg/m^3 . Modificarea se realizează prin intermediul programului **Material Browser**, instalat odată cu instalarea programului Cosmos Design Star. Modulul de elasticitate al materialului este $2.1E+11 \text{ N/m}^2$. Procedura de asignare a materialului este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Part1** subordonată intrării **Components** în zona **Visualizer**.
2. Selectia opțiunii **Edit/Define Material....** Se va activa fereastra **Material**.
3. În zona **Select Material Source**, se verifică dacă opțiunea **Library files** este selectată și dacă opțiunea **Coswkmat.lib** este selectată în lista asociată.
4. Din zona **Select Material Source**, se va selecta materialul **Alloy Steel**.
5. Butonul **OK** va încheia procedura de asignare, numele materialului selectat va fi asociat intrării **Part1** în zona **Visualizer**, aceasta fiind marcată prin semnul **✓**.

g) Aplicarea restrângerilor și încărcărilor

Bara se va fixa în origine, lungimea acesteia fiind orientată pe direcția X. Fixarea constă în anularea translației pe direcția X, deci se va impune $U_x = 0$, iar forța $P = 6000 \text{ N}$ se aplică pe față opusă, figura 2_2_2. Procedura de aplicare a fixării este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Restraint....** Se va activa fereastra **Restraint**.
3. Din lista **Restrain Type** se va selecta opțiunea **Prescribed**.

4. Din lista **Units** se va selecta opțiunea **mm**.
5. În zona **Translation** se va activa icoana direcțională X, impunând valoarea 0 a translației pe direcția X.
6. Se va selecta față 1 prin click stânga mouse pe aceasta; identificatorul numeric al feței va apărea în zona **Select Geometry - Restrain Entity** a ferestrei **Restrain**.
7. Butonul **OK** va încheia procedura de aplicare a restrângerii. Față selectată ca sursă de aplicare a restrângerii va fi marcată prin săgeți direcționale de culoarea verde, orientate pe direcția X, figura 2.2.2, iar în zona **Visualizer**, se va genera o nouă intrare **Restrain:1** subordonată intrării **Loads/BC**.

Procedura de aplicare a încărcării este următoarea:

9. Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
10. Se selectează opțiunea **Load....** Se va activa fereastra **Loads**.
11. Din lista **Load Type** se alege opțiunea **Force** și se activează controlul **Normal**.
12. Din lista **Units** se va selecta opțiunea **SI**.
13. În câmpul **Value** se introduce valoarea -6000 .
14. Se va selecta față 2 și se puntează butonul **OK**.

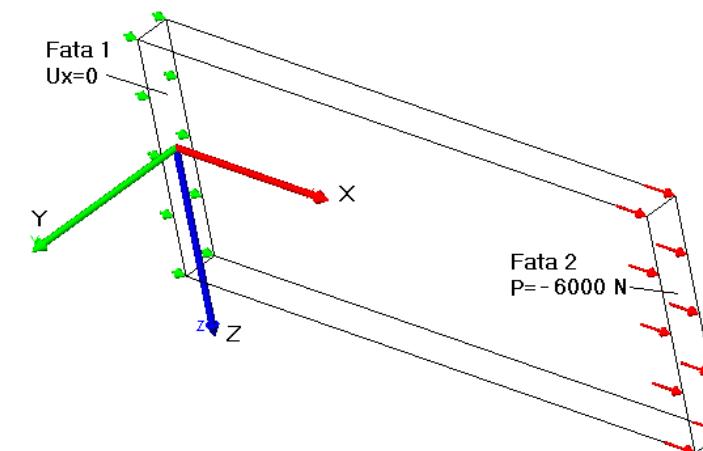


Figura 2.2.2

h) Discretizarea modelului în elemente finite

Se vor stabili opțiunile asociate discretizării:

1. Se va activa fereastra **Options** prin activarea opțiunii **Options** preluată din submeniu contextual, activat prin buton dreapta mouse pe intrarea **Mesh** în zona **Visualizer**.
2. Se va accesa zona **Mesh**.
3. Se va selecta opțiunea **High** din zona **Quality**.
4. Se va selecta opțiunea **Standard** în zona **Mesher Type**.
5. Se va selecta opțiunea **4 Point Rule** din lista **Jacobian Check**.
6. În zona **Mesh Control** se vor activa opțiunile **Automatic Transition** și **Smooth Surface**.
7. Se va puncta butonul **OK**, care va închide fereastra **Options**.

Se lansează procedura de discretizare.

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Mesh** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Create....** Se va activa fereastra **Mesh**.
3. Se va deplasa slider-ul superior spre dreapta maxim (opțiunea **Fine**), impunând astfel o discretizare fină a geometriei modelului 3D.
4. Butonul **OK** va declanșa procesul de discretizare; pe parcursul acestuia va fi vizibilă fereastra **Mesh Progress**, prevăzută cu o bară termometru.
5. Ca rezultat al discretizării, intrarea **Mesh** din zona **Visualizer** va fi fiind marcată prin semnul .

i) Calculul studiului de analiză statică

1. Click dreapta mouse pe intrarea cu numele studiului **2_2_Caz_A** în zona **Visualizer**;
2. Selectia opțiunii **Run** din submeniu contextual generat anterior.
3. În timpul evoluției calculului apare o fereastră în care sunt afișate informații referitoare la numărul de elemente, noduri și grade de libertate, numele etapei curente de rezolvare, o bară termometru și timpul de calcul, ultimele două elemente fiind actualizate dinamic.
4. La finalizarea calculului, în zona **Visualizer** se vor genera următoarele intrări: **Stress**, **Displacement**, **Strain**, **Deformation** și **Design Check**, subordonate studiului analizat. Fiecareia dintre aceste intrări, exceptând ultima, îi sunt subordonate câte o intrare, denumită **Plot**: urmat de un număr de ordine. Aceste intrări conțin rezultatele specifice analizei efectuate, ce pot fi utilizate pentru vizualizarea grafică și numerică a acestora.

j) Vizualizarea și interpretarea rezultatelor

Pentru a vizualiza variația tensiunii pe direcția X, procedura este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Stress – Plot** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Edit Definition....** Se va activa fereastra **Stress Plot**.
3. În zona **Display** se vor selecta următoarele opțiuni:
 - din lista **Units** se va selecta unitatea de măsură **MPa**;
 - din lista **Components** se va selecta mărimea **SX: Normal stress(X-dir)**;
4. Se va puncta butonul **OK**.

Variația tensiunii pe direcția X este evidențiată în figura 2.2.3. Se observă valoarea maximală 25.126 MPa, precum și distribuția relativ constantă a acesteia în lungul barei.

Pentru a vizualiza variația deplasării pe direcția X, procedura constă în:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Displacement – Plot** în zona **Visualizer**.
2. Selectia opțiunii **Edit Definition....** Se va activa fereastra **Displacement Plot**.
3. În zona **Display** se vor selecta următoarele opțiuni:
 - din lista **Units** se va selecta unitatea de măsură **mm**;
 - din lista **Components** se va selecta mărimea **UX: Displacement (X-dir)**.
4. Se va puncta butonul **OK**.

Variația alungirii pe direcția X este evidențiată în figura 2.2.4. Se observă valoarea maximală 0,012 mm, precum și distribuția variabilă a acesteia în lungul barei, de la valoarea 0 la valoarea maximă.

2_2a-2_Caz_A :: Static Nodal Stress
Units : MPa Deformation Scale 1 : 16.1682

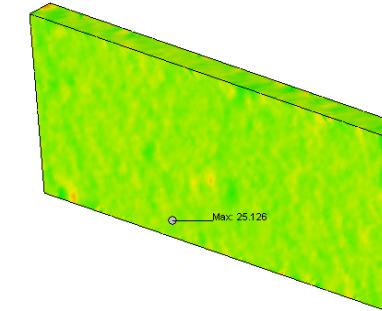


Figura 2.2.3

2_2a-2_Caz_A :: Static Displacement
Units : mm Deformation Scale 1 : 16.1682

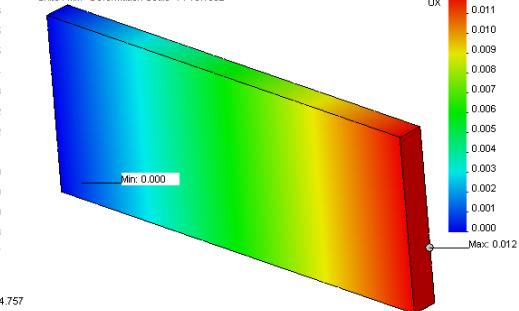


Figura 2.2.4

k) Analiza placii prevăzută cu concentrator de tensiune din secțiunea 1 – model solid

Se vor parcurge aceleași etape ca la varianta anterioară, evidențindu-se numai modificările procedurale față de aceasta:

- numele fișierului a cărui geometrie se va importa în Cosmos Design Star este **2_2b.ipt**; acesta include în geometrie concentratorul de tensiune din secțiunea 1;
- numele studiului de analiză va fi **2_2_Caz_B**; tipul de discretizare **Mesh Type → Solid**;
- din figura 2.2.5 rezultă variația tensiunii pe direcția X cu valoarea maximală 112.1046 MPa și poziția maximului localizată pe secțiunea curbilinie a racordării;
- alungirea pe direcția X are valoare maximală 0,0132, figura 2.2.6.

2_2b-2_Caz_B :: Static Nodal Stress
Units : MPa Deformation Scale 1 : 297.203

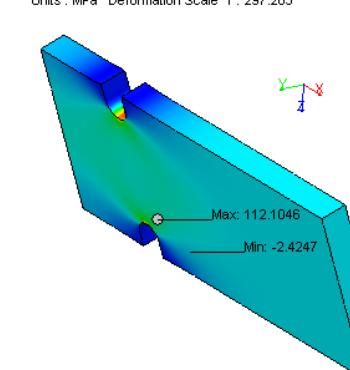


Figura 2.2.5

2_2b-2_Caz_B :: Static Displacement
Units : mm Deformation Scale 1 : 297.203

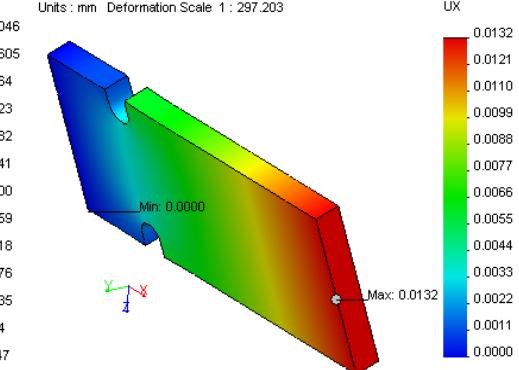


Figura 2.2.6

D) Analiza plăcii prevăzută cu concentrator de tensiune din secțiunea 2 – model solid

Se vor parcurge aceleasi etape ca la varianta anterioară, evidențindu-se numai modificările procedurale față de aceasta:

- numele fișierului a cărui geometrie se va importa în Cosmos Design Star este **2_2c.ipt**; acesta include în geometrie concentratorul de tensiune din secțiunea 2;
- numele studiului de analiză va fi **2_2_Caz_C**; tipul de discretizare **Mesh Type→ Solid**;
- variația tensiunii pe direcția X este evidențiată în figura 2.2.7; se observă valoarea maximală 83,0952 MPa și poziția maximului localizată pe secțiunea orizontală a racordării din secțiunea 2;
- alungirea pe direcția X are valoare maximală 0,0137, figura 2.2.8.

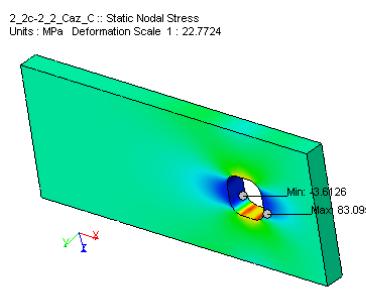


Figura 2.2.7

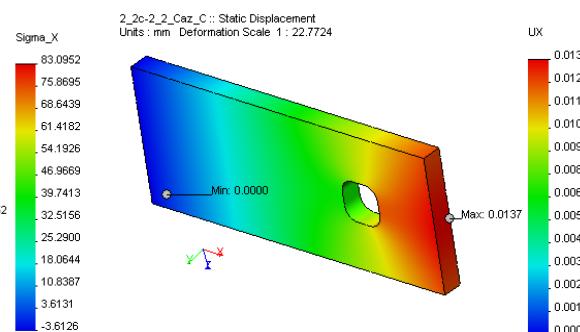


Figura 2.2.8

m) Analiza plăcii prevăzută cu concentratorii de tensiune din secțiunea 1 și 2 – model solid

Se vor parcurge aceleasi etape ca la varianta anterioară, evidențindu-se numai modificările procedurale față de aceasta:

- numele fișierului a cărui geometrie se va importa în Cosmos Design Star este **2_2d.ipt**, care include în geometrie concentratorii de tensiune din secțiunea 1 și 2;

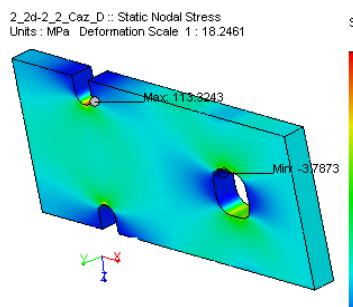


Figura 2.2.9

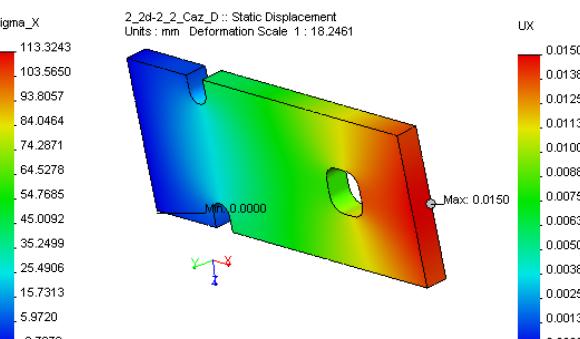


Figura 2.2.10

- numele studiului de analiză va fi **2_2_Caz_D**; tipul de discretizare **Mesh Type→ Solid**;
- variația tensiunii pe direcția X este evidențiată în figura 2.2.9; se observă valoarea maximală 113,3243 MPa și poziția maximului localizată pe secțiunea curbilinie a racordării din secțiunea 1;
- variația alungirii pe direcția X este evidențiată în figura 2.1.10. Se observă valoarea maximală 0,015 mm, precum și distribuția variabilă a acesteia în lungul barei, de la valoarea 0 la valoarea maximă.

n) Analiza plăcii prevăzută cu concentratorii de tensiune din secțiunea 1 și 2 – model 2D Planar

Deoarece geometria și încărcarea se află în același plan, problema se poate modela și în varianta 2D Planar. Astfel, problema se simplifică prin trecerea din domeniul 3D spre domeniul 2D, eforturile în direcția Z fiind neglijabile.

Obiectivele problemei sunt următoarele:

- schițarea geometriei în Design Star și crearea conturului planar din schiță;
- crearea unui studiu 2D Planar și definirea opțiunilor studiului;
- selecția materialului;
- aplicarea restrângerilor și încărcărilor;
- discretizarea modelului plan în elemente finite;
- calculul studiului de analiză statică;
- vizualizarea și interpretarea rezultatelor.

Se va crea un nou fișier, prin opțiunea **File→ New** din meniu principal și se va salva sub numele **2_2_2DPlan_SHELL.DgxPrt**, unde **DgxPrt** este extensia fișierelor Design Star.

n.1) Schițarea geometriei în Design Star și crearea conturului plan din schiță

Geometria 2D este prezentată în figura 2.2.11. Schițarea acesteia se va realiza în planul **Plane1**, creat automat de către Design Star în locația **Reference Geometry** din **Visualizer** a interfeței Cosmos Design Star. Dacă numele acestui plan nu este vizibil, se expandează locația **Reference Geometry** prin click stânga mouse pe semnul “+” asociat acesteia.

Se vor activa următoarele truse de instrumente: **Sketch**, **Sketch Relations**, **Sketch Tools**, prin opțiunea corespunzătoare preluată din meniu principal în succesiunea **View→ Toolbar**; trusele de instrumente se vor ancora pe marginea interfeței Design Star, deoarece conțin icoane specifice procesului de schițare a geometriei și vor fi utilizate în continuare. De asemenea, în aceeași manieră, se va activa și trusa de instrumente **Orientation**.

Procedura de lucru este următoarea:

1. Click stânga mouse pe **Plane1** în locația **Reference Geometry** din **Visualizer**;
2. Click stânga mouse pe icoana **Sketch** din trusa de instrumente **Sketch**;
3. Din trusa de instrumente **Orientation** se va selecta vederea **Front** pentru a privi din direcție perpendiculară pe planul de schițare;

4. Se puntează icoana **Grid** din trusa de instrumente **Sketch**; va apărea fereastra **Sketch Properties**, în care se vor specifica următoarele mărimi: numele schiței **Schita 1** în câmpul **Name**, unitatea de măsură **mm** din lista **Length**, se vor dezactiva controalele **Display Grid** și **Snap to Points**;
5. Prin comanda **Rectangle** și se trasează un dreptunghi de mărime și poziție arbitrară;
6. Prin icoana **Dimension** se dimensionează dreptunghiul la valorile 100 x 40.

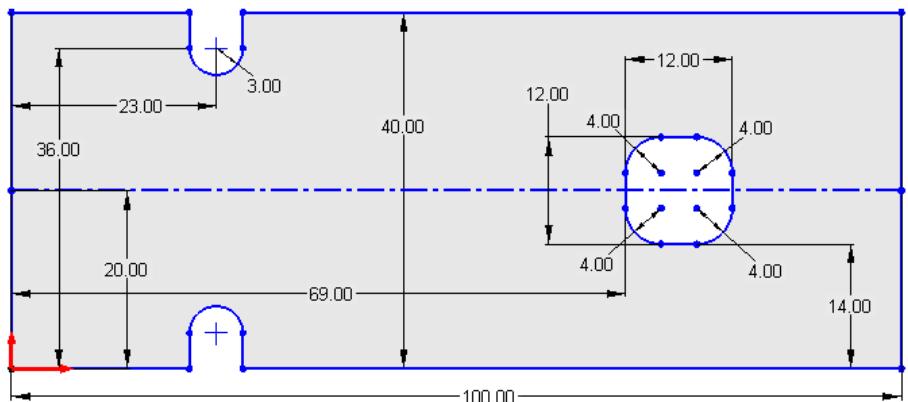


Figura 2.2.11

7. Prin comanda **Circle** și se trasează cercul superior de mărime și poziție arbitrară;
8. Prin icoana **Dimension** se dimensionează raza cercului la valoarea 3, poziția centrului 23 față de latura din stânga, respectiv 36 față de latura inferioară.
9. Prin comanda **Line** și se trasează două linii verticale de poziție arbitrară, dar în apropierea cercului anterior trasat;
10. Prin icoana **Dimension** se dimensionează distanța pe orizontală ale celor două linii față de latura din stânga, 20 respectiv 26.
11. Prin icoana **Trim** se elimină din linii, cerc și latura superioară a dreptunghiului părțile din elemente care nu participă la geometrie.
12. Prin comanda **Rectangle** și se trasează un dreptunghi de mărime și poziție arbitrară;
13. Prin icoana **Dimension** se dimensionează dreptunghiul la valorile 12 x 12, precum și poziția acestuia: cota 69 a laturii stânga față de aceeași latură a dreptunghiului inițial, respectiv cota 14 a laturii inferioare față de aceeași latură a dreptunghiului inițial.
14. Prin comanda **Sketch Fillet** se trasează cele 4 racordări de rază 4;
15. Prin comanda **Centerline** se trasează o axă orizontală de poziție arbitrară;
16. Prin icoana **Dimension** se dimensionează poziția verticală a axei la cota 20 față de latura inferioară dreptunghiului inițial.
17. Se preia icoana **Select**; se selectează cele două elemente lineare și semicercul de rază 3, iar cu tasta **Ctrl** apăsată se va selecta și axa;
18. Se puntează icoana **Mirror**, ceea ce va avea ca efect oglindirea orizontală a elementelor selectate anterior;

19. Prin icoana **Trim** se elimină din latura inferioară a dreptunghiului porțiunea care nu participă la geometrie (dintre cele două linii verticale).
20. Se puntează icoana **Save and exit** se ieșe din schițarea geometriei, cu salvarea acesteia; în consecință, în locația **Sketch** din **Visualizer**, va apărea intrarea **Schita 1**, subordonată acesteia.

n.2) Crearea unui studiu 2D Planar și definirea opțiunilor studiului

1. Click stânga mouse pe locația **Geometry** din **Visualizer**;
2. Din meniul contextual se va selecta opțiunea **Create sheet from sketches**;
3. Va apărea fereastra **Edit/Define Sheet from Sketches**.
4. Din lista **Base Sketch** se va selecta schița sursă a geometriei; în cazul de față este una singură și anume **Schita 1**.
5. Se puntează butonul **OK**; în consecință, în locația **Geometry** din **Visualizer**, va apărea intrarea **Sheet**, subordonată acesteia, care constituie geometria supusă analizei cu element finit.
6. În **Visualizer** se va puncta prin buton dreapta numele fișierului localizat în partea superioară și se va accesa opțiunea **Study**;
7. Se va puncta icoana **Add**; apare fereastra **Study Name**;
8. În câmpul **New Study** se va scrie numele studiului **Caz_A_2D_Planar**;
9. Din lista **Analysis Type** se va selecta opțiunea **Static**.
10. În zona **Mesh Type** se va selecta opțiunea **2D Planar** și se va selecta opțiunea **Plane1** din lista **Select Plane**.
11. Se va puncta butonul **OK**; se va reveni în fereastra **Study**;
12. Se va puncta butonul **OK**; se va crea studiu
13. Zona **Visualizer** va fi completată cu intrarea **Caz_A_2D_Planar**, căreia îi vor fi subordonate intrările **Sheets**, **Loads/BC**, **Mesh** și **Report**. Intrarea **Sheets** are subordonată intrarea **Sheet1**.
14. În **Visualizer** se va puncta prin buton dreapta intrarea **Sheet1**; va apărea fereastra **2D Planar**;
15. Se vor completa următoarele: opțiunea **mm** în lista **Units** și valoarea 6 (grosimea conturului planar) în câmpul **Value**; se va selecta opțiunea **Thin**.

n.3) Selectia materialului din libraria Cosmos

Se va selecta materialul asociat barei cilindrice, prin selecția acestuia din libraria Cosmos. Materialul va fi **Alloy Steel**, pentru care s-au modificat următoarele proprietăți: coeficientul lui Poisson 0.3 și densitatea 7850 kg/m³. Procedura de asignare a materialului este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Sheet1** subordonată intrării **Sheets** în zona **Visualizer**.
2. Selectia opțiunii **Edit/Define Material....** Se va activa fereastra **Material**.
3. În zona **Select Material Source**, se verifică dacă opțiunea **Library files** este selectată și dacă opțiunea **Coswkm.mat.lib** este selectată în lista asociată.
4. Din zona **Select Material Source**, se va selecta materialul **Alloy Steel**.
5. Butonul **OK** va încheia procedura de asignare, numele materialului selectat va fi asociat intrării **Sheet1** în zona **Visualizer**, aceasta fiind marcată prin semnul ✓.

n.4) Aplicarea restrângerilor și încărcărilor

Se vor aplica aceleași restricții și încărcări ca la punctul „g” din prezentă aplicație, diferența fiind data numai de faptul că acestea se vor aplica pe muchii și nu pe fețe, ca în figura 2.2.12.

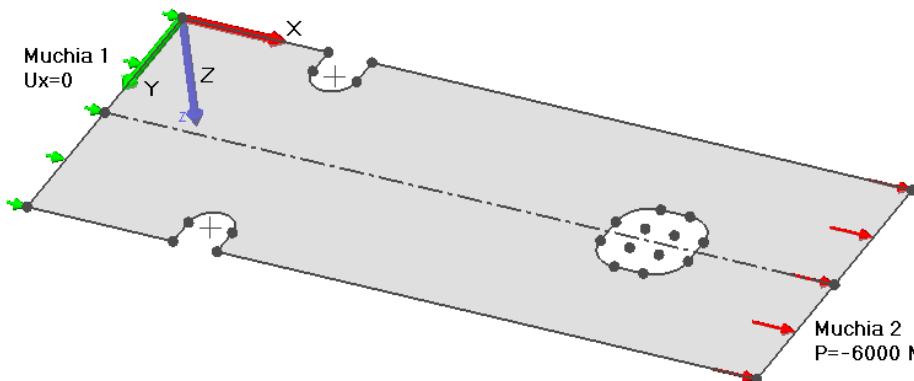


Figura 2.2.12

n.5) Discretizarea modelului plan în elemente finite

Se va aplica procedura de la punctul „h” din prezentă aplicație.

n.6) Calculul studiului de analiză statică

Se va aplica procedura de la punctul „i” din prezentă aplicație.

n.7) Vizualizarea și interpretarea rezultatelor

Se va aplica procedura de la punctul „j” din prezentă aplicație. Se observă:

- variația tensiunii pe direcția X este evidențiată în figura 2.2.13; se observă valoarea maximală 106,4486 MPa și poziția maximului localizată pe secțiunea curbilinie a racordării din secțiunea 1;
- variația alungirii pe direcția X este evidențiată în figura 2.2.14. Se observă valoarea maximală 0,015 mm, precum și distribuția variabilă a acesteia în lungul barei, de la valoarea 0 la valoarea maximă.

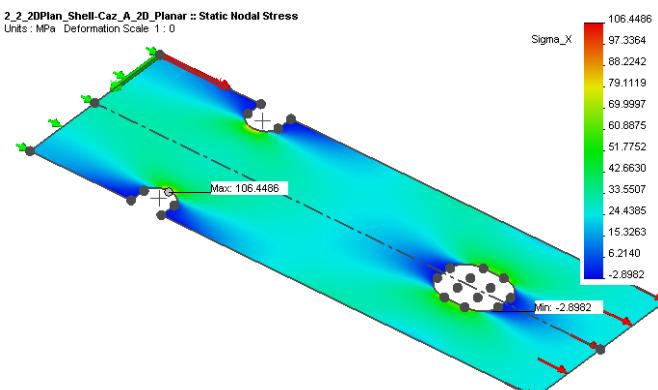


Figura 2.2.13

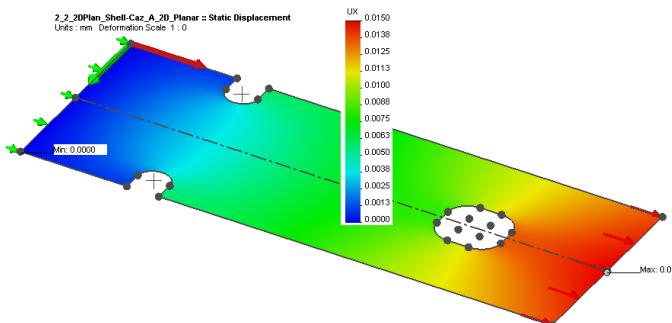


Figura 2.2.14

o) Analiza plăcii prevăzută cu concentratori de tensiune din secțiunea 1 și 2 – model Shell

Se vor parcurge aceleși etape ca la varianta anterioară „n”, evidențiuindu-se numai modificările procedurale față de aceasta:

- numele studiului este **Caz_B_Shell**; tipul de discretizare **Mesh Type→Shell**;
- variația tensiunii pe direcția X este evidențiată în figura 2.2.15; se observă valoarea maximală 100,482 MPa și poziția maximului localizată pe secțiunea curbilinie a racordării din secțiunea 1;
- variația alungirii pe direcția X este evidențiată în figura 2.2.16. Se observă valoarea maximală 0,015 mm, precum și distribuția variabilă a acesteia în lungul barei, de la valoarea 0 la valoarea maximă.

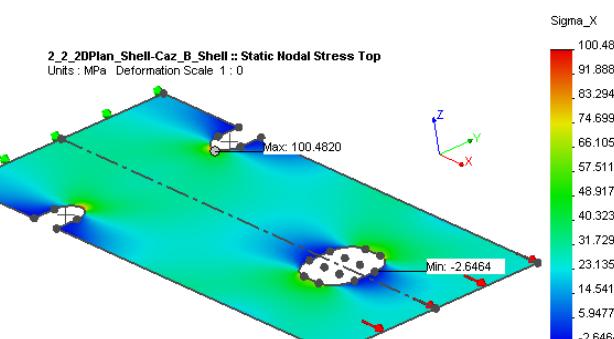


Figura 2.2.15

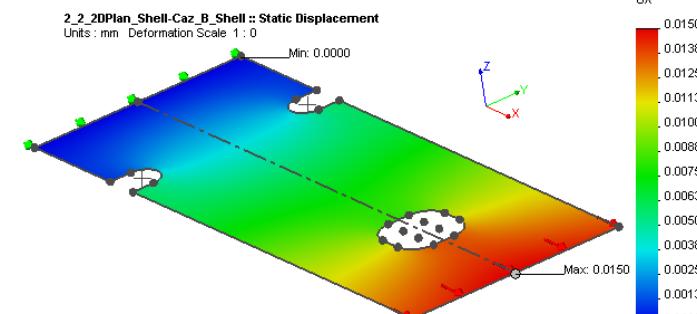


Figura 2.2.16

p) Concluzii finale

Tabelul 2.2.1 prezintă rezultatele analitice comparativ cu cele obținute prin programul Cosmos Design Star, precum și abaterile procentuale relative.

Se observă că, pentru cazul „a” – model solid erorile relative pentru tensiuni sunt practic neglijabile. Acestea cresc la 14% pentru cazul „b” - model solid respectiv 55% pentru cazul „c” – model solid.

Eroarea pentru cazurile „d” – model solid, „e” – model 2D Planar și „f” – model Shell sunt de 13.83%, 17.48%, respectiv 22.11%, deci valorile rezultatele sunt apropiate, dar poziția tensiunii maxime nu este localizată în secțiunea 2, după cum rezultă din calcul analitic, ci este localizată în secțiunea 1, conform calculelor FEM.

Se observă că în toate cazurile FEM (d, e, f) alungirea relativă Δl este 0,0150 mm, iar valoarea dintre cele 3 tensiuni este sensibil apropiată (113.3243 MPa, 106.4486 MPa, 100.48 MPa), diferența se datorează modului diferit de analiză. Dacă pentru varianta „f” – model Shell numărul de elemente finite crește de la 8834 la 21074, deci se realizează o discretizare mai densă, tensiunea crește la valoarea 104.7067, deci se apropie de varianta „e” – model 2D Planar.

Comparând deci rezultatele analitice cu cele obținute din soluția FEM rezultă coincidență perfectă atât la deplasări cât și la tensiuni, în lipsa concentratorilor. Diferența apare numai datorită concentratorilor, în sensul că valorile și poziția maximelor valorice nu coincid.

Rezultatele coincid ca valori și poziție maximală între cele trei variante de analiză FEM efectuate.

Concluzia finală este ca diferențele se datorează formulelor de calcul a concentratorilor de tensiune.

Tabel 2.2.1

Caz	Mărime	Simbol	U/M	Soluție analitică	Soluție FEM	Abatere procentuală relativă [%]
a) Placă fără concentratori Model solid	Tensiune	σ	MPa	25	25.126	-0.50
	Alungire	Δl	mm	0.0119	0.012	-0.80
b) Placă cu concentrator în secțiunea 1 Model solid	Tensiune	σ	MPa	96.15	112.1046	-14.23
	Alungire	Δl	mm	-	0.0132	-
c) Placă cu concentrator în secțiunea 2 Model solid	Tensiune	σ	MPa	129	83.0952	35.61
	Alungire	Δl	mm	-	0.0137	-
d) Placă cu concentrator în secțiunea 1+2 Model solid	Tensiune	σ	MPa	129	113.3243	13.83
	Alungire	Δl	mm	-	0.0150	-
e) Placă cu concentrator în secțiunea 1+2 Model 2D Planar	Tensiune	σ	MPa	129	106.4486	17.48
	Alungire	Δl	mm	-	0.0150	-
f) Placă cu concentrator în secțiunea 1+2 Model Shell	Tensiune	σ	MPa	129	100.48	22.11
	Tensiune	σ	MPa	129	104.7067	18.83
	Alungire	Δl	mm	-	0.0150	-

Tabelul 2.2.2 prezintă numărul de elemente finite și de noduri generate prin discretizare de programul Cosmos Design Star, pentru fiecare variantă analizată.

Tabel 2.2.2

Caz	Model solid			
	a) Placă fără concentratori	b) Placă cu concentrator în secțiunea 1	c) Placă cu concentrator în secțiunea 2	d) Placă cu concentrator în secțiunea 1+2
Număr elemente finite	49597	48245	50170	48397
Număr noduri	75568	73948	76470	74271
Caz	Model 2D Planar		Model Shell	
	e) Placă cu concentrator în secțiunea 1+2	f) Placă cu concentrator în secțiunea 1+2		
Număr elemente finite	8834	8834	21074	
Număr noduri	18052	18052	42730	

2.3. Studiul coeficientului de concentrare al tensiunilor pentru o bară cilindrică cu gaură transversală

a) Formularea problemei

Se consideră bara cilindrică din figura 2.3.1 solicitată de o forță axială $P = 98940$ N. Să se studieze variația coeficientului de concentrare al tensiunilor, funcție de diametrul găurii. Pentru bară se cunosc dimensiunile geometrice: lungime $L = 200$ mm și diametru $D = 50$ mm. Diametrul găurii d_g se va adopta între limitele 0.. 34 mm. Materialul barei este oțel, cu modulul de elasticitate $E = 2.10E+5$ MPa și coeficientul lui Poisson $\nu = 0.3$.

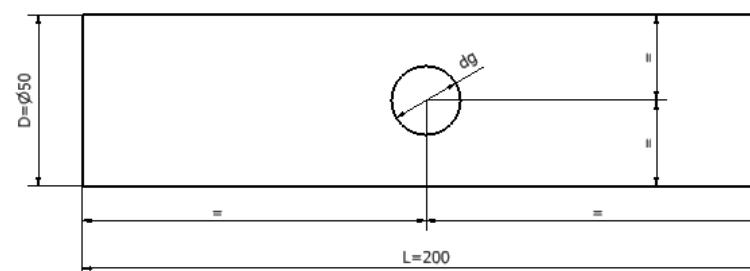


Figura 2.3.1

b) Obiectivele problemei

Obiectivele problemei sunt aceleași cu cele specificate la aplicația 2.1 pct. b.

c) Considerații teoretice

Pentru o bară cu variație de secțiune, supusă la întindere, în dreptul variațiilor de secțiune, tensiunile nu se repartizează uniform pe secțiunea transversală. Valoarea maximă a tensiunii rezultă din relația:

$$\sigma_{\max} = \alpha_k \cdot \frac{P}{A_{\min}} \quad [2.3.1]$$

unde: σ_{\max} - reprezintă tensiunea maximă corespunzătoare secțiuni slăbite;

P - reprezintă forța de întindere;

A_{\min} - reprezintă aria din secțiunea slăbită.

α_k - se numește coeficientul teoretic de concentrare al tensiunilor.

Pentru bara de diametru D cu gaură transversală de diametru d_g , formula de calcul a tensiunii maxime din bară [2.3.1] devine :

$$\sigma_{\max} = \alpha_k \cdot \frac{P}{A_{\min}} = \alpha_k \cdot \frac{P}{\frac{\pi \cdot D^2}{4} - D \cdot d_g} \quad [2.3.2]$$

Pentru o bară cilindrică cu gaură transversală, literatura de specialitate oferă graficul coeficientului teoretic de concentrare α_k , funcție de raportul dintre diametrul găurii și cel al barei, figura 2.3.2.

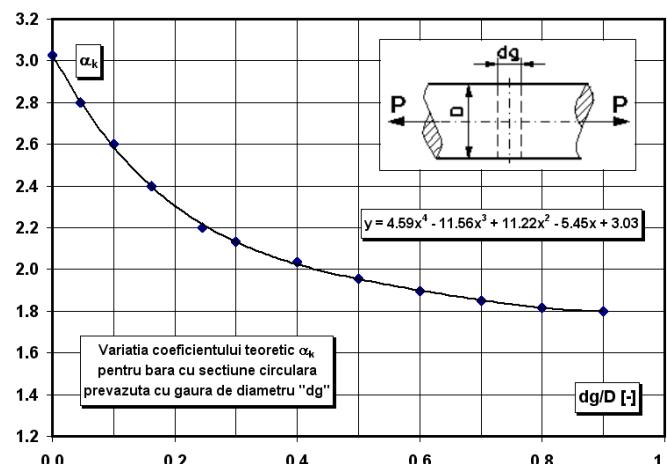


Figura 2.3.2

Pentru această variație s-a determinat funcția de interpolare, exprimată sub formă unui polinom de gradul 4.

$$\alpha_k = 4.59 \cdot \left(\frac{d_g}{D} \right)^4 - 11.56 \cdot \left(\frac{d_g}{D} \right)^3 + 11.22 \cdot \left(\frac{d_g}{D} \right)^2 - 5.45 \cdot \left(\frac{d_g}{D} \right) + 3.03 \quad [2.3.3]$$

Se va determina coeficientul de concentrare α_k pentru plaja specificată de valori a diametrului găurii d_g și se va compara graficul obținut cu cel teoretic.

d) Importul geometriei în Cosmos Design Star

Modelul barei generate în Autodesk Inventor va fi importat în Design Star.

1. Se lansează în execuție programul Cosmos Design Star.
2. Se selectează opțiunea **Open** din meniu **File**.
3. În lista **Look in** a ferestrei **Open** se selectează locația directorului în care este plasat fișierul modelului 3D, adică **2_3.ckpt**.
4. În lista **Files of type** se selectează **Autodesk Inventor Files (*.ipt, *.iam)**.
5. Dublu click stânga pe numele fișierului **2_3.ckpt** va declanșa încărcarea în Cosmos Design Star a geometriei modelate în Autodesk Inventor.

e) Crearea studiului de analiză statică

1. Click dreapta mouse pe numele fișierului **2_3** în zona **Visualizer** a interfeței Cosmos Design Star și selecția opțiunii **Study**, pentru a crea un nou studiu.
2. Se va activa fereastra **Study**.
3. Prin click stânga mouse pe butonul **Add** se va activa fereastra **Study Name**.
4. Se va completa numele **Cu gaura** în câmpul **New Study**, se selectează opțiunea **Static** în lista **Analysis Type** și tipul de discretizare **Mesh Type → Solid**; punctarea mouse pe butonul **OK**, va închide fereastra **Study Name**;
5. Numele acestuia va apărea în fereastra **Study** în zona **Studies**.
6. Click stânga pe butonul **OK** din fereastra **Study** pentru încheierea procedurii.

f) Selectia unui material din libraria Cosmos

Din libraria Cosmos se va alege materialul **Alloy Steel**, pentru care s-au modificat proprietățile: coeficientul lui Poisson 0.3 și densitatea 7850 kg/m³. Modificarea se realizează prin intermediul programului **Material Browser**, instalat odată cu instalarea programului Cosmos Design Star. Modulul de elasticitate al materialului este 2.1E+11 N/m². Procedura de asignare a materialului este:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Part1** subordonată intrării **Components** în zona **Visualizer**.
2. Selecția opțiunii **Edit/Define Material...**. Se va activa fereastra **Material**.
3. În zona **Select Material Source**, se verifică dacă opțiunile **Library files** și **Coswkm.mat.lib** sunt selectate.
4. Din zona **Select Material Source**, se va selecta materialul **Alloy Steel**.
5. Butonul **OK** va închide procedura de asignare, numele materialului selectat va fi asociat intrării **Part1** în zona **Visualizer**, aceasta fiind marcată prin semnul **✓**.

g) Aplicarea restrângerilor și încărcărilor

Bara se va fixa în origine, lungimea acesteia fiind orientată pe direcția X. Fixarea constă în anularea translației pe direcția X, deci $U_x = 0$ pe fața 1, iar forța $P = -19635$ N se aplică pe fața 2, figura 2_3_3.

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Restraint....**. Se va activa fereastra **Restraint**.
3. Din lista **Restrain Type** se va selecta opțiunea **Prescribed**.
4. Din lista **Units** se va selecta opțiunea **mm**.

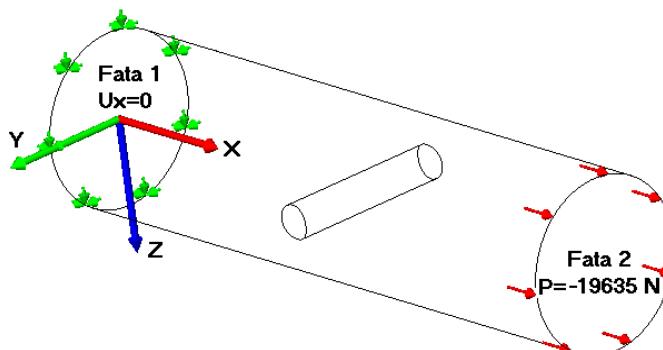


Figura 2.3.3

5. În zona **Translation** se va activa icoana direcțională X, impunând valoarea 0 a translației pe direcția X.
6. Se va selecta fața 1 prin click stânga mouse pe aceasta; identificatorul numeric al feței apare în zona **Select Geometry - Restrain Entity** a ferestrei **Restrain**.
7. Butonul **OK** va încheia procedura de aplicare a restrângerii. Fața selectată ca sursă de aplicare a restrângerii va fi marcată prin săgeți direcționale de culoarea verde, orientate pe direcția X, figura 2.2.2, iar în zona **Visualizer**, se va genera o nouă intrare **Restrain:1** subordonată intrării **Loads/BC**.

Procedura de aplicare a încărcării este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Load....** Se va activa fereastra **Loads**.
3. Din lista **Load Type** se alege opțiunea **Force**; se activează controlul **Normal**.
4. Din lista **Units** se va selecta opțiunea **SI**.
5. În câmpul **Value** se introduce valoarea -19635. Semnul minus se referă la aplicarea forței în sens opus normalei feței pe care se aplică forța.
6. Se va selecta fața 2 și se va puncta butonul **OK**.

h) Discretizarea modelului în elemente finite

Se va urma procedura descrisă în aplicația 2.2 paragraful “h”.

i) Calculul studiului de analiză statică

Se va urma procedura descrisă în aplicația 2.2 paragraful “i”.

j) Vizualizarea și interpretarea rezultatelor

Pentru vizualizarea rezultatelor, se va urma procedura descrisă în aplicația 2.2 paragraful “j”.

În cadrul prezentei aplicații au fost analizate mai multe variante, ce diferă prin valoarea diametrului găurii, între limitele 0...34 mm. Desigur că, pentru fiecare variantă, modelul geometric corespunde variantei de diametru a găurii, model care se importă în etapa “d”. Rezultatele sunt prezentate în tabelele 2.3.1 și 2.3.2 și figurile 2.3.4, 2.3.5, 2.3.6.

Mărimile din tabelul 2.3.1 corespund soluției analitice:

- mărimile **dg**, **dg/D**, **P** sunt date primare ale analizei;
- aria **A_{min}** rezultă din expresia inclusă în relația [2.3.2];

- coeficientul teoretic α_k rezultă din relația [2.3.3];
- tensiunea maximă $\sigma_{x \text{ max}}$ rezultă din relația [2.3.2].

Tabelul prezintă și numărul de elemente finite și de noduri corespunzătoare calculului FEM ale cărui rezultate sunt sintetizate în tabelul 2.3.2, pentru aceleasi valori ale diametrului găurii „**d_g**”.

Tabel 2.3.1

d_g	d_g/D	Aria	Coefficient teoretic	Forță	Soluție analitică	Număr elemente finite	Număr noduri
		A_{min}	α_k	P	$\sigma_{x \text{ max}}$		
mm	-	mm²	-	N	Mpa		
0	0	1963	-	19635	10.00	64590	91787
1	0.02	1913	2.93	19635	30.02	134119	185805
5	0.1	1713	2.59	19635	29.63	70095	99524
10	0.2	1463	2.30	19635	30.91	65355	92981
15	0.3	1213	2.13	19635	34.46	66588	94869
20	0.4	963	2.02	19635	41.22	63878	91199
25	0.5	713	1.95	19635	53.71	64754	92593
30	0.6	463	1.90	19635	80.37	61016	87591
34	0.68	263	1.86	19635	138.51	62495	89639

Mărimile din tabelul 2.3.2 corespund soluției FEM:

- valoarea tensiunii maxime $\sigma_{x \text{ FEM max}}$ rezultă din calculul FEM;
- valoarea alungirii Δl rezultă din calculul FEM;
- coeficientul α_k rezultă din relația [2.3.2], unde tensiunea $\sigma_{x \text{ FEM max}}$, forța **P** și aria **A_{min}** sunt cunoscute;
- abaterea și eroarea relativă rezultă prin compararea valorilor tensiunilor maxime analitice (tabel 2.3.1) și cea rezultată din calculul FEM (tabel 2.3.2).

Tabel 2.3.2

Dg	Soluție FEM			Abatere	Eroare relativă procentuală analitic - FEM
	Tensiune	Alungire	Coefficient		
	$\sigma_{x \text{ FEM max}}$	ΔL_x	α_k		
mm	Mpa	mm	-	Mpa	%
0	10.065	0.0095259	-	-0.06	-0.65
1	29.310	0.0095268	2.86	0.71	2.36
5	29.541	0.0095920	2.58	0.09	0.31
10	31.791	0.0098202	2.37	-0.88	-2.86
15	38.685	0.0102670	2.39	-4.22	-12.25
20	47.499	0.0110410	2.33	-6.28	-15.22
25	58.527	0.0123380	2.13	-4.81	-8.96
30	80.394	0.0145570	1.90	-0.03	-0.03
34	108.544	0.0175780	1.46	29.96	21.63

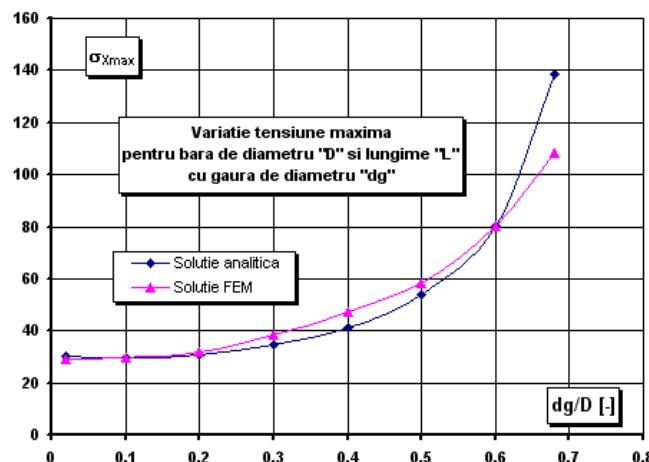


Figura 2.3.4

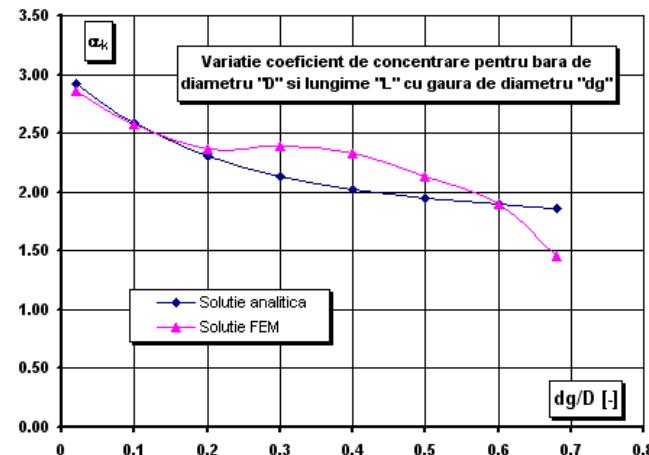


Figura 2.3.5

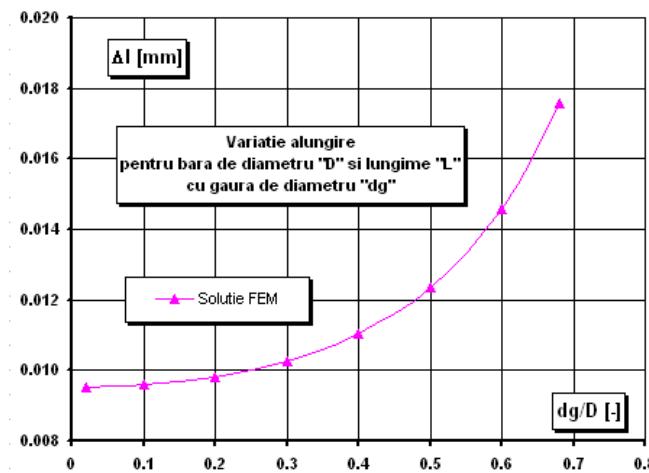


Figura 2.3.6

Figurile 2.3.7 și 2.3.8 prezintă variația tensiunii și a alungirii în lungul barei, rezultate din calculul FEM, pentru diametrul $d_g = 34$ mm.

Din figura 2.3.7 rezultă poziția maximului de tensiune pe suprafața interioară a găurii. Pentru variația alungirii pe direcția X se observă valoarea maximală 0,018 mm, precum și distribuția variabilă a acesteia în lungul barei, de la valoarea 0 la valoarea maximă.

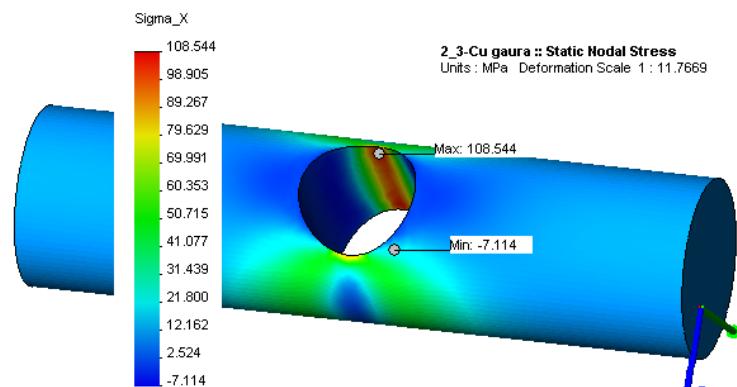


Figura 2.3.7

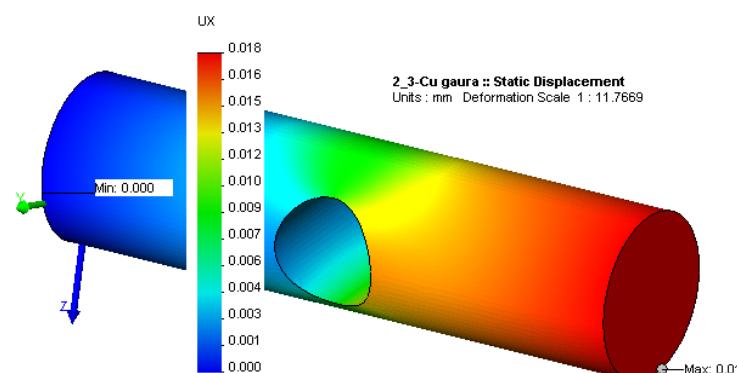


Figura 2.3.8

Din analiza graficelor rezultă următoarele concluzii:

- pentru bara fără gaură valorile tensiunilor sunt aproape identice; valoarea teoretică a alungirii $\Delta l = 0.0095238$ mm, calculată prin relația [2.1.2], coincide practic cu cea rezultată din calculul FEM;
- pentru bara cu gaură, valorile curbelor teoretice coincid satisfăcător cu cele rezultate din calculul FEM, cu o diferență care crește până la un maxim procentual de 15.22% pentru raportul $d_g/D = 0.4$, după care scade până la o valoare aproape nulă pentru raportul $d_g/D = 0.6$; la creșterea în continuare a diametrului găurii, diferența crește substanțial, secțiunea găurii preluând foarte mult volum din cel al barei, micșorând prin aceasta semnificativ caracteristicile de rezistență ale acesteia;
- pentru bara cu gaură, valorile tensiunilor FEM sunt ușor superioare față de cele analitice, în domeniul raportului de diametre $d_g/D = 0.2 \dots 0.6$ mm.

2.4. Întinderea unui tub datorită variației temperaturii

a) Formularea problemei

Se consideră tubul din figura 2.4.1, fixat la ambele capete, supus unei scăderi de temperatură de $\Delta t = 30^\circ\text{C}$. Să se determine tensiunile și deplasările care apar datorită solicitării termice. Pentru bară se cunosc dimensiunile geometrice: lungime $L = 400$ mm și diametrele exterior/interior $D = 250 / d = 230$ mm. Materialul barei este oțel, cu modulul de elasticitate $E = 2.10 \cdot 10^5$ MPa, coeficientul lui Poisson $\nu = 0.3$ și coeficientul de dilatare termică $\alpha = 1.3 \cdot 10^{-5}$ grad $^{-1}$.

b) Obiectivele problemei

Obiectivele problemei sunt următoarele:

- importul în Cosmos Design Star a geometriei modelate în Autodesk Inventor;
- crearea unui studiu de analiză statică, cu includerea efectului termic;
- selecția unui material din librăria Cosmos;
- aplicarea restrângerilor;
- discretizarea modelului în elemente finite;
- calculul studiului de analiză statică;
- vizualizarea și interpretarea rezultatelor;
- studiu întinderii tubului cu forță preluată din solicitarea termică.

c) Considerații teoretice

Ca efect al variației temperaturii tubul se va contracta sau dilata, și, datorită fixării ambelor sale capete, în tub apare o solicitare de întindere sau de compresiune, definită de tensiunea rezultată din relația:

$$\sigma = -\alpha \cdot E \cdot \Delta t = -1.3 \cdot 10^{-5} \cdot 2.1 \cdot 10^5 \cdot (-30) = +81.9 \text{ MPa} \quad [2.4.1]$$

Obs : prin scăderea temperaturii cu 30°C rezultă solicitarea de întindere.

Forța de întindere (sau de compresiune) rezultă din relația:

$$P = \sigma \cdot A = 81.9 \times 7539.82 = 617511 \text{ N} \quad [2.4.2]$$

Formula de calcul a alungirii datorate solicitării termice este:

$$\Delta l = \frac{P \cdot l}{E \cdot A} = \frac{617511 \cdot 400}{2.1 \cdot 10^5 \cdot 7539.82} = 0.156 \text{ mm} \quad [2.4.3]$$

unde: $A = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} = 7539.82 \text{ mm}^2$ este aria secțiunii transversale.

d) Importul geometriei în Cosmos Design Star

Modelul tubului generat în Autodesk Inventor va fi importat în Design Star.

1. În Design Star, se selectează opțiunea **Open** din meniul **File**.
2. În lista **Look in** a ferestrei **Open** se locația directorului modelului 3D.

3. În lista **Files of type** se selectează **Autodesk Inventor Files (*.ipt, *.iam)**.
4. Dublu click stânga pe numele fișierului **2_4.ipt** va declanșa încărcarea în Cosmos Design Star a geometriei modelate în Autodesk Inventor.

e) Crearea studiului de analiză statică

1. Click dreapta mouse pe numele fișierului **2_4** în zona **Visualizer** a interfeței Cosmos Design Star și selecția opțiunii **Study**, pentru a crea un nou studiu.
2. Se va activa fereastra **Study**.
3. Prin click stânga mouse pe butonul **Add** se va activa fereastra **Study Name**.
4. Se va completa numele **Temperatura** în câmpul **New Study**, se selectează tipul de analiză asociat studiului, prin opțiunea **Static** în lista **Analysis Type**; modelul 3D va impune tipul de discretizare **Solid**; punctarea mouse pe butonul **OK**, va închide fereastra **Study Name**;
5. Numele studiului **Temperatura** va apărea în fereastra **Study** în zona **Studies**.
6. Se va selecta acest studiu prin click stânga mouse pe numele său și se va puncta butonul **Properties**. Se va activa fereastra **Static**, figura 2.4.2.
7. Se activează controalele **Include Thermal Effects** și **Uniform Temperature**.
8. Din listele de unități se selectează ca unitate de măsură **Celsius**.
9. În câmpurile **Value** și **Reference temperature at zero strain** se introduc valorile **-30** respectiv **0**.
10. Se va verifica tipul solver-ului **FFEPlus**.
11. Click stânga pe butonul **OK** din fereastra **Study** va încheia procedura de creare.
12. Zona **Visualizer** va fi completată cu intrarea **Temperatura**, căreia îi vor fi subordonate intrările **Components**, **Loads/BC**, **Mesh** și **Report**. Intrarea **Components** are subordonată intrarea **Part1**.

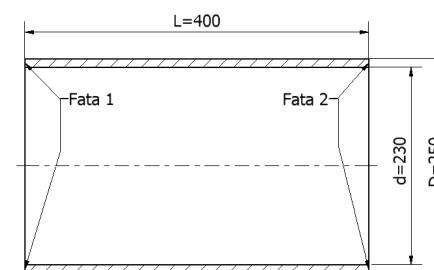


Figura 2.4.1

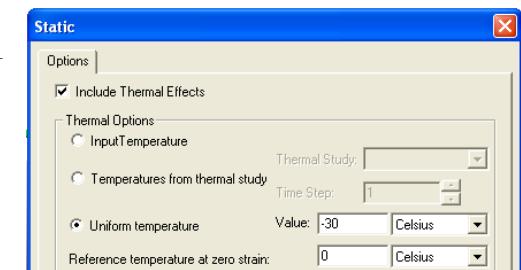


Figura 2.4.2

f) Selectia materialului

Se va urma procedura descrisă în aplicația 2.3 paragraful "f". Materialul va fi **Alloy Steel**, cu coeficient de dilatare termică $\alpha = 1.3 \cdot 10^{-5}$ grad $^{-1}$.

g) Aplicarea restrângerilor

Tubul se va fixa în pe fețele 1 și 2 prin anularea translației pe direcția X, deci $U_x = 0$, figura 2.4.1.

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Restraint....** Se va activa fereastra **Restraint**.

3. Din lista **Restrain Type** se va selecta opțiunea **Prescribed**.
4. Din lista **Units** se va selecta opțiunea **mm**.
5. În zona **Translation** se va activa icoana direcțională X, impunând valoarea 0 a translației pe direcția X.
6. Se va selecta fața 1 prin click stânga mouse pe aceasta; identificatorul numeric al feței apare în zona **Select Geometry - Restrain Entity** a ferestrei **Restrain**.
7. Pentru accesarea feței 2 se poate rota tubul prin intermediul icoanei **Rotate** din trusa de instrumente **View**.
8. Cu tasta **Ctrl** menținută apăsat, se va selecta fața 2 prin click stânga mouse pe aceasta; identificatorul numeric al acesteia apare în zona **Select Geometry - Restrain Entity** a ferestrei **Restrain**.
9. Butonul **OK** va încheia procedura de aplicare a restrângerilor. Fețele selectate ca sursă de aplicare a restrângerii vor fi marcate prin săgeți direcționale de culoare verde, orientate pe direcția X, iar în zona **Visualizer**, se va genera o nouă intrare **Restrain:1** subordonată intrării **Loads/BC**.

h) Discretizarea modelului în elemente finite

Se va urma procedura descrisă în aplicația 2.2 paragraful "h". Se vor genera 37982 elemente finite cu 75259 noduri.

i) Calculul studiului de analiză statică

Se va urma procedura descrisă în aplicația 2.2 paragraful "i".

j) Vizualizarea și interpretarea rezultatelor

Pentru vizualizarea rezultatelor, se va urma procedura descrisă în aplicația 2.2 paragraful "j". Variația tensiunii pe direcția X este evidențiată în figura 2.4.3; se observă valoarea 81.9018 MPa, constantă în lungul tubului, care coincide practic cu valoarea teoretică calculată prin relația 2.4.1.

Pentru a determina valoarea reacționii pe direcția X, egală valoric cu forța de întindere datorată solicitării termice, procedura este următoarea:

1. Se va activa fereastra **Reaction Force** prin punctarea icoanei **Reaction Force** din trusa de instrumente **Result Tools**.
2. Se selectează din fața 1 și se punctează butonul **Update**.

Valoarea reacționii este evidențiată în coloana **Selection** a ferestrei **Reaction Force**, figura 2.4.4. Se observă valoarea $-6.1751E+05$ N pentru forța de reacție pe direcția X, semnul fiind minus, deoarece orientarea acesteia este opusă direcției pozitive a axei X și având sens de întindere.

3. Pentru accesarea feței 2 se rotește tubul prin intermediul icoanei **Rotate** din trusa de instrumente **View**.
4. Se selectează din fața 2 și se punctează butonul **Update**.
5. Valoarea reacționii este evidențiată în coloana **Selection** a fereastrei **Reaction Force**. Se observă valoarea $+6.1751 E+05$ N a forței de reacție pe direcția X, semnul fiind plus, deoarece orientarea acesteia este în direcția pozitivă a axei X.

Forța de reacție pe întregul model este evidențiată în coloana **Entire Model** a ferestrei **Reaction Force**, figura 2.4.4; aceasta este aproape 0, asupra tubului acționând două forțe de întindere egale și de sens opus.

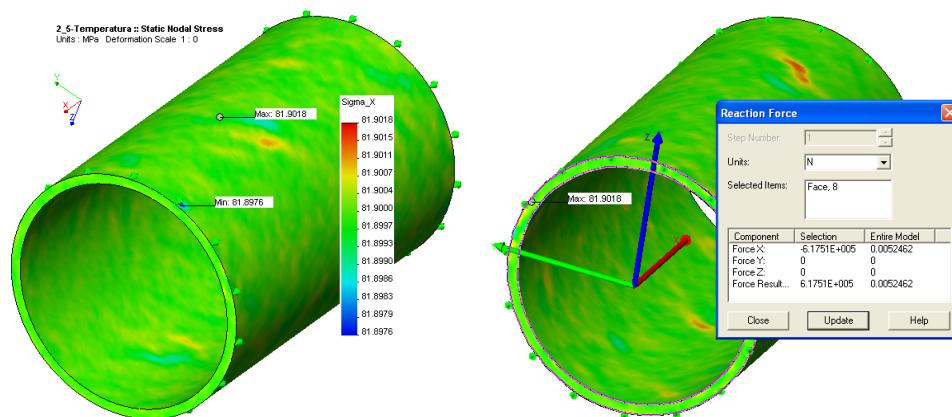


Figura 2.4.3

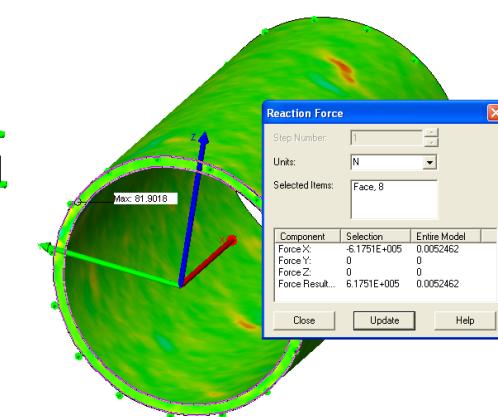


Figura 2.4.4

Comparând valoarea analitică a forței de întindere calculată prin relația 2.4.2 cu cea rezultată din analiza FEM se observă o coincidență perfectă a acestora.

Variația alungirii pe direcția X rezultă din calcul 0, deoarece dilatarea liberă a capetelor este împiedicată datorită fixării acestora; pentru a putea totuși calcula alungirea, se poate recurge la următorul artificiu: se va genera un nou studiu de analiză, în care tubul va fi fixat numai la un capăt, iar la celălalt capăt va fi aplicată forță de întindere rezultată din solicitarea termică.

k) Studiu de intindere tubului cu forță preluată din solicitarea termică

Se vor parcurge aceleși etape ca cele anterioare din prezenta aplicație, cu următoarele diferențe:

- numele noului studiu va fi **Intindere**, iar controlul **Include Thermal Effects** nu va mai fi activat;
- materialul poate fi copiat de la studiul **Temperatura** la studiul **Intindere**, prin agățarea stânga mouse a numelui acestuia din studiul **Temperatura** asociat intrării **Part1**, deplasarea cursorului mouse și eliberarea butonului pe intrarea **Part1** din studiul **Intindere**;
- discretizarea poate fi copiată de la studiul **Temperatura** la studiul **Intindere**, prin agățarea stânga mouse a intrării **Mesh** din studiul **Temperatura** asociat, deplasarea cursorului mouse și eliberarea butonului pe intrarea **Mesh** din studiul **Intindere**;
- restrângerea $U_x = 0$ va fi aplicată numai pe fața 1;
- pe fața 2 se va aplica o forță de întindere normală cu valoarea $6.1751 E+05$ N și semnul plus, care se referă la aplicarea forței în sens opus normaliei feței de aplicare a forței.

Discretizarea, restrângerea și forța sunt reprezentate în figura 2.4.5.

Variația alungirii este prezentată în figura 2.4.6. Se observă valoarea 0.1561 mm, care coincide practic cu valoarea teoretică calculată prin relația 2.4.3.

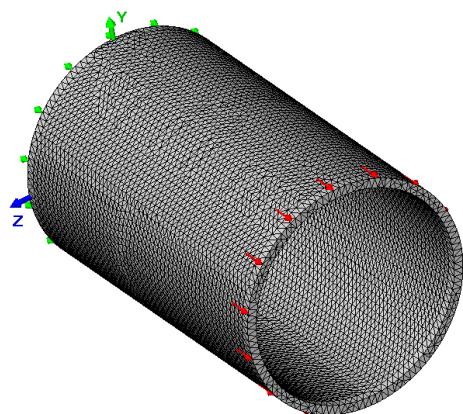


Figura 2.4.5

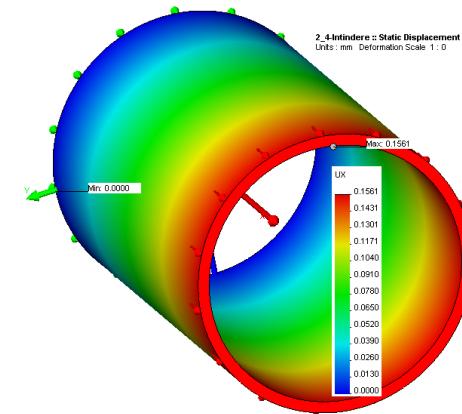


Figura 2.4.6

Tabelul 2.4.1 prezintă comparativ rezultatele finale ale aplicației.

Tabel 2.4.1

Mărime	Simbol	U/M	Soluție analitică	Soluție FEM	Abatere procentuală relativă [%]	Număr elemente și noduri
Tensiune	σ_x	MPa	81.9	81.9018	~0	37982
Alungire	Δl	mm	0.156	0.1561	~0	
Reacțiune	R_x	N	617511	617510	~0	

2.5. Solicitări axiale ale unui cilindru

a) Formularea problemei

Se consideră cilindrul din figura 2.5.1, de diametru $D = 48$ mm și lungime totală $L = 218$ mm, fixat pe fața 3 și supus pe fața 2 unei forțe de întindere de $P_1 = 540000$ N la distanța $L/2 = 109$ mm, respectiv unei forțe de compresiune de $P_2 = 270000$ N pe fața 1 la distanța L . Să se determine tensiunile și deplasările în piese care apar datorită solicitărilor; materialul este oțel, cu modulul de elasticitate $E = 2.10 \cdot 10^5$ MPa, coeficientul lui Poisson $\nu = 0.3$.

b) Obiectivele problemei

Obiectivele problemei sunt identice cu cele de la aplicația 2.1 punctul b, cu suplimentarea unei etape de definire a tipului de contact pe fața 2, după definirea restrângerilor și încărcărilor.

c) Considerații teoretice

Ca efect al solicitărilor axiale opuse precum și valorilor acestora, în cilindru apare o solicitare de întindere pe tronsonul 23 și de compresiune pe tronsonul 12, definită de următoarele tensiuni:

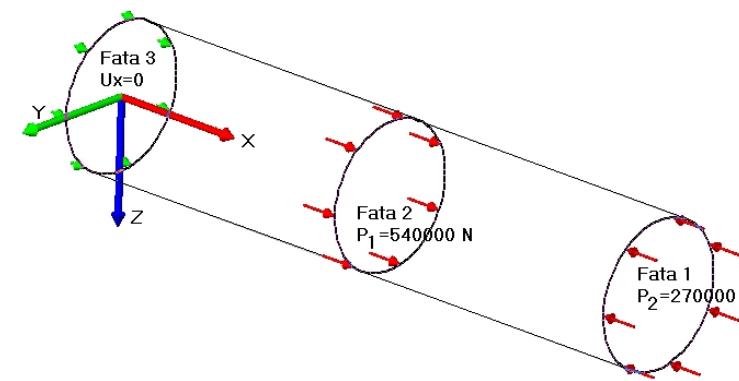


Figura 2.5.1

$$\sigma_{12} = -\frac{P_2}{A} = -\frac{270000}{1809.56} = -149.21 \text{ MPa} \quad [2.5.1]$$

$$\sigma_{23} = +\frac{(P_1 - P_2)}{A} = +\frac{270000}{1809.56} = +149.21 \text{ MPa} \quad [2.5.2]$$

Alungirea totală rezultată din suma alungirilor pe cele două tronsoane este nulă:

$$\Delta L = \Delta L_{12} + \Delta L_{23} = 0 \quad [2.5.3]$$

unde :

$$\Delta L_{12\max} = -\frac{P_2 \cdot (L/2)}{E \cdot A} = -\frac{270000 \cdot 109}{2.1 \cdot 10^5 \cdot 1809.56} = -0.0774 \text{ mm} \quad [2.5.4]$$

$$\Delta L_{23\max} = +\frac{(P_1 - P_2) \cdot (L/2)}{E \cdot A} = +\frac{270000 \cdot 109}{2.1 \cdot 10^5 \cdot 1809.56} = 0.0774 \text{ mm} \quad [2.5.5]$$

iar: $A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 1809.56 \text{ mm}^2$ este aria secțiunii transversale a barei.

d) Importul geometriei în Cosmos Design Star

Modelul tubului generat în Autodesk Inventor va fi importat în Design Star.

- În Design Star, se selectează opțiunea **Open** din meniu File.
- În lista **Look in** a ferestrei **Open** se selectează locația directorului modelului 3D.
- În lista **Files of type** se selectează **Autodesk Inventor Files (*.ipt, *.iam)**.
- Dublu click stânga pe numele fișierului **2_5.ipt** va declanșa încărcarea în Cosmos Design Star a geometriei modelate în Autodesk Inventor.

Observație: În Cosmos Design Star încărcările se aplică geometriei și nu nodurilor. În consecință, geometria este constituită dintr-un ansamblu format din doi cilindri identici de diametru $D = 48$ și lungime $L/2 = 109$ mm. Separarea cilindrului în două componente este necesară pentru accesul la fața 2, în vederea aplicării forței P_1 .

Față 2 nu ar exista în varianta creării unei geometrii formate dintr-un singur cilindru de lungime totală 218 mm. Din acest motiv intrarea **Geometry** în zona **Visualizer** va conține subordonate două intrări **Part1** și **Part2**, corespunzător celor două componente ale ansamblului.

e) Crearea studiului de analiză statică

Pentru crearea studiului se parcurg etapele detaliate în aplicația 2.3 punctul e, diferență fiind numele fișierului, care este 2_5 și numele studiului, care este **Solicitari axiale**. Zona **Visualizer** va fi completată cu intrarea **Solicitari axiale**, căreia îi vor fi subordonate intrările **Components**, **Loads/BC**, **Contact/Gaps**, **Mesă** și **Report**. Intrarea **Components** are subordonată două intrări **Part1** și **Part2**, corespunzător celor două componente ale ansamblului.

Intrarea **Contact/Gaps** apare într-un studiu de analiză în care geometria constă dintr-un ansamblu compus din mai multe componente, pentru care trebuie definit tipul contactului între fețele comune.

f) Selectia materialului

Se va urma procedura descrisă în aplicația 2.3 paragraful "f", cu următoarele diferențe de procedură:

- la punctul 1 al procedurii, click dreapta mouse se va aplica pe intrarea **Components** în zona **Visualizer**, deoarece se dorește aplicarea aceluiasi material (**Alloy Steel**) ambelor componente ale ansamblului;
- la punctul 2 se va selecta opțiunea **Apply Material to All**.

g) Aplicarea restrângerilor și încărcărilor

Tubul se va fixa în pe față 3 prin anularea translației pe direcția X, deci $U_x = 0$, figura 2_5_1.

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Restraint....** Se va activa fereastra **Restraint**.
3. Din lista **Restrain Type** se va selecta opțiunea **Prescribed**.
4. Din lista **Units** se va selecta opțiunea **mm**.
5. În zona **Translation** se va activa icoana direcțională X, impunând valoarea 0 a translației pe direcția X.
6. Butonul **OK** va încheia procedura de aplicare a restrângerii. Față 3 selectată ca sursă de aplicare a restrângerii va fi marcată prin săgeți direcționale de culoarea verde, orientate pe direcția X, iar în zona **Visualizer**, se va genera o nouă intrare **Restrain:1** subordonată intrării **Loads/BC**.

Procedura de aplicare a încărcării P_2 pe față 1 este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Load....** Se va activa fereastra **Loads**.
3. Din lista **Load Type** se alege opțiunea **Force**; se activează controlul **Normal**.
4. Din lista **Units** se va selecta opțiunea **SI**.
5. În câmpul **Value** se introduce valoarea 270000.
6. Se va selecta față 1 și se va puncta butonul **OK**.

Procedura de aplicare a încărcării P_1 pe față 2 este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Load....** Se va activa fereastra **Loads**.
3. Din lista **Load Type** se alege opțiunea **Force**; se activează controlul **Normal**.
4. Din lista **Units** se va selecta opțiunea **SI**.
5. În câmpul **Value** se introduce valoarea 540000.
6. Se va puncta în zona feței 2; deoarece față 2 este acoperită de suprafața laterală a cilindrului 12, inițial aceasta va fi selectată; printr-un click dreapta mouse se accesează față 2.
7. Se va puncta butonul **OK**.

h) Definirea tipului de contact pe față 2

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Contact/Gaps** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Touching Faces: Bounded**.

I) Discretizarea modelului în elemente finite

Se va urma procedura descrisă în aplicația 2.2 paragraful "h". Se vor genera 65958 elemente finite cu 93411 noduri.

m) Calculul studiului de analiză statică

Se va urma procedura descrisă în aplicația 2.2 paragraful "i".

n) Vizualizarea și interpretarea rezultatelor

Pentru a vizualiza variația tensiunii pe direcția X, procedura este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Stress – Plot** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Edit Definition....** Se va activa fereastra **Stress Plot**.
3. În zona **Display** se vor selecta următoarele opțiuni:
 - din lista **Units** se va selecta unitatea de măsură **MPa**;
 - din lista **Components** se va selecta mărimea **SX: Normal stress(X-dir)**;
 - se va activa opțiunea de vizualizare **Fringe**, iar din lista **Fringe Type** se va selecta opțiunea **Filled, Tone**, dacă acestea nu sunt deja activate;
 - se va activa zona **Settings**;
 - se va dezactiva controlul **Show deformed shape with scale factor**.
4. Se va puncta butonul **OK**.

Variația tensiunii pe direcția X este evidențiată în figura 2.5.2. Se observă valoarea maximală +167.6 MPa pe tronsonul 23 corespunzătoare întinderii, respectiv -167.5 MPa pe tronsonul 21 corespunzătoare compresiunii, precum și distribuția relativ constantă a acestora pe cele două tronsoane.

Pentru a verifica punctual distribuția tensiunii de-a lungul tronsoanelor se parcurge următoarea procedură:

1. Click stânga mouse pe zona grafică a ferestrei **Design Star**;
2. Se punctează icoana **Probe** din trusa de instrumente **Result Tools**;
3. Se va activa fereastra **Probe**, figura 2.5.3.
4. Pentru verificarea punctuală a tensiunii, în zona dorită a hărții de tensiuni se execută dublu click stânga mouse pe punctul dorit, efectul fiind apariția valorii numerice

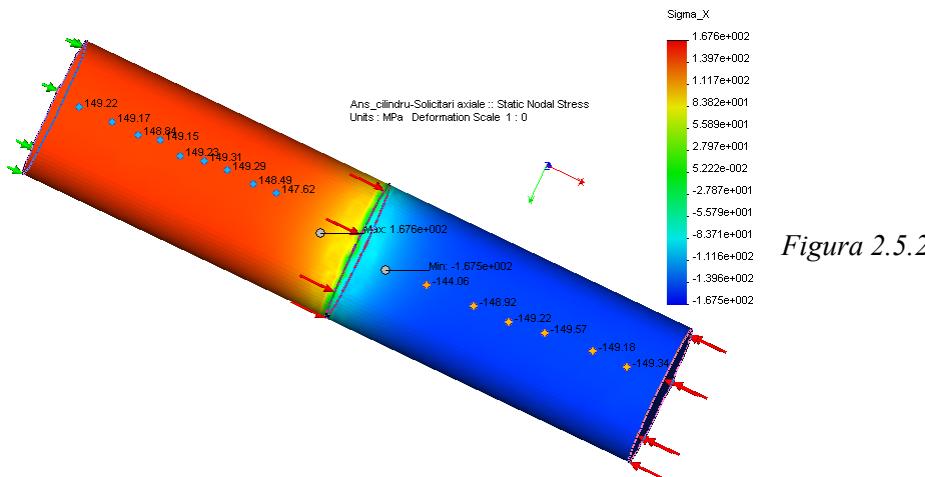


Figura 2.5.2

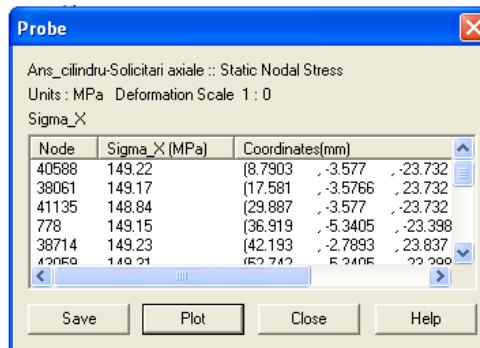


Figura 2.5.3



Figura 2.5.4

punctuale a tensiunii, care este completată și în zona centrală a ferestrei **Probe**, precum și în partea stângă a barei de stare; în plus este afișat numărul de identificare al nodului accesat și coordonatele acestuia. Dacă se execută un nou dublu click stânga mouse pe alt punct, informațiile asociate acestuia vor înlocui informațiile punctului anterior accesat; dacă însă pe durata click-ului de mouse se menține apăsată tasta **Ctrl**, informațiile punctului curent accesat vor fi adăugate la cele anterioare.

5. Dacă punctele vor fi identificate succesiv dinspre față 3 spre față 1, cu tasta **Ctrl** menținută apăsat, va rezulta distribuția numerică a tensiunii lungul cilindrului, afișată în fereastra **Probe**; aceste informații pot fi salvate într-un fișier de tip **TXT**, prin butonul **Save**; de asemenea pe butonul **Plot** se poate genera variația grafică a distribuției tensiunii, figura 2.5.4.
6. Din aceste valori și din graficul din figura 2.5.4 rezultă următoarele concluzii:
 - pe tronsonul 23 valorile sunt pozitive și corespund întinderii; distribuția valorilor este relativ constantă pe o mare parte a cilindrului și apropiată de valoarea 149.2 MPa; valoarea maximală este de +167.6 MPa, în apropierea feței 2;

- pe tronsonul 12 valorile sunt negative și corespund compresiunii; distribuția valorilor este relativ constantă pe o mare parte a cilindrului și apropiată de valoarea -149.2 MPa; valoarea maximală este de -167.5 MPa, în apropierea feței 2;
- valoarea constantă 149 MPa ocupă cea mai mare zona celor doi cilindrii, fiind practic identică cu cea rezultată din calcul;
- valorile maximale sunt apropiate numeric, dar cu semne diferite și sunt realizate în puncte dispuse pe axa cilindrului; valorile maximale se datorează contactului local a celor doi cilindrii pe fața 2;
- în apropierea feței 2 graficul, trece brusc de la valori pozitive la valori negative; valorile maximale nu sunt surprinse în graficul din figura 2.5.4.

Pentru a vizualiza variația deplasării pe direcția X, procedura este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Displacement – Plot** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Edit Definition....**. Se va activa fereastra **Displacement Plot**, figura 2.1.15.
3. În zona **Display** se vor selecta următoarele opțiuni:
 - din lista **Units** se va selecta unitatea de măsură **mm**;
 - din lista **Components** se va selecta mărimea **UX: Displacement (X-dir)**;
 - se va activa opțiunea de vizualizare **Fringe**, iar din lista **Fringe Type** se va selecta opțiunea **Filled, Tone**, dacă acestea nu sunt deja activate;
 - se va activa zona **Settings**;
 - se va dezactiva controlul **Show deformed shape with scale factor**.
4. Se va puncta butonul **OK**.

Variația alungirii pe direcția X este evidențiată în figura 2.5.5. Se observă valoarea maximală 0.07823 mm, precum și distribuția variabilă a acesteia în lungul barei, de la valoarea 0 pe față 3, la valoarea maximă pe față 2 și revenind la valoarea 0 pe față 1.

Aplicând procedura descrisă anterior se poate realiza identificarea punctuală a valorilor alungirii în lungul cilindrului și se poate obține grafic variația acesteia.

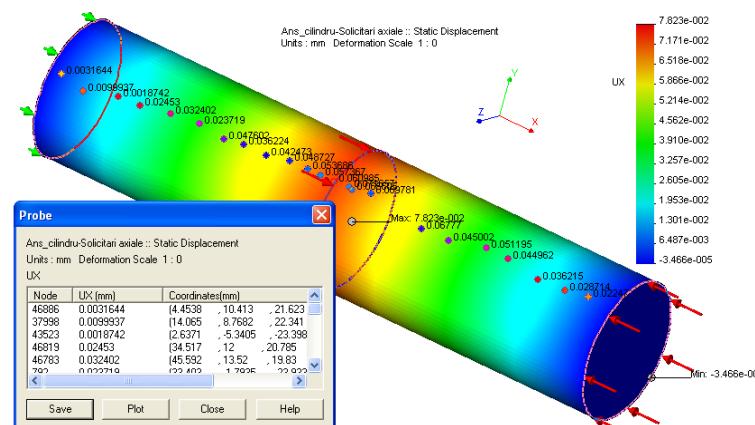


Figura 2.5.5

- Pentru a determina valoarea reacțunii pe direcția X, procedura este următoarea:
1. Se va activa fereastra **Reaction Force**, figura 2.5.6, din meniu principal în succesiunea **Tools→ Reaction Force** sau prin punctarea icoanei **Reaction Force** din trusa de instrumente **Result Tools**.
 2. Se selectează fața 3.
 3. Se puntează butonul **Update**.

Valoarea reacțunii pentru fața 3 este evidențiată în fereastra **Reaction Force**, coloana **Selection**, figura 2.5.6. Se observă valoarea $-2.7 \text{ E}+005 \text{ N}$ pentru forța de reacție pe direcția X, semnul fiind minus, deoarece orientarea acesteia este opusă direcției pozitive a axei X. Forța rezultantă pentru întregul model este egală valoric cu cea de pe fața 1, dar cu semn schimbat și egală cu valoarea analitică.

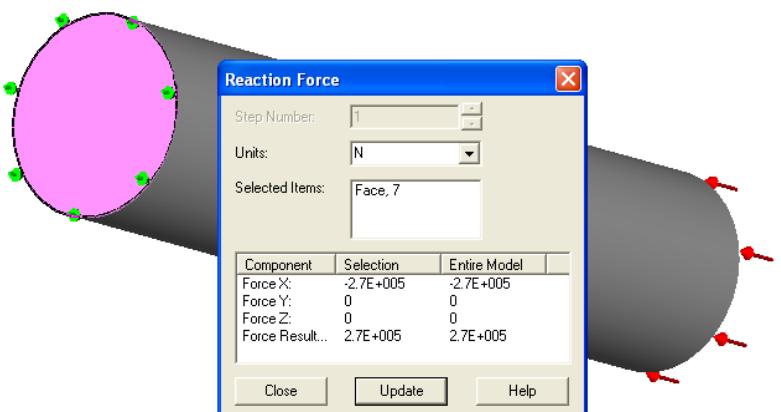


Figura 2.5.6

Tabelul 2.5.1 prezintă comparativ rezultatele finale ale aplicației.

Tabel 2.5.1

Mărime	Simbol	U/M	Soluție analitică	Soluție FEM Valoare constantă	Soluție FEM Valoare maximală	Număr elemente și noduri
Tensiune	σ_{12}	MPa	-149.21	-149,2	+167.6	65958
	σ_{23}		+149.21	+149,2	-167.5	
Alungire	$\Delta l_{12 \text{ max}}$	mm	-0,0774	0.07823		93411
	$\Delta l_{23 \text{ max}}$		+0,0774			
Reacțune	R_x	N	270000	270000		

Calculând abaterile procentuale dintre valorile analitice și cele rezultate din calculul FEM rezultă următoarele valori:

- abaterea valorii tensiunii în raport cu valoarea constantă FEM, este de 0.14%; valoarea constantă FEM este realizată pe cea mai mare zonă a cilindrului;

- abaterea valorii tensiunii în raport cu valoarea maximală FEM, este de -12.33% ; valoarea maximală FEM este realizată numai în apropierea feței 2, ca efect al solicitării locale generată de aplicarea forței pe această față;
- abaterea valorii alungirii în raport cu valoarea FEM, este de -1.01% ; valoarea FEM este realizată pe fața 2.

2.6. Solicitări axiale ale unui cilindru cumulat cu efectul temperaturii

a) Formularea problemei

Să se determine tensiunile și deplasările în cilindrul din figura 2.6.1, de diametru $D = 36 \text{ mm}$ și lungime totală $L=218 \text{ mm}$, fixat pe fața 1 și supus pe fața 2 unei forțe $P = 120000 \text{ N}$. Materialul este oțel, cu modulul de elasticitate $E = 2.10 \text{ E}+5 \text{ MPa}$, coeficientul lui Poisson $\nu = 0.3$ și coeficientul de dilatare termică $\alpha = 1.3 \text{ E}-05 \text{ grad}^{-1}$. Vor fi analizate trei cazuri de solicitare:

01. Compresiunea barei cu forță P ;
02. Compresiunea barei cu forță P cumulat cu creșterea temperaturii cu $\Delta t \text{ }^{\circ}\text{C}$, astfel încât deformația totală se fie nulă ($\Delta L=0$);
03. Întinderea barei cu forță P cumulat cu creșterea temperaturii cu $\Delta t \text{ }^{\circ}\text{C}$ (Δt calculat în cazul 02);

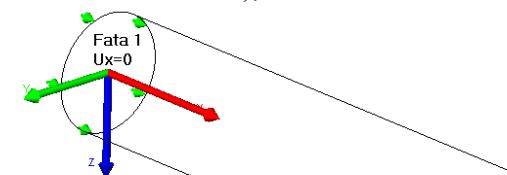


Figura 2.6.1



b) Obiectivele problemei

Obiectivele problemei constau în analiza comparativă a rezultatelor analitice cu cele obținute prin calculul FEM, pentru cele trei cazuri de analiză menționate.

c) Considerații teoretice

Formulele de calcul ale tensiunii maxime respectiv alungirii barei sunt :

$$\sigma = \pm \frac{P}{A} = \frac{120000}{1017.876} = \pm 117.89 \text{ MPa} \quad [2.6.1]$$

unde semnul minus corespunde compresiunii, iar semnul plus întinderii. Valoarea tensiunii nu este influențată de creșterea temperaturii, deoarece bara este fixată numai la un capăt (pe fața 1), fața 2 fiind liberă să se depleteze.

În cazul 01 (se consideră numai solicitarea de compresiune) variația alungirii rezultă din relația:

$$\Delta L = \frac{-P \cdot L}{E \cdot A} = \frac{-120000 \cdot 220}{2.1 \cdot 10^5 \cdot 1017.876} = -0.1235 \text{ mm} \quad [2.6.2]$$

unde semnul minus corespunde scurtării barei datorită compresiunii.

În cazul 02 (se consideră solicitarea de compresiune cumulat cu creșterea temperaturii cu Δt $^{\circ}\text{C}$) variația alungirii rezultă din relația:

$$\Delta L = \frac{-P \cdot L}{E \cdot A} + \alpha \cdot L \cdot \Delta t \quad [2.6.3]$$

Din această relație se calculează diferența de temperatură Δt care trebuie aplicată asupra barei pentru ca alungirea ΔL rezultată din cumularea celor două solicitări (compresiune + dilatarea barei datorită creșterii temperaturii) să fie zero.

$$\Delta t = \frac{P}{\alpha \cdot E \cdot A} = \frac{120000}{1.3 \cdot 10^{-5} \cdot 2.1 \cdot 10^5 \cdot 1017.876} = 43.184^{\circ}\text{C} \quad [2.6.4]$$

Deci aplicând o diferență de temperatură pozitivă cu valoarea $\Delta t = 43.184^{\circ}\text{C}$ simultan cu solicitarea de compresiune, alungirea finală trebuie să rezulte 0. Concluzia aceasta va fi verificată prin calculul FEM.

În cazul 03 (se consideră solicitarea de întindere cumulat cu creșterea temperaturii cu $\Delta t = 43.184^{\circ}\text{C}$) variația alungirii rezultă din relația:

$$\Delta L = \frac{+P \cdot L}{E \cdot A} + \alpha \cdot L \cdot \Delta t \quad [2.6.3]$$

$$\Delta L = \frac{120000 \cdot 220}{2.1 \cdot 10^5 \cdot 1017.876} + 1.3 \cdot 10^{-5} \cdot 220 \cdot 43.184 = 0.247 \text{ mm}$$

În aceste relații $A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 1017.876 \text{ mm}^2$ este aria secțiunii transversale.

d) Importul geometriei în Cosmos Design Star

Modelul barei generate în Autodesk Inventor va fi importat în Design Star.

- În Design Star, se selectează opțiunea **Open** din meniul **File**.
- În lista **Look in** a ferestrei **Open** se locația directorului modelului 3D.
- În lista **Files of type** se selectează **Autodesk Inventor Files (*.ipt, *.iam)**.
- Dublu click stânga pe numele fișierului **2_6.ipt** va finaliza operația de import.

e) Crearea studiului de analiză „01”

Se vor parcurge etapele specificate în aplicația 2.1 paragraful e, cu modificarea numelui studiului, care va fi „01”.

f) Selectia materialului

Se vor parcurge etapele specificate în aplicația 2.1 paragraful f, selectându-se materialul **Alloy Steel**.

g) Aplicarea restrângерilor și încărcărilor

Se vor parcurge etapele specificate în aplicația 2.1 paragraful g, cu următoarele modificări:

- restrângerea $U_x = 0$ se va aplica pe față 1 (vezi figura 2.6.1);
- valoarea forței specificată în câmpul **Value** va fi 120000 N, cu semnul plus.

h) Discretizarea în elemente finite

Se va parcurge procedura specificată în aplicația 2.1 paragraful h. Se vor genera 64107 elemente finite cu 91736 noduri.

i) Calculul studiului de analiză statică

Se va parcurge procedura specificată în aplicația 2.1 paragraful i.

j) Vizualizarea și interpretarea rezultatelor

Pentru a vizualiza variația tensiunii pe direcția X, procedura este următoarea:

- Click dreapta mouse pe intrarea **Stress – Plot** în zona **Visualizer**.
- Se selectează opțiunea **Edit Definition....**. Se va activa fereastra **Stress Plot**.
- În zona **Display** se vor selecta următoarele opțiuni:
 - din lista **Units** se va selecta unitatea de măsură **MPa**;
 - din lista **Components** se va selecta mărimea **SX: Normal stress(X-dir)**;
 - se va activa opțiunea de vizualizare **Fringe**, iar din lista **Fringe Type** se va selecta opțiunea **Filled, Tone**, dacă acestea nu sunt deja activate;
 - se va activa zona **Settings**;
 - se va dezactiva controlul **Show deformed shape with scale factor**.
- Se va puncta butonul **OK**.

Variația tensiunii pe direcția X este evidențiată în figura 2.6.2. Se observă valoarea tensiunii cuprinsă între valorile limită -117.2 respectiv -118.6.

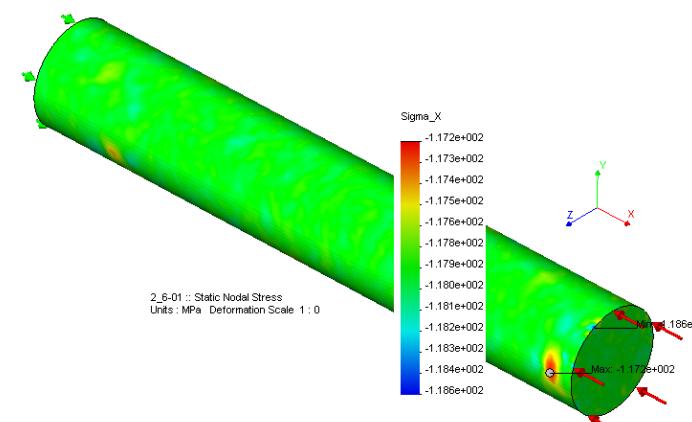


Figura 2.6.2

Pentru a obține o valoare medie a tensiunii, se parcurg următoarele etape:

- Se punctează icoana **List results by entity** din trusa de instrumente **Result Tools** sau se selectează **List results by entity** din opțiunea **Tools** a meniului.
- Se va activa fereastra **List Selected**, figura 2.6.3.

3. Se selectează fața laterală a barei, prin click stânga mouse (punctul 1).
4. Se puntează butonul **Update** din fereastra **List Selected**.
5. Zona stânga a ferestrei va fi populată cu identificatorul numeric al nodurilor (coloana **Node**) și cu valorile tensiunii acestora (coloana **Sigma_X**), pentru toate nodurile ce aparțin feței selectate; de asemenea câmpul **Average** oferă media tensiunii pentru fața selectată, care este egală cu -117.89, care coincide practic cu valoarea calculată analitic prin relația 2.6.1.



Figura 2.6.3

Vizualizarea alungirii pe direcția X, implică următoarea procedură:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Displacement – Plot** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Edit Definition....**
3. Se va activa fereastra **Displacement Plot**.
4. În zona **Display** se vor selecta următoarele opțiuni:
 - din lista **Units** se va selecta unitatea de măsură **mm**;
 - din lista **Components** se va selecta mărimea **UX: Displacement (X-dir)**;
 - activare opțiune **Fringe**, selecție **Filled, Tone** din lista **Fringe Type**;
 - activare zona **Settings**;
 - dezactivare control **Show deformed shape with scale factor**.
5. Se va puncta butonul **OK**.

Variata alungirii pe direcția X este evidențiată în figura 2.6.4. Se observă valoarea maximală -0,1235 mm, precum și distribuția variabilă a acesteia în lungul barei, de la valoarea 0 pe fața 1, la valoarea maximă pe fața 2. Valoarea și semnul alungirii maxime coincid practic cu valoarea calculată analitic prin relația 2.6.2.

I) Crearea unui nou studiu de compresiune cumulat cu efectul temperaturii

Se va crea un nou studiu de analiză, în care, simultan cu solicitarea de compresiune, se va considera și efectul rezultat din creșterea temperaturii cu diferență $\Delta t = 43.184^\circ C$. Se vor parcurge aceleași etape ca la procedura pentru studiul de analiză „01”, cu următoarele modificări:

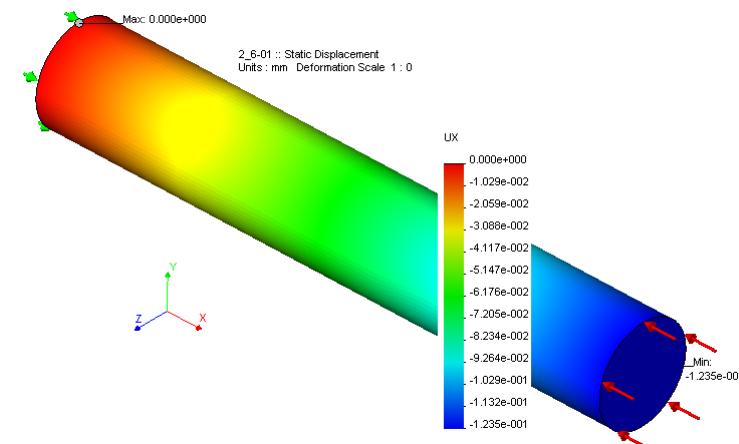


Figura 2.6.4

- etapa **d** (importul geometriei) nu mai este necesară, geometria fiind deja importată în Cosmos Design Star în procedura anterioară;
- la etapa **e**, numele noului studiu va fi „01”; după apariția numelui în fereastra **Study**, se va puncta butonul **Properties** și se vor specifica caracteristicile termice: activare controale **Include Thermal Effects** și **Uniform Temperature**; selecție **Celsius** din liste de unități; în câmpurile **Value** și **Reference temperature at zero strain** se introduc valorile **-43.184** respectiv **0**;
- materialul, încărcările și discretizarea pot fi copiate de la studiul de analiză „01” la studiul „02”, prin agățare stânga mouse a numelui intrării din studiul „01”, deplasarea cursorului mouse și eliberarea butonului pe intrarea corespunzătoare din studiul „02”; desigur că o alternativă, dar mai lentă, ar fi redefinirea acestora.

Rezultatele obținute prin acest studiu sunt următoarele:

- valoarea medie a tensiunii este -117.88, care coincide practic cu valoarea calculată analitic prin relația 2.6.1; deci tensiunea rezultată din compresiune nu este influențată de creșterea temperaturii;
- valoarea alungirii pe direcția X se încadrează între limitele 1.223 E-8 ...-3.875 E-7, ceea ce reprezintă valori foarte apropiate de un zero numeric; se confirmă astfel concluzia rezultată din relațiile analitice.

D) Crearea unui nou studiu de întindere cumulat cu efectul temperaturii

Se va crea un nou studiu de analiză, în care, simultan cu solicitarea de întindere, se va considera și efectul rezultat din creșterea temperaturii cu diferență $\Delta t = 43.184^\circ C$. Se vor parcurge aceleași etape ca la procedura pentru studiul de analiză „02”, cu următoarele modificări:

- la etapa **e**, numele noului studiu va fi „03” și se vor specifica aceleași caracte-
- ristici termice;
- materialul, încărcările și discretizarea vor fi copiate de la studiul de analiză „02” la studiul „03”, prin agățare stânga mouse a numelui intrării din studiul „02”, deplasarea cursorului mouse și eliberarea butonului pe intrarea corespunzătoare din studiul „03”;

- pentru a comuta solicitarea de compresiune în solicitare de întindere, după copiere, semnul încărcării se va modifica astfel:
 - selectia opțiunii **Edit Definition** din meniu contextual activat pe buton dreapta pe intrarea **Load:1**;
 - modificare semn încărcare din plus în minus în câmpul **Value**;
 - punctare buton **OK**.

Rezultatele obținute prin acest studiu sunt următoarele:

- valoarea medie a tensiunii este 117.9, care coincide practic cu valoarea calculată analitic prin relația 2.6.1; deci tensiunea rezultată din întindere nu este influențată de creșterea temperaturii;
- valoarea maximală a alungirii pe direcția X este de 0.247 mm care coincide practic cu valoarea calculată analitic prin relația 2.6.3.

Determinarea reacționii pe direcția X constă în următoarele etape:

- Se va activa fereastra **Reaction Force**, prin punctarea icoanei **Reaction Force** din trusa de instrumente **Result Tools**.
- Se puntează butonul **Update**.

Valoarea reacționii pentru întregul model $1.2 \text{ E}+05 \text{ N}$ este evidențiată în fereastra **Reaction Force**.

Tabelul 2.6.1 prezintă comparativ rezultatele finale ale aplicației.

Tabel 2.6.1

Studiu	Mărime	Simbol	U/M	Soluție analitică	Soluție FEM
„01”	Tensiune	σ_x	MPa	-117.89	-117.89
	Alungire	Δl	mm	-0.1235	-0.1235
„02”	Tensiune	σ_x	MPa	-117.89	-117.88
	Alungire	Δl	mm	0	$1.223 \text{ E}-8 \dots -3.875 \text{ E}-7$
„03”	Tensiune	σ_x	MPa	+117.89	+117.9
	Alungire	Δl	mm	0.247	0.247
-	Reacție	R_x	N	120000	$1.2 \text{ E}+05$

2.7. Compresiune ansamblu cilindru-mașon-disc

a) Formularea problemei

Se consideră ansamblul cilindru-mașon-disc din figura 2.6.1, fixat pe fața 3 a cilindrului și a mașonului și supus unei forțe de compresiune de $P = 270000 \text{ N}$ pe fața 1 a discului. Să se determine tensiunile și deplasările în piese care apar datorită solicitării de compresiune. Se cunosc următoarele caracteristici:

- Cilindrul 1 - dimensiunile geometrice: diametru $D_1 = 48 \text{ mm}$ și lungime $L_1 = 220 \text{ mm}$; materialul este oțel, cu modulul de elasticitate $E_1 = 2.10 \text{ E}+5 \text{ MPa}$, coeficientul lui Poisson $v = 0.3$;

- Mașon 2 - dimensiunile geometrice: diametru exterior / interior $D_2 = 100 / 50 \text{ mm}$ și lungime $L_2 = 220 \text{ mm}$; materialul este alamă, cu modulul de elasticitate $E_2 = 1.00 \text{ E}+5 \text{ MPa}$, coeficientul lui Poisson $v = 0.33$;
- Disc 3 - dimensiunile geometrice: diametru $D_3 = 100 \text{ mm}$ și lungime $L_3 = 30 \text{ mm}$; materialul este fontă, cu modulul de elasticitate $E_3 = 1.9 \text{ E}+5 \text{ MPa}$, coeficientul lui Poisson $v = 0.27$.

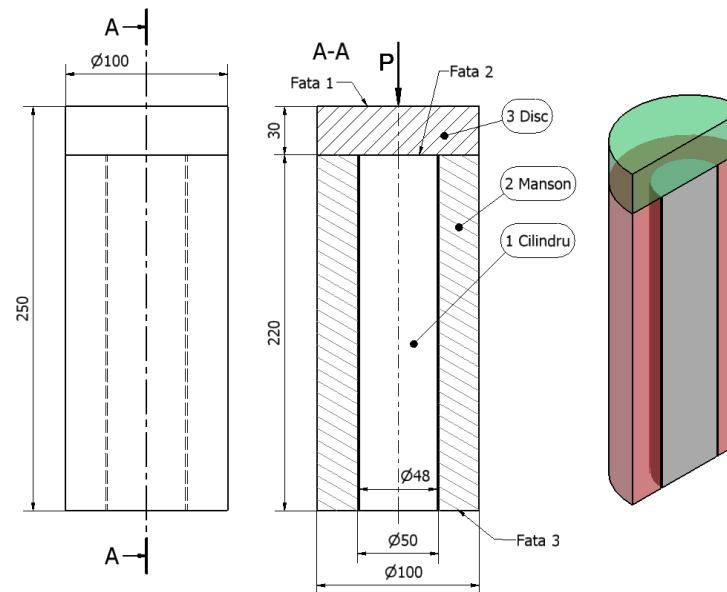


Figura 2.7.1

b) Obiectivele problemei

Obiectivele problemei sunt identice cu cele de la aplicația 2.1 punctul b, cu etapa suplimentară de aplicare a unui efect de transparență pentru mașon, după definirea proprietăților de material.

Din punct de vedere teoretic discul 3 se va considera numai un mijloc de aplicare a forței $P = 270000 \text{ N}$ pe fața 1 a discului, forță care se va transmite pe fețele 2 ale mașonului și a cilindrului; deci în calculele teoretice se va neglija influența discului.

Pentru a evidenția influența discului în comportarea reală a ansamblului, în Cosmos Design Star vor fi analizate două variante: o variantă în care rigiditatea discului este foarte mare, impusă prin intermediul unui modul de elasticitate $E_3 = 2.1 \text{ E}+15 \text{ MPa}$ și o variantă în care aceasta are valoarea corespunzătoare materialului fontei, adică $E_3 = 1.9 \text{ E}+5 \text{ MPa}$.

c) Considerații teoretice

Din condiția egalității alungirii specifice a cilindrului 1 și a mașonului 2:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 \Rightarrow \frac{P_1}{E_1 \cdot A_1} = \frac{P_2}{E_2 \cdot A_2} = \frac{P}{E_1 \cdot A_1 + E_2 \cdot A_2} \quad [2.6.1]$$

rezultă expresiile forțelor ce se transmit pe fețele 2 ale cilindrului 1 și a manșonului 2 sub forma:

$$P_1 = E_1 \cdot A_1 \cdot \frac{P}{E_1 \cdot A_1 + E_2 \cdot A_2} = 1.0588 \times 10^5 \text{ N} \quad [2.6.2]$$

$$P_2 = E_2 \cdot A_2 \cdot \frac{P}{E_1 \cdot A_1 + E_2 \cdot A_2} = 1.6412 \times 10^5 \text{ N} \quad [2.6.3]$$

cărora le corespund alungirile egale valoric:

$$\Delta l_1 = \frac{P_1 \cdot l_1}{E_1 \cdot A_1} = \frac{1.0588 \times 10^5 \cdot 220}{2.1 \times 10^5 \cdot 1809.56} = 0.061297 \text{ mm} \quad [2.6.4]$$

$$\Delta l_2 = \frac{P_2 \cdot l_2}{E_2 \cdot A_2} = \frac{1.6412 \times 10^5 \cdot 220}{1 \times 10^5 \cdot 5890.49} = 0.061297 \text{ mm} \quad [2.6.5]$$

În aceste relații A_1 respectiv A_2 sunt ariile secțiunilor transversale ale cilindrului 1 și a manșonului 2.

$$A_1 = \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} = 1809.56 \text{ mm}^2 \quad [2.6.6]$$

$$A_2 = \frac{\pi \cdot (D_2^2 - d_2^2)}{4} = 5890.49 \text{ mm}^2 \quad [2.6.7]$$

Formulele de calcul ale tensiunii în cilindru și manșon sunt:

$$\sigma_1 = \frac{P_1}{A_1} = \frac{1.0588 \times 10^5}{1809.56} = 58.511 \text{ N/mm}^2 \quad [2.6.8]$$

$$\sigma_2 = \frac{P_2}{A_2} = \frac{1.6412 \times 10^5}{5890.49} = 27.862 \text{ N/mm}^2 \quad [2.6.9]$$

d) Importul geometriei în Cosmos Design Star

Modelul ansamblului generat în Autodesk Inventor va fi importat în Design Star.

1. În Design Star, se selectează opțiunea **Open** din meniu **File**.
2. În lista **Look in** a ferestrei **Open** se căuta directorul modelului 3D.
3. În lista **Files of type** se selectează **Autodesk Inventor Files (*.ipt, *.iam)**.
4. Dublu click stânga pe numele fișierului **Ans cilindru-manson.iam** va finaliza operația de import.

Se poate observa că, după import, intrarea **Geometry** din zona **Visualizer** va conține trei intrări, denumite **Part1**, **Part2** și **Part3**, corespunzătoare celor trei componente ale ansamblului. Prin click stânga pe fiecare dintre aceste nume se poate realiza identificarea componentei, aceasta fiind afișată în culoarea de selecție în zona grafică. Astfel: **Part1** reprezintă discul, **Part2** reprezintă manșonul iar **Part3** reprezintă cilindrul.

e) Crearea studiului de analiză „Compreziune”

Se vor parcurge etapele specificate în aplicația 2.1 paragraful e, cu modificarea numelui studiului, care va fi „**Compreziune**”.

După crearea studiului, intrarea **Components** din zona **Visualizer** va conține trei intrări, denumite **Part1**, **Part2** și **Part3**, corespunzătoare celor trei componente ale ansamblului. Prin două click-uri succesive lente stânga pe fiecare din numele acestor componente (lente = o scurtă pauză între cele două click-uri) se declanșează operația de redenumire a componentelor; astfel **Part1** se va redenumi **Disc**, **Part2** se va redenumi **Manșon** iar **Part3** se va redenumi **Cilindru**. Acest studiu va corespunde primei variante, în care rigiditatea discului este foarte mare, impusă prin intermediul unui modul de elasticitate $E_3 = 2.1 \times 10^{15}$ MPa.

f) Selectia materialelor

Pentru componenta **Manșon** se vor parcurge etapele specificate în aplicația 2.1 paragraful f, din librăria de materiale selectându-se materialul **Brass** din grupa de materiale **Copper and Its Alloy**, cu următoarele caracteristici: modulul de elasticitate $E_2 = 1.0 \times 10^{11}$ N/m², coeficientul lui Poisson $\nu = 0.33$.

Pentru componenta **Cilindru** se vor parcurge etapele specificate în aplicația 2.1 paragraful f, din librăria de materiale selectându-se materialul **Alloy Steel** din grupa de materiale **Steel**, cu următoarele caracteristici: modulul de elasticitate $E_2 = 2.1 \times 10^{11}$ N/m², coeficientul lui Poisson $\nu = 0.3$.

Pentru componenta **Disc** se va defini un nou material (inexistent în librăria de materiale) cu un modul de elasticitate $E_3 = 2.1 \times 10^{15}$ MPa și coeficientul lui Poisson $\nu = 0.27$. Procedura de definire și asignare a materialului este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Disc** subordonată intrării **Components** în zona **Visualizer**.
2. Selectia opțiunii **Edit/Define Material....** Se va activa fereastra **Material**, figura 2.7.2.

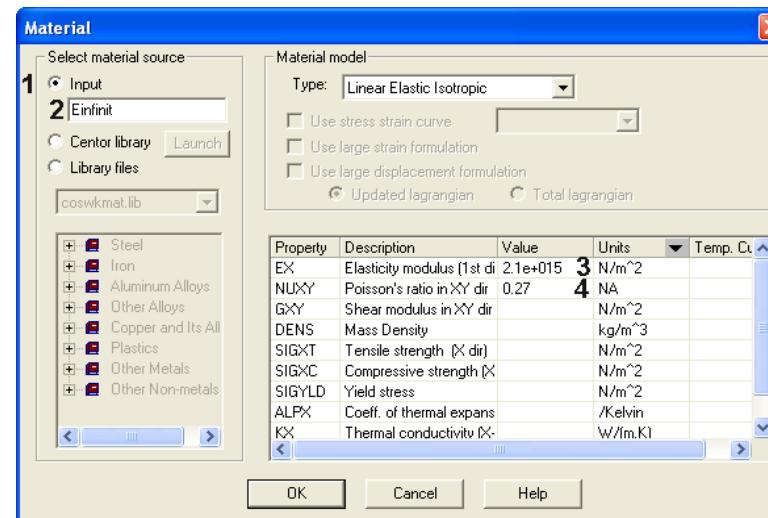


Figura 2.7.2

3. Din zona **Select Material Source**, se va selecta materialul **Alloy Steel**; caracteristicile acestuia se vor depune în câmpurile corespunzătoare.
4. În zona **Select Material Source**, se activează opțiunea **Input** (pasul 1), iar în câmpul asociat se introduce numele materialului „*Einfini*t” (pasul 2).
5. În câmpul caracteristicii **EX** (modul de elasticitate) se completează valoarea $2.1 E+015$ (pasul 3).
6. În câmpul caracteristicii **NUXY** (coeficientul lui Poisson) se completează valoarea 0.27 (pasul 4).
7. Butonul **OK** va închide procedura de definire și asignare a materialului, numele acestuia fiind asociat intrării **Disc** în zona **Visualizer**, intrare marcată prin semnul **✓**.

g) Aplicare efect de transparentă componentei manșon

Pentru a se putea distinge vizual componenta cilindrului, care este interioară manșonului, asupra acestuia din urmă se va aplica un efect de transparență, figura 2.7.3., procedura fiind următoarea:

1. Click stânga mouse pe intrarea **Part2** subordonată intrării **Components** din zona **Visualizer**; componenta manșon va fi afișată în zona grafică în culoarea de selecție.
2. Click stânga mouse pe icoana **Edit Color**  din trusa de instrumente **View**; dacă trusa nu este vizibilă, ea se poate activa din meniu principal în succesiunea **View**→**Toolbars**→**View**; va apărea fereastra **Color Property**.
3. Click stânga mouse pe butonul **Advanced** a ferestrei **Color Property**; va apărea fereastra **Lighting Properties**.
4. Se va poziționa slider-ul **Transparency** la valoarea medie a acestuia.
5. Se va finaliza procedura prin click stânga succesiv pe butoanele **OK** ale celor două ferestre.

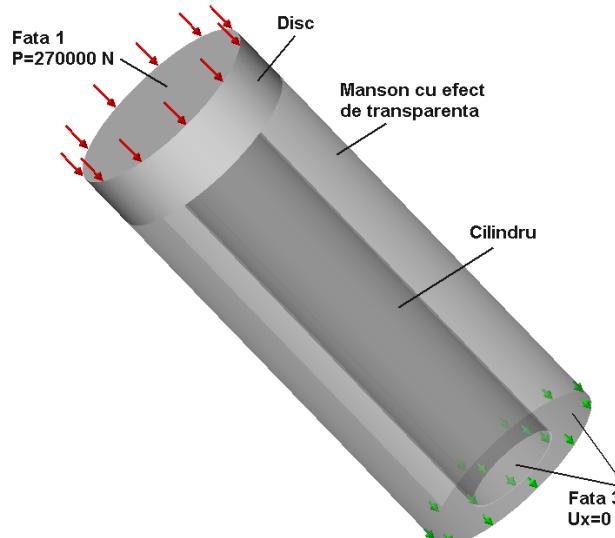


Figura 2.7.3

Consecința acestei proceduri va fi afișarea manșonului cu efect de transparență, datorită căreia cilindrul din interiorul manșonului devine vizibil.

h) Aplicarea restrângerilor și încărărilor

Ansamblul se va fixa se va fixa pe fețele 3 ale cilindrului și manșonului, lungimea acestora fiind orientată pe direcția X. Fixarea constă în anularea translatării pe direcția X, deci se va impune $U_x = 0$, iar forța $P = 270000$ N se aplică pe fața 1 a discului, figura 2.7.3.

Se vor parcurge etapele specificate în aplicația 2.1 paragraful g, cu următoarele modificări:

- restrângerea $U_x = 0$ se va aplica atât pe fața 3 a cilindrului, cât și pe fața 3 a manșonului (vezi figura 2.7.3); la selecția celei de-a doua fețe se menține apăsată tasta Ctrl;
- valoarea forței specificată în câmpul **Value** va fi 270000 N, cu semnul plus.

i) Definirea tipului de contact pe față 2

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Contact/Gaps** în zona **Visualizer**.
2. Se selectază opțiunea **Touching Faces: Bounded**.

j) Discretizarea în elemente finite

Se va parcurge procedura specificată în aplicația 2.1 paragraful h. ”. Se vor genera 54277 elemente finite cu 80771 noduri.

k) Calculul studiului de analiză statică

Se va parcurge procedura specificată în aplicația 2.1 paragraful i.

l) Explodare ansamblu în componente individuale

Pentru a vizualiza rezultatele pe fiecare componentă a ansamblului, acesta va fi explodat în componente. Prin explodarea se înțelege depărtarea la o distanță impusă a componentelor, astfel încât componenta și harta de culori asociată să fie vizibilă pentru fiecare componentă în parte, figura 2.7.4.

1. Click stânga mouse pe icoana **Asm Explode Mode**  din trusa de instrumente **Assembly Explode**; dacă trusa nu este vizibilă, ea se poate activa din meniu principal în succesiunea **View**→**Toolbars**→**Assembly Explode**; în trusa de instrumente se vor activa toate icoanele componente.
2. Click stânga mouse pe icoana **Move Components**  din trusa de instrumente **Assembly Explode**.
3. Click stânga pe numele componentei dorite subordonată intrării **Components** din zona **Visualizer** și deplasare cu butonul mouse menținut apăsat până la atingerea poziției dorite.
4. Se repetă pasul 3 pentru celelalte componente ale ansamblului.

m) Vizualizarea și interpretarea rezultatelor

Pentru a vizualiza variația tensiunii pe direcția X, procedura este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Stress – Plot** în zona **Visualizer**.
2. Se selectază opțiunea **Edit Definition....**. Se va activa fereastra **Stress Plot**.
3. În zona **Display** se vor selecta următoarele opțiuni:
 - din lista **Units** se va selecta unitatea de măsură **MPa**;

- din lista **Components** se va selecta mărimea **SX: Normal stress(X-dir)**;
- se va activa opțiunea de vizualizare **Fringe**, iar din lista **Fringe Type** se va selecta opțiunea **Filled, Tone**, dacă acestea nu sunt deja activate;
- se va activa zona **Settings**;
- se va dezactiva controlul **Show deformed shape with scale factor**.

4. Se va puncta butonul **OK**.

Variatia tensiunii pe direcția X este evidențiată în figura 2.7.4. Se observă valorile negative ale tensiunii corespunzătoare compresiunii, cuprinsă între valorile limită -17.72 respectiv -92.69 MPa, ultima valoare fiind obținută pe disc.

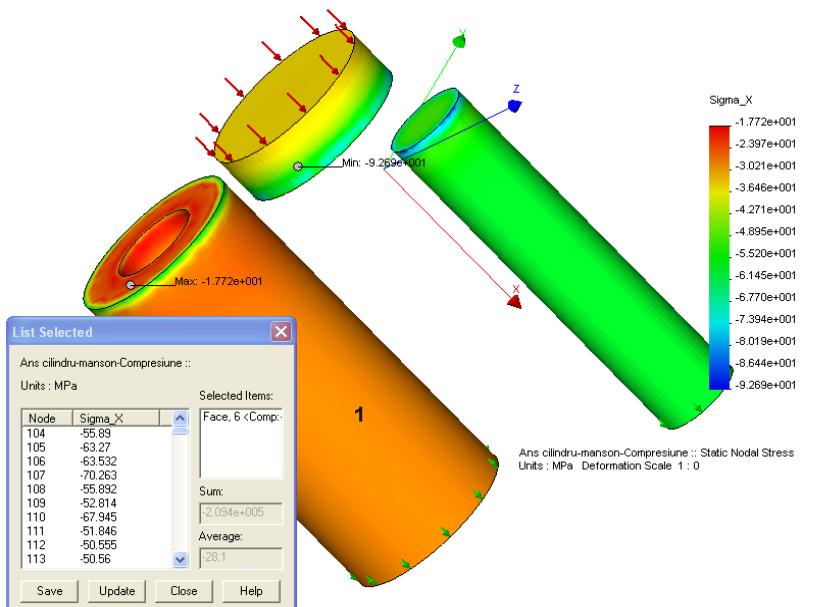


Figura 2.7.4

Pentru a obține valoarea mediată a tensiunii σ_x pe diferite fețe ale componentelor, se parcurg următoarele etape:

1. Se punctează icoana **List results by entity** din trusa de instrumente **Result Tools** sau se selectează **List results by entity** din opțiunea **Tools** a meniului.
2. Se va activa fereastra **List Selected**.
3. Prin click stânga mouse se selectează fața laterală a manșonului (punct 1).
4. Se punctează butonul **Update** din fereastra **List Selected**.
5. Zona stânga a ferestrei va fi populată cu identificatorul numeric al nodurilor (coloana **Node**) și cu valorile tensiunii acestora (coloana **Sigma_X**), pentru toate nodurile ce aparțin feței selectate; de asemenea câmpul **Average** oferă media tensiunii pentru fața selectată, care este egală cu -28.1 MPa, care este foarte apropiată de valoarea 27.862 MPa calculată analitic prin relația 2.6.9.

Repetarea procedurii pentru fața laterală a cilindrului oferă valoarea mediată a tensiunii egală cu -58.257 MPa, care este foarte apropiată de valoarea 58.511 MPa calculată analitic prin relația 2.6.8.

Repetarea procedurii pentru fața 2 a manșonului oferă valoarea mediată a tensiunii egală cu -30.445 MPa, care este foarte apropiată de valoarea 27.862 MPa calculată analitic prin relația 2.6.9.

Repetarea procedurii pentru fața 2 a cilindrului oferă valoarea mediată a tensiunii egală cu -60.251 MPa, care este foarte apropiată de valoarea 58.511 MPa calculată analitic prin relația 2.6.9.

Repetarea procedurii pentru fața 3 a manșonului oferă valoarea mediată a tensiunii egală cu -27.933 MPa, care este foarte apropiată de valoarea 27.862 MPa calculată analitic prin relația 2.6.9.

Repetarea procedurii pentru fața 3 a cilindrului oferă valoarea mediată a tensiunii egală cu -58.282 MPa, care este foarte apropiată de valoarea 58.511 MPa calculată analitic prin relația 2.6.9.

Rezultatele sunt sintetizate în tabelul 2.7.1.

Tabel 2.7.1

σ_x - Valori mediate [MPa]	Manșon	Cilindru
σ_x - Soluție analitică	-58.511	-27.862
σ_x - Soluție FEM - valoare mediata pe fața laterală	-58.257	-28.1
σ_x - Soluție FEM - valoare mediata pe fața 2	-60.251	-30.445
σ_x - Soluție FEM - valoare mediata pe fața 3	58.282	-27.933

Vizualizarea alungirii pe direcția X, implică următoarea procedură:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Displacement – Plot** în zona **Visualizer**.

2. Se selectează opțiunea **Edit Definition....**

3. Se va activa fereastra **Displacement Plot**.

4. În zona **Display** se vor selecta următoarele opțiuni:

- din lista **Units** se va selecta unitatea de măsură **mm**;
- din lista **Components** se va selecta mărimea **UX: Displacement (X-dir)**;
- activare opțiune **Fringe**, selecție **Filled, Tone** din lista **Fringe Type**;
- activare zona **Settings**;
- dezactivare control **Show deformed shape with scale factor**.

5. Se va puncta butonul **OK**.

Variatia alungirii pe direcția X este evidențiată în figura 2.7.5. Se observă valoarea maximală 0.0607 mm, precum și distribuția variabilă a acesteia în lungul barei, de la valoarea 0 pe fața 3, la valoarea maximă pe fața 2. Valoarea alungirii maxime coincide practic cu valoarea 0.061297 mm, calculată analitic prin relațiile 2.6.4 și 2.6.5. Valoarea maximală se obține pe fața 2 a cilindrului, manșonului și discului.

Pentru a determina valoarea reacției pe direcția X a feței 3 pentru cilindru respectiv manșon, procedura este următoarea:

1. Se va activa fereastra **Reaction Force**, figura 2.7.6, din meniul principal în succesiunea **Tools**→ **Reaction Force** sau prin punctarea icoanei **Reaction Force** din trusa de instrumente **Result Tools**.
2. Se selectează fața 3 a cilindrului prin click stânga mouse pe această față.
3. Se punctează butonul **Update**.

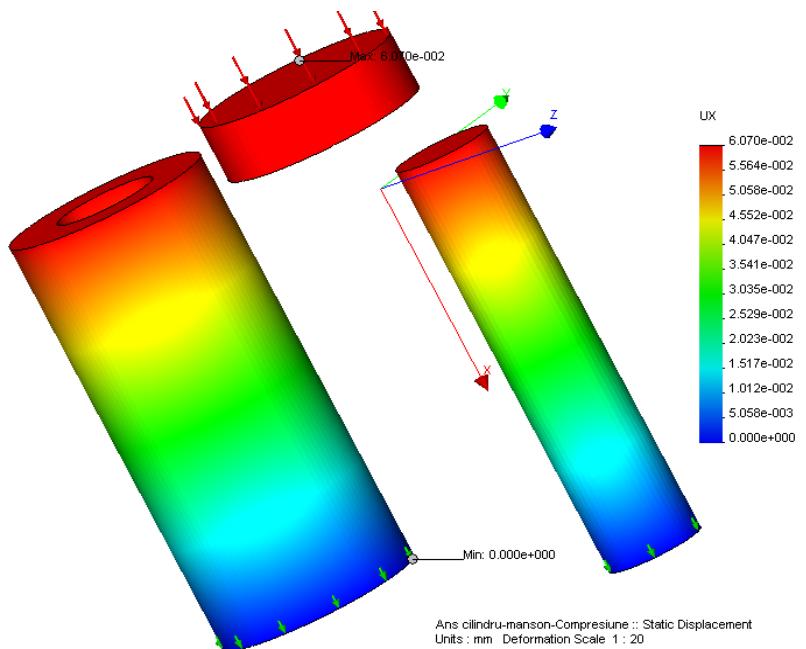


Figura 2.7.5

4. Valoarea reacțiunii pentru întregul model este evidențiată în fereastra **Reaction Force**, coloana **Entire Model**, figura 2.7.6. Se observă valoarea $-2.7 \text{ E}+005 \text{ N}$ pentru forța de reacție pe direcția X, semnul fiind minus, deoarece orientarea acestia este opusă direcției pozitive a axei X. Valoarea coincide cu forța totală de compresiune $P = 270000 \text{ N}$ aplicată pe fața 1 a discului. Reacționele pe direcția X corespunzătoare feței 3 a cilindrului are valoare $-1.0546 \text{ E}+005 \text{ N}$, coloana **Selection**, și coincide practic cu valoarea 1.0588×10^5 calculată analitic prin relația 2.6.2.
5. Repetând pașii 2 și 3 pentru fața 3 a mașonului rezultă reacționa pe direcția X corespunzătoare feței 3 a mașonului la valoare $-1.6454 \text{ E}+005 \text{ N}$, care coincide practic cu valoarea 1.6412×10^5 calculată analitic prin relația 2.6.3.

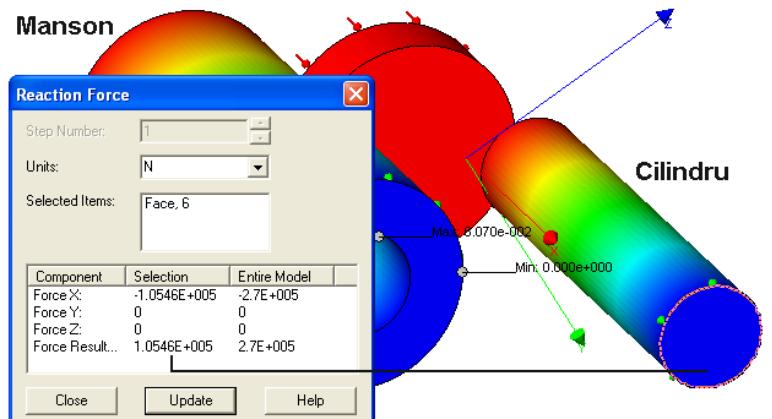


Figura 2.7.6

Rezultatele sunt sintetizate în tabelul 2.7.2.

Tabel 2.7.2

	Mașon	Cilindru
Alungire [mm] Δl - Soluție analitică	0.061297	0.061297
Alungire [mm] Δl - Soluție FEM	0.0607	0.0607
Reacțune totală [N] R_x - Soluție analitică		270000
Reacțune totală [N] R_x - Soluție FEM		$2.7\text{E}+005 \text{ N}$
Reacțune cilindru [N] R_x - Soluție analitică		1.0588×10^5
Reacțune cilindru [N] R_x - Soluție FEM		$1.0546 \text{ E}+005$
Reacțune mașon [N] R_x - Soluție analitică	1.6412×10^5	
Reacțune mașon [N] R_x - Soluție FEM	$1.6454 \text{ E}+005$	

În această variantă de analiză, componenta disc a fost neglijată pentru comparare cu soluția analitică. După cum rezultă din tabelele 2.7.1 și 2.7.2 valorile FEM coincid practic cu valorile calculate analitic.

Neglijarea componentei disc s-a concretizat prin atribuirea unei rigidități foarte mari, prin intermediul unui modul de elasticitate cu valoare ridicată, ceea ce a avut ca efect generarea aceleiași valori a deplasării cilindrului și a mașonului, deși ele au atribuite materiale diferite, respectiv cilindru – oțel, iar mașonul – alamă. În realitate, discul este construit din fontă, deci participă și el la compresiune, iar rezultatele vor suferi unele mici modificări. Scopul următorului studiu este de a evidenția aceste modificări.

n) Crearea unui nou studiu „Compresiune cu disc”

Se va crea un nou studiu de analiză, în care, discul va avea caracteristicile de material ale fontei. Se vor parcurge aceleași etape ca la procedura pentru studiul de analiză „Compresiune”, cu următoarele modificări:

- etapa **d** (importul geometriei) nu mai este necesară, geometria fiind deja importată în Cosmos Design Star în procedura anterioară;
- la etapa **e**, numele noului studiu va fi „Compresiune cu disc”;
- materialul, încărcările și discretizarea pot fi copiate de la studiul de analiză „Compresiune” la studiul „Compresiune cu disc”, prin agățare stânga mouse a numelui intrării din studiul „Compresiune”, deplasarea cursorului mouse și eliberarea butonului pe intrarea corespunzătoare din studiul „Compresiune cu disc”; desigur că o alternativă, dar mai lentă, ar fi redefinirea acestora.
- la etapa **f** pentru componenta **Disc** se vor parcurge etapele specificate în aplicația 2.1 paragraful f, din librăria de materiale selectându-se materialul **Malleable Cast Iron** din grupa de materiale **Iron**, cu următoarele caracteristici: modulul de elasticitate $E_2 = 1.9 \text{ E}+11 \text{ N/m}^2$, coeficientul lui Poisson $v = 0.27$.

o) Vizualizarea rezultatelor studiului „Compresiune cu disc”

Rezultatele corespunzătoare valorii medie a tensiunii σ_x pe diferite fețe ale componentelor, sunt prezentate grafic în figura 2.7.7 și sintetizate în tabelul 2.7.3.

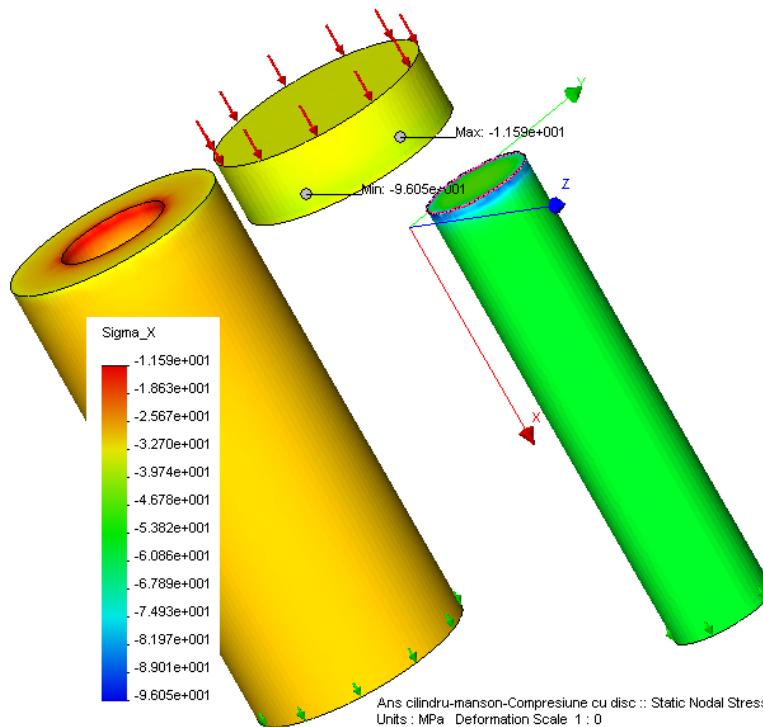


Figura 2.7.7

σ_x - Valori mediate [MPa]	Manșon	Cilindru	Disc
σ_x - Soluție analitică	-58.511	-27.862	-
σ_x - Soluție FEM - valoare mediata pe fața laterală	-57.787	-28.354	-35.428
σ_x - Soluție FEM - valoare mediata pe fața 2	-58.804	-28.309	-36.169
σ_x - Soluție FEM - valoare mediata pe fața 3	-56.936	-28.346	

Se observă că aceste valori nu diferă实质ial de cele calculate anterior și că se apropie foarte mult de cele calculate analitic.

Distribuția tensiunii pe o direcție diametrală pentru fața 2 a discului este prezentată în figura 2.7.8. Față de valoarea mediată 36.169 MPa, valorile limită se încadrează în domeniul 25 MPa...75 MPa. De asemenea se observă foarte clar amprenta cilindrului pe fața 2 a discului și saltul brusc de tensiune existent pe fața 2 a discului la frontieră dintre suprafața cilindrului și a manșonului.

Pentru trasarea graficului s-a urmat procedura descrisă la etapa n a aplicației 2.5.

Rezultatele alungirii și reacțiunii sunt sintetizate în tabelul 2.7.4.

Față de prima variantă, la care valorile alungirii erau identice pentru cilindru, manșon și disc, în această variantă se observă valorile diferite ale deplasărilor cilindrului și a manșonului; trasarea distribuției alungirii pe o direcție diametrală pentru fața 2 a discului din figura 2.7.9 evidențiază o zonă centrală cu alungire mai

mică, ce corespunde tensiunii mai mici din aceeași zonă centrală de contact cu cilindrul. Materialul cilindrului (otelul) este mai rigid decât al manșonului (alamă), deci alungirea cilindrului este mai mică decât a manșonului.

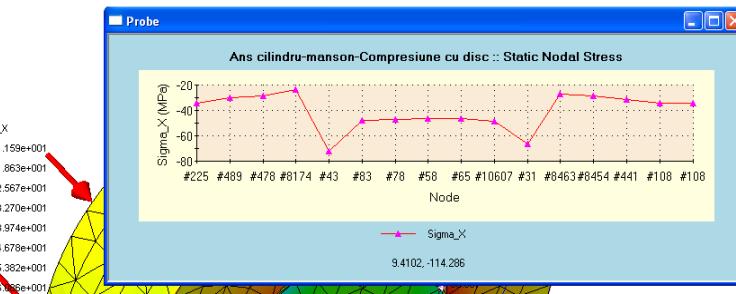


Figura 2.7.8

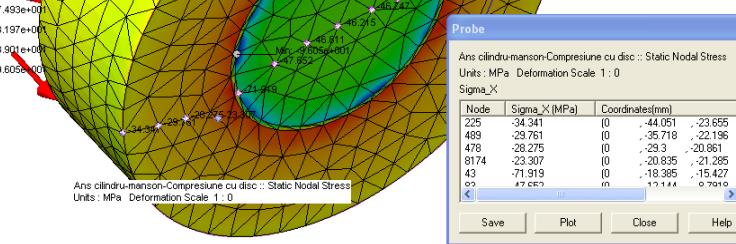
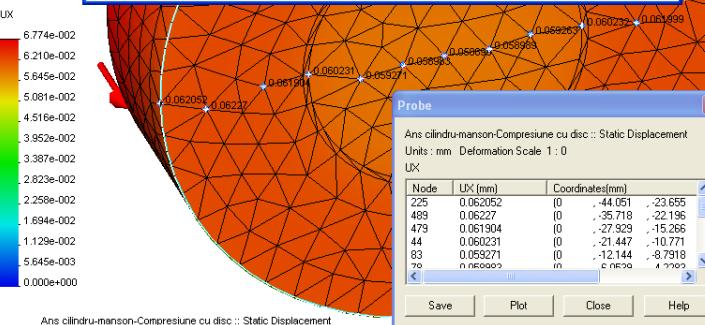


Figura 2.7.9



Tabel 2.7.4

	Manşon	Cilindru
Alungire [mm] Δl - Soluție analitică	0.061297	0.061297
Alungire [mm] Δl - Soluție FEM	0.061984	0.059563
Reacțune totală [N] R_x - Soluție analitică	270000	
Reacțune totală [N] R_x - Soluție FEM	2.7 E+005 N	
Reacțune cilindru [N] R_x - Soluție analitică		1.0588×10^5
Reacțune cilindru [N] R_x - Soluție FEM		1.0303 E+05
Reacțune manșon [N] R_x - Soluție analitică	1.6412×10^5	
Reacțune manșon [N] R_x - Soluție FEM	1.6697 E+05	

2.8. Întinderea unei bare sub efectul greutății proprii

a) Formularea problemei

Să se determine tensiunile și deplasările în bara din figura 2.8.1, de diametru $D = 100$ mm și lungime totală $L = 50.000$ mm, fixat pe față 1 și supus pe față 2 unei forțe $P = 100.000$ N. Materialul este oțel, cu modulul de elasticitate $E = 2.10 E+5$ MPa, coeficientul lui Poisson $v = 0.3$ și densitatea $\rho = 7.700$ kg/m³. Se va considera și efectul greutății proprii a barei. Accelerarea gravitațională se va lua 9.81 m/s².

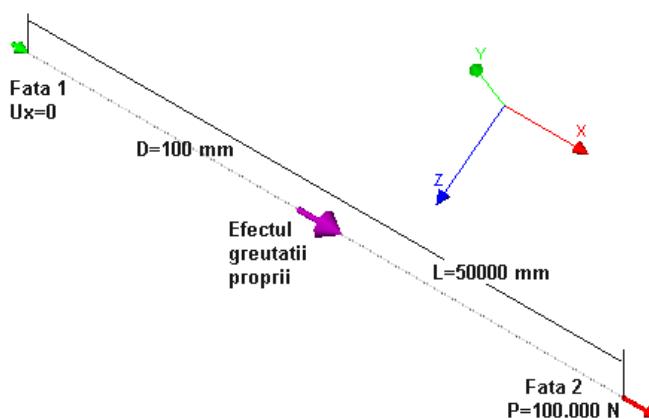


Figura 2.8.1

b) Obiectivele problemei

Obiectivele problemei sunt identice cu cele de la aplicația 2.1 punctul b.

c) Considerații teoretice

Tensiunea normală maximă se obține pe față 1:

$$\sigma_{\max} = \frac{P}{A} + \rho \cdot g \cdot L = 16.51 \text{ MPa} \quad [2.8.1]$$

Tensiunea normală pe față 2:

$$\sigma_{\max} = \frac{P}{A} = 12.73 \text{ MPa} \quad [2.8.2]$$

Alungirea maximă rezultă din relația:

$$\Delta l = \frac{l}{E \cdot A} (P + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot A \cdot l) = 3.48 \text{ mm} \quad [2.8.3]$$

unde aria secțiunii transversale A este:

$$A = \pi \cdot D^2 / 4 = 7853.98 \text{ mm}^2 \quad [2.8.4]$$

d) Importul geometriei în Cosmos Design Star

Modelul barei generate în Autodesk Inventor va fi importat în Design Star.

1. În Design Star, se selectează opțiunea **Open** din meniul **File**.
2. În lista **Look in** a ferestrei **Open** se locația directorului modelului 3D.
3. În lista **Files of type** se selectează **Autodesk Inventor Files (*.ipt, *.iam)**.
4. Dublu click stânga pe numele fișierului **2_8.ipt** va finaliza operația de import.

e) Crearea studiului de analiză „01”

Se vor parcurge etapele specificate în aplicația 2.1 paragraful e, cu modificarea numelui studiului, care va fi „01”.

f) Selectia materialului

Se vor parcurge etapele specificate în aplicația 2.1 paragraful f, selectându-se materialul **Alloy Steel**, cu caracteristicile enunțate la punctul a.

g) Aplicarea restrângerilor și încărcărilor

Se vor parcurge etapele specificate în aplicația 2.1 paragraful g, cu următoarele modificări:

- restrângerea $U_x = 0$ se va aplica pe față 1 (vezi figura 2.8.1);
- valoarea forței specificată în câmpul **Value** va fi 100000 N, cu semnul plus.

Pentru a include efectul greutății proprii a barei procedura este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Body Load....** Se va activa fereastra **Body Loads**.
3. Din lista **Body Load Type** se va selecta opțiunea **Linear Acceleration**, figura 2.8.2.
4. Din lista **Units** se va selecta opțiunea **m/s²**.
5. Deoarece conform orientării axelor direcția greutății proprii este orientată pe axa X, se puntează prin click stânga icoana direcției X și în câmpul asociat se introduce valoarea accelerării gravitaționale 9.81.
6. Butonul **OK** va încheia procedura de aplicare a încărcării. În centrul de greutate al modelului va apărea o săgeată orientată pe direcția X de culoarea magenta, iar în zona **Visualizer**, se va genera o nouă intrare **Body Force:1** subordonată intrării **Loads/BC**.

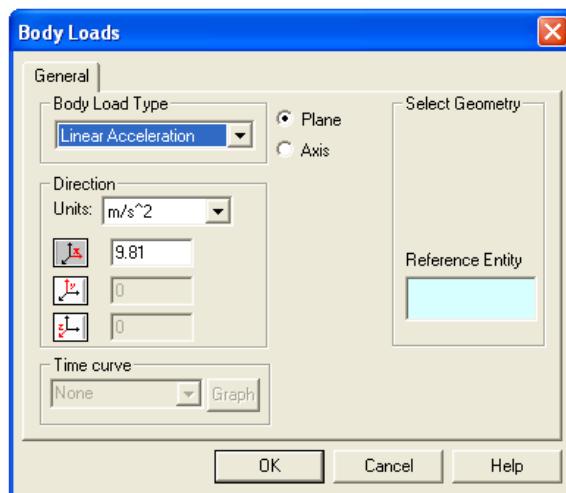


Figura 2.8.2

h) Discretizarea în elemente finite

Se va parcurge procedura specificată în aplicația 2.1 paragraful h. Se vor genera 12851 elemente finite cu 28674 noduri.

i) Calculul studiului de analiză statică

Se va parcurge procedura specificată în aplicația 2.1 paragraful i.

j) Vizualizarea și interpretarea rezultatelor

Pentru a vizualiza variația tensiunii pe direcția X, procedura este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Stress – Plot** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Edit Definition....**. Se va activa fereastra **Stress Plot**.
3. În zona **Display** se vor selecta următoarele opțiuni:
 - din lista **Units** se va selecta unitatea de măsură **MPa**;
 - din lista **Components** se va selecta mărimea **SX: Normal stress(X-dir)**;
 - se va activa opțiunea de vizualizare **Fringe**, iar din lista **Fringe Type** se va selecta opțiunea **Filled, Tone**, dacă acestea nu sunt deja activate;
 - se va activa zona **Settings**;
 - se va activa controlul **Show deformed shape with scale factor**.
4. Se va puncta butonul **OK**.

Variația tensiunii pe direcția X este evidențiată în figura 2.8.3. Se observă valoarea tensiunii maxime pe față 1: $\sigma_x = 16.62$ MPa, comparativ cu valoarea teoretică $\sigma_x = 16.51$ MPa rezultată prin relația 2.8.1. Pe față 2 rezultă valoarea tensiunii: $\sigma_x = 12.69$ MPa, comparativ cu valoarea teoretică $\sigma_x = 12.73$ MPa rezultată prin relația 2.8.2.

Vizualizarea alungirii pe direcția X, implică următoarea procedură:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Displacement – Plot** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Edit Definition....**

3. Se va activa fereastra **Displacement Plot**.

4. În zona **Display** se vor selecta următoarele opțiuni:
 - din lista **Units** se va selecta unitatea de măsură **mm**;
 - din lista **Components** se va selecta mărimea **UX: Displacement (X-dir)**;
 - activare opțiune **Fringe**, selecție **Filled, Tone** din lista **Fringe Type**;
 - activare zona **Settings**;
 - activare control **Show deformed shape with scale factor**.
5. Se va puncta butonul **OK**.

Variația alungirii pe direcția X este evidențiată în figura 2.8.4. Se observă valoarea maximală 3.488 mm, precum și distribuția variabilă a acesteia în lungul barei, de la valoarea 0 pe față 1, la valoarea maximă pe față 2. Valoarea alungirii maxime coincide practic cu valoarea 3.48 mm calculată analitic prin relația 2.8.3.

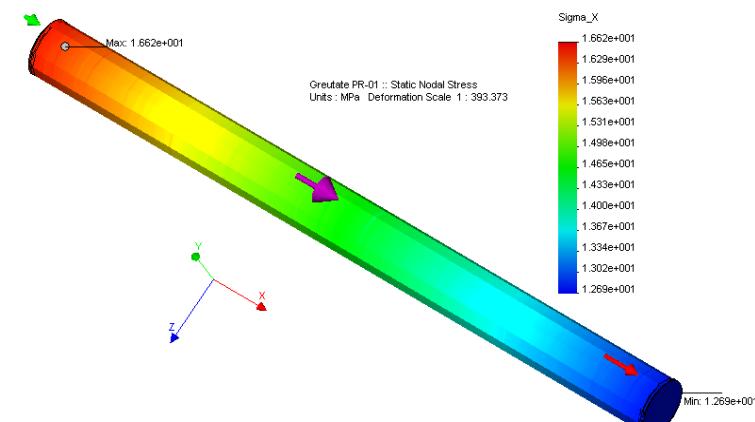


Figura 2.8.3

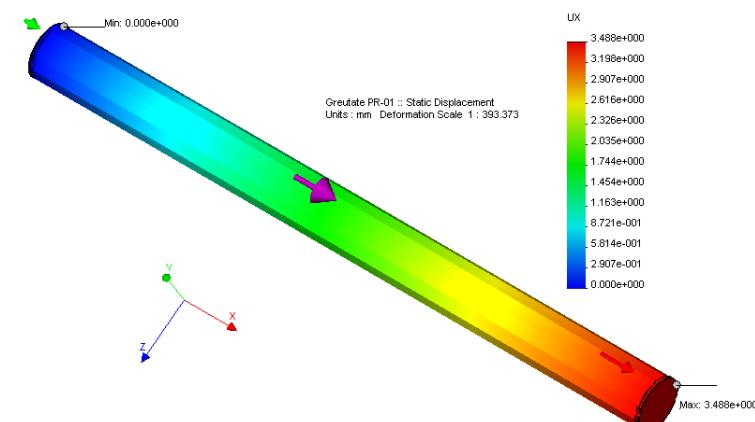


Figura 2.8.4

Observație: pentru a fi luat în considerare efectul greutății proprii, trebuie specificată o încărcare de tip **Body Load**, iar direcția accelerării gravitaționale poate fi specificată pe oricare din axele X, Y sau Z.

2.9. Întinderea unei bare de secțiune variabilă

a) Formularea problemei

Să se determine tensiunile și deplasările în bara din figura 2.9.1, de dimensiuni: $a = 40 \text{ mm}$, $b = 20 \text{ mm}$, grosime $g = 4 \text{ mm}$ și lungime totală $L = 2.000 \text{ mm}$, fixat pe fața 1 și supus pe fața 2 unei forțe de întindere $P = 10.000 \text{ N}$. Materialul este oțel, cu modulul de elasticitate $E = 2.10 \text{ E}+5 \text{ MPa}$ și coeficientul lui Poisson $\nu = 0.3$.

b) Obiectivele problemei

Obiectivele problemei sunt identice cu cele de la aplicația 2.1 punctul b, cu eliminarea etapei de import a geometriei, deoarece aceasta va fi generată în totalitate în Cosmos Design Star.

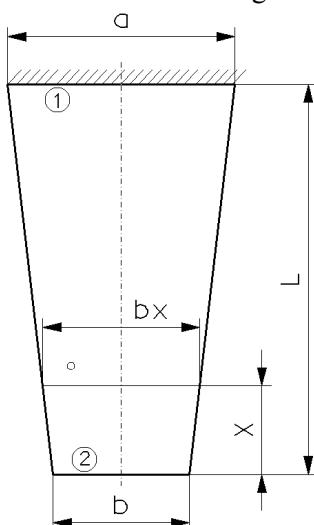


Figura 2.9.1

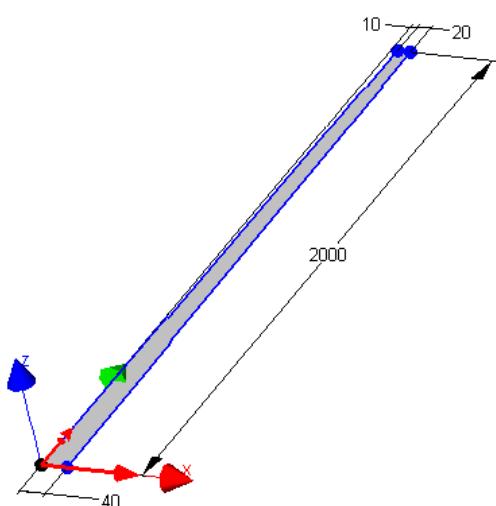


Figura 2.9.2

c) Considerații teoretice

Variatia tensiunii se obține prin relația:

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{P}{g \cdot b_x} = \frac{P}{g \cdot (20 + \frac{x}{100})} \quad [2.9.1]$$

cu valorile limită:

$$x = 0 \Rightarrow \sigma_2 = 125 \text{ MPa} \quad [2.9.2]$$

$$x = 2000 \Rightarrow \sigma_2 = 62.5 \text{ MPa} \quad [2.9.3]$$

Alungirea ΔL se calculează cu relația:

$$\Delta L = \frac{1}{E} \int_0^L \sigma \cdot dx = \frac{1}{E} \int_0^L \frac{P}{g \cdot \left(20 + \frac{x}{100}\right)} \cdot dx = 0.8252 \text{ mm} \quad [2.9.4]$$

d) Schițarea geometriei în Design Star

Geometria 2D din figura 2.9.2 va fi schițată în planul **Plane1** (XY), creat automat de către Design Star în locația **Reference Geometry** din **Visualizer** a interfeței Cosmos Design Star. Dacă numele acestui plan nu este vizibil, se expandează locația **Reference Geometry** prin click stânga mouse pe semnul "+" asociat acesteia.

Se vor activa următoarele truse de instrumente: **Sketch**, **Sketch Relations**, **Sketch Tools**, prin opțiunea corespunzătoare preluată din meniu principal în succesiunea **View**→**Toolbar**; trusele de instrumente se vor ancora pe marginea interfeței Design Star, deoarece conțin icoane specifice procesului de schițare a geometriei și vor fi utilizate în continuare. Procedura de lucru este următoarea:

1. Click stânga mouse pe **Plane1** în locația **Reference Geometry** din **Visualizer**;
2. Click stânga mouse pe icoana **Sketch** din trusa de instrumente **Sketch**;
3. Din trusa de instrumente **Orientation** se va selecta vedere **Front** pentru a privi din direcție perpendiculară pe planul de schițare;
4. Se puntează icoana **Grid** din trusa de instrumente **Sketch**; va apărea fereastra **Sketch Properties**, în care se vor specifica următoarele mărimi: unitatea de măsură **mm** din lista **Length**, se vor activa controalele **Display Grid** și **Snap to Points**;
5. Pentru trasarea muchiei „1”, prin comanda **Line** și se trasează o linie ce pleacă din origine pe direcția X+ de lungime arbitrară.;
6. Prin icoana **Dimension** se dimensionează linia la valoarea 40.
7. Pentru trasarea muchiei „2”, prin comanda **Line** și se trasează o linie în cadrul 1, paralelă cu axa X de lungime arbitrară.;
8. Prin icoana **Dimension** se dimensionează linia la valoarea 20.
9. Prin icoana **Dimension** se dimensionează poziția stânga a liniei la valoarea 10.
10. Se puntează icoana **Save and exit** se ieșe din schițarea geometriei, cu salvarea acesteia; în consecință, în locația **Sketch** din **Visualizer**, va apărea intrarea **Sketch1**, subordonată acesteia.

e) Crearea studiului de analiză

1. Click stânga mouse pe locația **Geometry** din **Visualizer**;
2. Din meniu contextual se va selecta opțiunea **Create sheet from sketches**;
3. Va apărea fereastra **Edit/Define Sheet from Sketches**.
4. Din lista **Base Sketch** se va selecta schița sursă a geometriei; în cazul de față este una singură și anume **Sketch1**.
5. Se puntează butonul **OK**; în consecință, în locația **Geometry** din **Visualizer**, va apărea intrarea **Sheet1**, subordonată acesteia, care constituie geometria supusă analizei cu element finit.
6. În **Visualizer** se va puncta prin buton dreapta numele fișierului localizat în partea superioară și se va accesa opțiunea **Study**;

7. Se va puncta icoana **Add**; apare fereastra **Study Name**;
8. În câmpul **New Study** se va scrie numele studiului **Studiu Shell**;
9. Din lista **Analysis Type** se va selecta opțiunea **Static**.
10. În zona **Mesh Type** se va selecta opțiunea **Shell**.
11. Se va puncta butonul **OK**; se va reveni în fereastra **Study**;
12. Se va puncta butonul **OK**; se va crea studiul;
13. Zona **Visualizer** va fi completată cu intrarea **Studiu Shell**, căreia îi vor fi subordonate intrările **Sheets**, **Loads/BC**, **Mesh** și **Report**. Intrarea **Sheets** are subordonată intrarea **Sheet1**.
14. În **Visualizer** se va puncta prin buton dreapta intrarea **Sheet1**; va apărea fereastra **Shell Options**;
15. Se vor completa următoarele: opțiunea **mm** în lista **Units** și valoarea 4 (grosimea) în câmpul **Value**; se va selecta opțiunea **Thin**.

f) Crearea studiului de analiză

Se vor parcurge etapele specificate în aplicația 2.1 paragraful f, selectându-se materialul **Alloy Steel**, cu caracteristicile enunțate la punctul a.

g) Aplicarea restrângerilor și încărcărilor

Se vor parcurge etapele specificate în aplicația 2.1 paragraful g, cu următoarele modificări:

- restrângerea $U_y = 0$ se va aplica pe muchia „1” (vezi figura 2.9.1);
- valoarea forței specificată în câmpul **Value** va fi -10000 N, aplicată pe muchia „2” (vezi figura 2.9.1).

h) Discretizarea în elemente finite

Se va parcurge procedura specificată în aplicația 2.1 paragraful h. ”. Se vor genera 2213 elemente finite cu 4982 noduri.

i) Calculul studiului de analiză statică

Se va parcurge procedura specificată în aplicația 2.1 paragraful i.

j) Vizualizarea și interpretarea rezultatelor

Pentru a vizualiza variația tensiuni S_Y și alungirii U_Y pe direcția Y, se urmează procedura de la aplicația 2.1 punctul j.

Variația tensiunii pe direcția Y este evidențiată în figura 2.9.3. Se observă valoarea tensiunii pe muchia „1”: $\sigma_Y = 61.67$ MPa, comparativ cu valoarea teoretică $\sigma_Y = 62.5$ MPa rezultată prin relația 2.9.2. Valoarea tensiunii pe muchia „2”: $\sigma_Y = 125.2$ MPa, comparativ cu valoarea teoretică $\sigma_Y = 125$ MPa rezultată prin relația 2.9.3.

Variația alungirii pe direcția Y este evidențiată în figura 2.9.4. Se observă valoarea maximală 0.8252 mm, precum și distribuția variabilă a acesteia în lungul barei, de la valoarea 0 pe muchia „1”, la valoarea maximă pe muchia „2”. Valoarea alungirii maxime coincide practic cu valoarea 0.8252 mm calculată analitic prin relația 2.9.4.

Modelarea cu elemente finite de tip **shell** are următoarele avantaje:

- posibilitatea generării geometriei direct în Cosmos Design Star;

- numărul de elemente finite generat este mult inferior față de varianta modelării solide a geometriei;
- calculul analizei se face mult mai rapid, iar precizia rezultatelor nu este afectată.

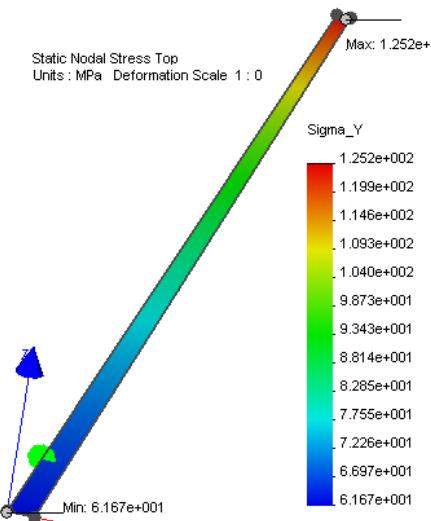


Figura 2.9.3

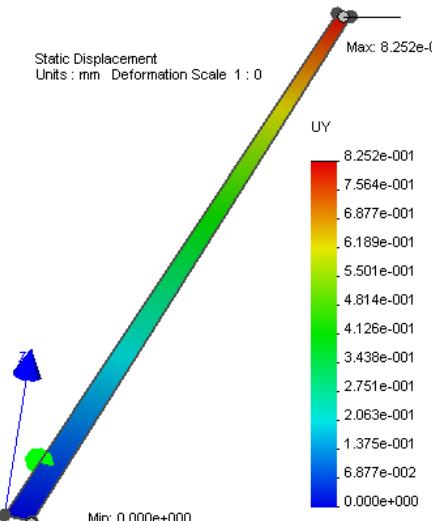


Figura 2.9.4

2.10. Încovoierea unei bare prismatice

a) Formularea problemei

Să se studieze încovoierea unei bare prismatice din oțel, cu modulul de elasticitate $E = 2.1 \times 10^5$ MPa și coeficientul lui Poisson $\nu = 0.3$, cu secțiunea transversală pătratică de latura $a = 85$ mm și lungime $L = 1000$ mm, încastrată la un capăt – față 1 și supusă succesiv următoarelor tipuri de încărcări:

- **Varianta 1** - forță $P = 10.000$ N aplicată la capătul opus încastrării – față 2;

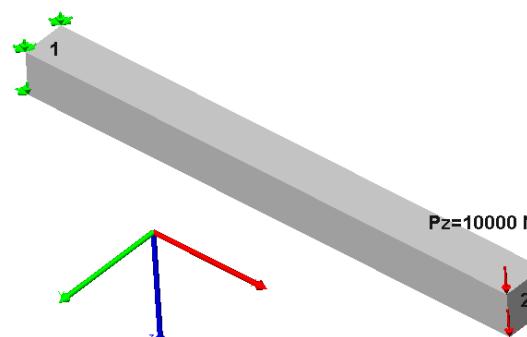


Figura 2.10.1

- Varianta 2** - moment încovoietor concentrat „ M_o ”, aplicat după axa Y+ a planului de referință și dispus la capătul opus încastrării, de valoare egală cu momentul generat de forța „P”;

$$M_o = P \cdot L = 10.000 \cdot 1 = 10^4 \text{ N} \cdot \text{m} \quad [2.10.1]$$

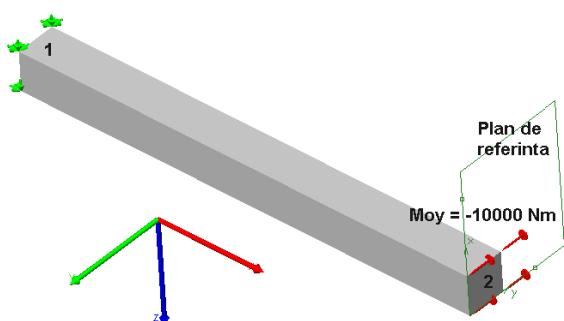


Figura 2.10.2

- Varianta 3** - presiune distribuită „p”, aplicată pe fața superioară a barei, a cărei valoare rezultă din echivalență cu momentul generat de forța „P”:

$$p \cdot (L \cdot a) \cdot \frac{L}{2} = P \cdot L \Rightarrow p = \frac{2 \cdot P}{L \cdot a} = \frac{2 \cdot 10^4}{1 \cdot 0.085} = 2.35 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 \quad [2.10.2]$$

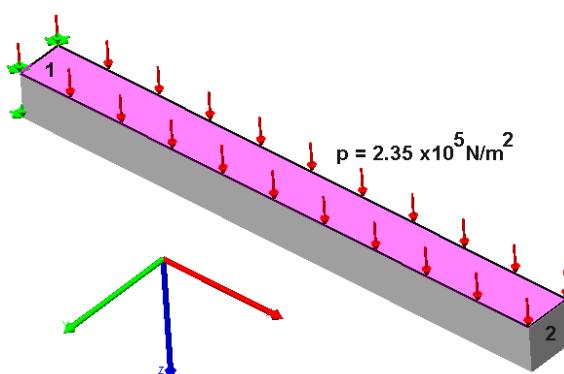


Figura 2.10.3

b) Obiectivele problemei

Obiectivele problemei sunt identice cu cele de la aplicația 2.1 punctul b.

c) Considerații teoretice

Pentru cele trei variante tensiunea maximă rezultă în încastrare prin relația:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{P \cdot L}{\frac{a^3}{6}} = 97.7 \text{ MPa} \quad [2.10.3]$$

iar deplasarea maximă în dreptul feței 2 rezultă din relațiile:

- Varianta 1

$$f = \frac{P \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot \frac{a^3}{12}} = 3.649 \text{ mm} \quad [2.10.4]$$

- Varianta 2

$$f = \frac{M_o \cdot L^2}{2 \cdot E \cdot \frac{a^3}{12}} = 5.473 \text{ mm} \quad [2.10.5]$$

- Varianta 3

$$f = \frac{(p \cdot a) \cdot L^4}{8 \cdot E \cdot \frac{a^3}{12}} = 2.737 \text{ mm} \quad [2.10.6]$$

În încastrare lungirea specifică rezultă prin relația:

$$\varepsilon = \frac{\sigma_{\max}}{E} = \frac{97.7}{2.1 \times 10^5} = 4.65 \times 10^{-4} \quad [2.10.7]$$

d) Importul geometriei în Cosmos Design Star

Modelul barei generate în Autodesk Inventor va fi importat în Design Star.

- În Design Star, se selectează opțiunea **Open** din meniu **File**.
- În lista **Look in** a ferestrei **Open** se locația directorului modelului 3D.
- În lista **Files of type** se selectează **Autodesk Inventor Files (*.ipt, *.iam)**.
- Dublu click stânga pe numele fișierului **2_10.ipt** va finaliza operația de import.

e) Crearea studiului de analiză „Incovoiere 01”

Se vor parcurge etapele specificate în aplicația 2.1 paragraful e, cu modificarea numelui studiului, care va fi „**Incovoiere 01**”.

f) Selectia materialului

Se vor parcurge etapele specificate în aplicația 2.1 paragraful f, selectându-se materialul **Alloy Steel**, cu caracteristicile enunțate la punctul a.

g) Aplicarea restrângerilor și încărcărilor

Bara se va încastra pe fața 1, lungimea acesteia fiind orientată pe direcția X. Fixarea constă în anularea translațiilor, iar forța $P = 10.000 \text{ N}$ se aplică pe față opusă. Procedura de aplicare a fixării este următoarea:

- Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
- Se selectează opțiunea **Restraint....** Se va activa fereastra **Restraint**.
- Din lista **Restrain Type** se va selecta opțiunea **Fixed**; prin acest tip de restrângere se anulează translațiile pe direcțiile X, Y, și Z.
- Se va selecta fața 1 prin click stânga mouse pe aceasta; identificatorul numeric al feței va apărea în zona **Select Geometry - Restrain Entity** a ferestrei **Restrain**. Pentru accesarea feței bara se poate roti prin icoana **Rotate**.
- Butonul **OK** va închide procedura de aplicare a restrângerii. Fața selectată ca sursă de aplicare a restrângerii va fi marcată prin săgeți direcționale de culoarea verde, iar în zona **Visualizer** se va genera o nouă intrare **Restrain:1** subordonată intrării **Loads/BC**.

Procedura de aplicare a încărcării este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Load....** Se va activa fereastra **Loads**.
3. Din lista **Load Type** se va selecta opțiunea **Force**.
4. Din lista **Units** se va selecta opțiunea **SI**, ceea ce va impune newton N ca unitatea de măsură a forței.
5. Se activează opțiunea **Directional**.
6. Se va puncta icoana direcției Z și se va introduce valoarea 10000 în câmpul asociat.
7. Se va selecta fața 2 prin click stânga mouse pe aceasta; identificatorul numeric al feței va apărea în zona **Select Geometry - Load Entity** a ferestrei **Loads**.
8. Butonul **OK** va închide procedura de aplicare a încărcării. Fața selectată ca sursă de aplicare a încărcării va fi marcată prin săgeți direcționale de culoare roșie, orientate pe direcția Z+, figura 2.10.1, iar în zona **Visualizer**, se va genera o nouă intrare **Load:1** subordonată intrării **Loads/BC**.

h) Discretizarea în elemente finite

Se va parcurge procedura specificată în aplicația 2.1 paragraful h. Se vor genera 5838 elemente finite cu 9617 noduri.

i) Calculul studiului de analiză statică

Se va parcurge procedura specificată în aplicația 2.1 paragraful i.

j) Vizualizarea și interpretarea rezultatelor

Pentru a vizualiza variația tensiunii Von Mises, procedura este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Stress – Plot** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Edit Definition....** Se va activa fereastra **Stress Plot**.
3. În zona **Display** se vor selecta următoarele opțiuni:
 - din lista **Units** se va selecta unitatea de măsură **MPa**;
 - din lista **Components** se va selecta mărimea **VON: von Mises stress**;
 - se va activa opțiunea de vizualizare **Fringe**, iar din lista **Fringe Type** se va selecta opțiunea **Filled, Tone**, dacă acestea nu sunt deja activate;
 - se va activa zona **Settings**;
 - se va activa controlul **Show deformed shape with scale factor**.
4. Se va puncta butonul **OK**.

Variația tensiunii Von Mises este evidențiată în figura 2.10.4. Se observă valoarea tensiunii maxime pe față 1: $\sigma_{VonMises} = 101.8$ MPa, comparativ cu valoarea teoretică $\sigma_{max} = 97.7$ MPa rezultată prin relația 2.10.3 și descrește până la valoarea aproape nulă pe față 2.

Vizualizarea deplasării pe direcția Z, implică parcurgerea procedurii detaliate la aplicația 2.1 punctul j, cu diferența că în lista **Components** se va selecta mărimea **UZ: Displacement (Z-dir)**.

Variația deplasării pe deplasării Z este evidențiată în figura 2.10.5. Se observă distribuția variabilă a acesteia în lungul barei, de la valoarea 0 pe față 1, la valoarea maximă 3.649 mm pe față 2, care coincide cu valoarea 3.6498 mm calculată analitic prin relația 2.10.4.

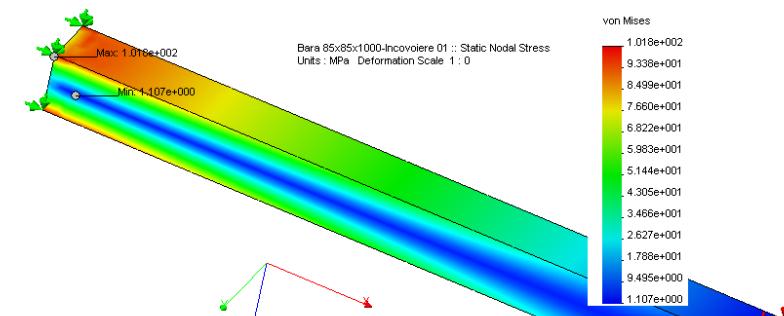


Figura 2.10.4

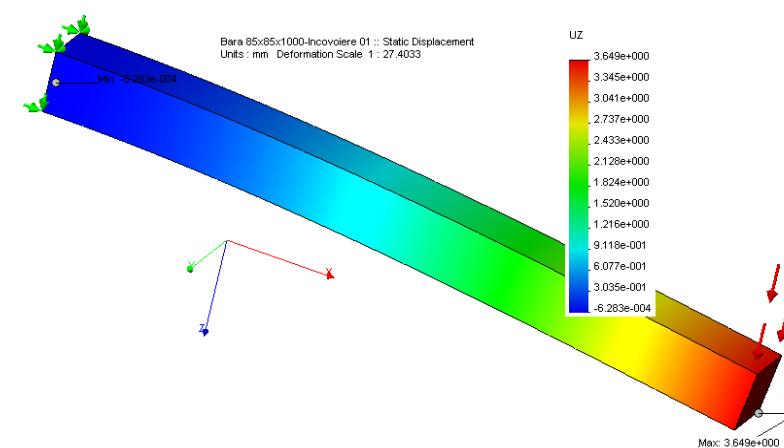


Figura 2.10.5

Vizualizarea lungirii specifice pe direcția X implică parcurgerea procedurii:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Strain – Plot** în zona **Visualizer**. Se selectează opțiunea **Edit Definition....** Se va activa fereastra **Strain Plot**.
2. În zona **Display** se vor selecta următoarele opțiuni:
 - din lista **Components** se va selecta mărimea **EPSX: Normal Strain in X Direction**;
 - se va activa opțiunea de vizualizare **Fringe**, dacă nu este deja activă;
 - din lista **Fringe Type** se va selecta opțiunea **Filled, Tone**.
3. Se va puncta butonul **OK**.

Variația lungirii specifice pe direcția X este evidențiată în figura 2.10.6. Se observă valoarea maximală 4.151×10^{-4} pe fibra superioară corespunzătoare zonei de întindere și valoarea -4.199×10^{-4} pe fibra inferioară corespunzătoare zonei de compresiune a barei, comparativ cu valoarea 4.65×10^{-4} calculată teoretic prin relația 2.10.7.

k) Crearea unui nou studiu „Incovoiere 02”

Se va crea un nou studiu de analiză, în care, se va aplica momentul încovoielor „Mo”. Se vor parcurge aceleși etape ca la procedura pentru studiu de analiză „Incovoiere 01”, cu următoarele modificări:

- etapa **d** (importul geometriei) nu mai este necesară, geometria fiind deja importată în Cosmos Design Star în procedura anterioară;
- la etapa **e**, numele noului studiu va fi „**Incovoiere 02**”;
- materialul, restrângerea de fixare și discretizarea pot fi copiate de la studiul de analiză „**Incovoiere 01**” la studiul „**Incovoiere 02**”, prin agățare stânga mouse a numelui intrării din studiul „**Incovoiere 01**”, deplasarea cursorului mouse și eliberarea butonului pe intrarea corespunzătoare din studiul „**Incovoiere 02**”; desigur că o alternativă, dar mai lentă, ar fi redefinirea acestora.

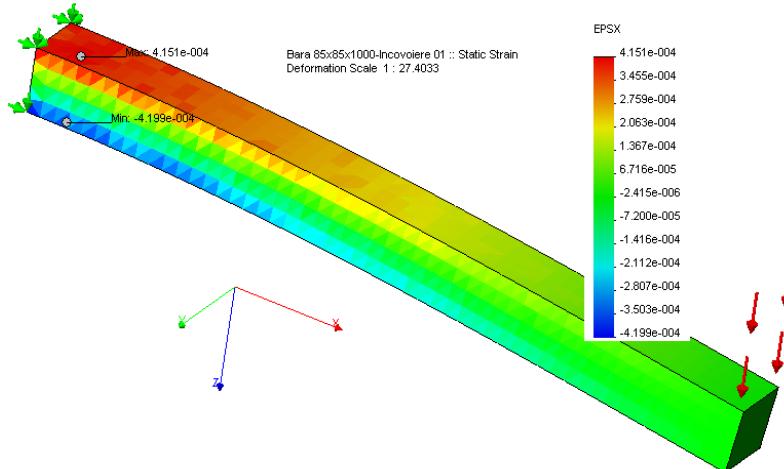


Figura 2.10.6

D Definirea unui plan de referință

Momentele nu pot fi aplicate direct pe fața solidelor, deoarece solidele nu au decât trei grade de libertate – translațiile pe cele trei direcții, rotațiile fiind disponibile ca și grade de libertate numai la elemente de tip **shell**. Din acest motiv, metoda corectă de aplicare a unui moment pe fața unui solid este prin intermediul unei încărcări la distanță în varianta Direct Transfer (cap. 1, & 1.12.6). Trebuie creat un plan de referință cu orientare corectă (una din axele planului trebuie să fie coliniară cu direcția de aplicare a momentului); originea planului este importantă numai la aplicarea de forțe la distanță; pentru aplicarea de momente originea este indiferentă deoarece va fi utilizată numai orientarea planului.

Pentru aplicația prezentă, se va defini un plan de referință paralel cu fața 2, figura 2.10.2. Procedura de definire a planului de referință este următoarea.

1. Se va selecta fața 2, noul plan creat va fi paralel cu această față.
2. Click dreapta mouse pe intrarea **Reference Geometry...** în zona **Visualizer**. Se selectează opțiunea **Plane...**. Se va activa fereastra **Plane**.
3. Deoarece distanța de paralelism între planul sursă selectat inițial și cel care se va crea nu este importantă pentru aplicarea de momente, în câmpul **Offset** se va introduce valoarea 0.
4. Se punctă butonul **OK**.

m) Aplicarea momentului încovoietor pentru varianta 2

Momentul concentrat de valoare $M_0=10000 \text{ Nm}$ se va aplica pe direcția Y+ a planului de referință pe față 2, prin următoarea procedură:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Remote Load....** Se va activa fereastra **Remote Loads**, figura 2.10.7.
3. Din lista **Remote Load Type** se va selecta opțiunea **Load (Direct Transfer)**.
4. Din lista **Momentes - Units** se va selecta opțiunea **Nm**.
5. Se va puncta icoana direcției Y și se va introduce valoarea 10000 în câmpul asociat.
6. Se va selecta fața 2 prin click stânga mouse pe aceasta; identificatorul numeric al feței va apărea în zona **Select Geometry - Load Entity** a ferestrei **Loads**.
7. Se va selecta planul de referință; identificatorul numeric al acestuia va apărea în zona **Select Geometry - Reference Entity** a ferestrei **Remote Load**.
8. Butonul **OK** va încheia procedura de aplicare a încărcării. Momentul va fi marcată prin săgeți direcționale de culoare roșie, orientate pe direcția Y+, iar în zona **Visualizer**, se va genera o nouă intrare **Remote Load:1** subordonată intrării **Loads/BC**.

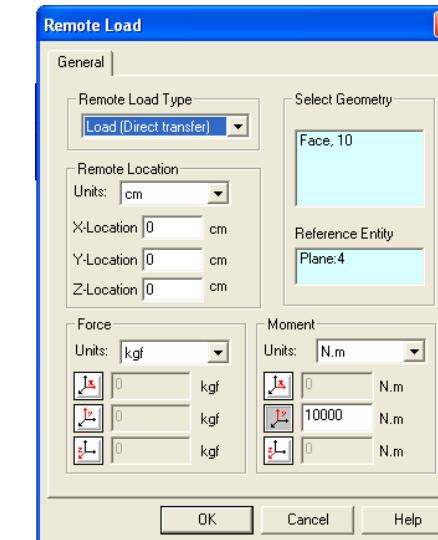


Figura 2.10.7

n) Vizualizarea și interpretarea rezultatelor pentru studiul „Incovoiere 02”

După calculul analizei, se va urma procedura de la punctul **j** pentru a vizualiza variația tensiunii Von Mises, figura 2.10.8. Valoarea mediată a tensiunii rezultă prin următoarele etape:

1. Se punctează icoana **List results by entity** din trusa de instrumente **Result Tools** sau se selectează **List results by entity** din opțiunea **Tools** a meniului.
2. Se va activa fereastra **List Selected**.
3. Se selectează fața superioară a barei, prin click stânga mouse.
4. Se punctează butonul **Update** din fereastra **List Selected**.

5. Zona stânga a ferestrei va fi populată cu identificatorul numeric al nodurilor (coloana **Node**) și cu valorile tensiunii acestora (coloana **Sigma_X**), pentru toate nodurile ce aparțin feței selectate; de asemenea câmpul **Average** oferă media tensiunii pentru față selectată, care este egală cu 97.337 MPa, care coincide practic cu valoarea calculată analitic prin relația 2.10.3. Pentru față inferioară media tensiunii este de 97.327 MPa.

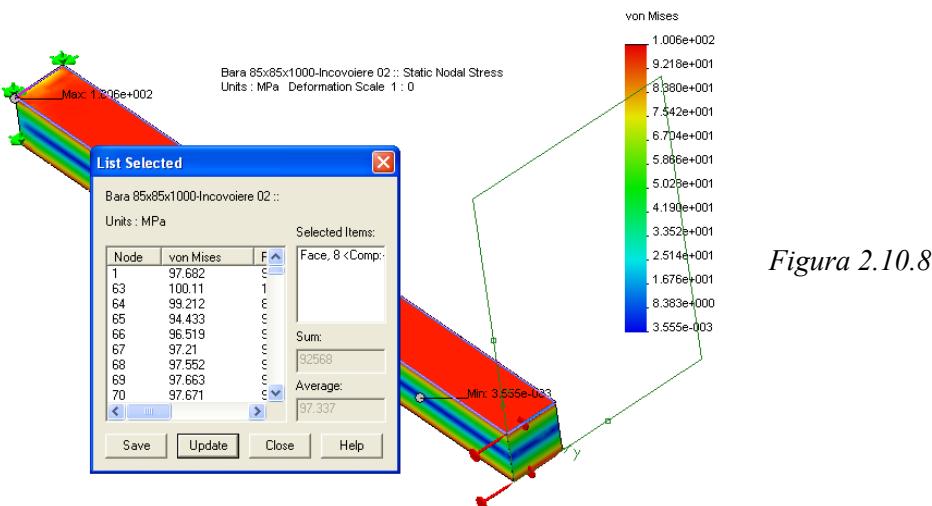


Figura 2.10.8

Se va urma procedura de la punctul j pentru a vizualiza variația deplasării pe direcția Z, figura 2.10.9. Se observă distribuția variabilă a acesteia în lungul barei, de la valoarea 0 pe față 1, la valoarea maximă 5.455 mm pe față 2, foarte apropiată de valoarea 5.473 mm calculată analitic prin relația 2.10.5.

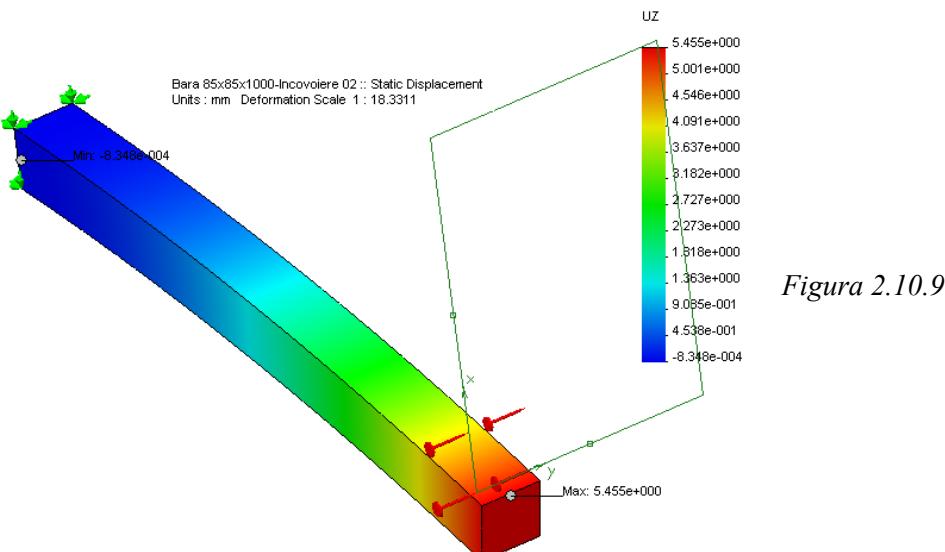


Figura 2.10.9

o) Crearea unui nou studiu „Incovoiere 03”

Se va crea un nou studiu de analiză, în care, se va aplica presiunea distribuită $p = 2.35 \times 10^5 \text{ N/m}^2$. Se vor parcurge aceleși etape ca la procedura pentru studiul de analiză „Incovoiere 01”, cu următoarele modificări:

- etapa d (importul geometriei) nu mai este necesară, geometria fiind deja importată în Cosmos Design Star în procedura anterioară;
- la etapa e, numele noului studiu va fi „**Incovoiere 02**”;
- materialul, restrângerea de fixare și discretizarea pot fi copiate de la studiul de analiză „**Incovoiere 01**” la studiul „**Incovoiere 03**”, prin agățare stânga mouse a numelui intrării din studiul „**Incovoiere 01**”, deplasarea cursorului mouse și eliberarea butonului pe intrarea corespunzătoare din studiul „**Incovoiere 03**”; desigur că o alternativă, dar mai lentă, ar fi redefinirea acestora.

p) Aplicarea presiunii distribuite pentru studiul „Incovoiere 03”

Procedura de aplicare a presiunii distribuite $p = 2.35 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
2. Se selectază opțiunea **Load....** Se va activa fereastra **Loads**.
3. Din lista **Load Type** se va selecta opțiunea **Uniform Pressure**.
4. Din lista **Units** se va selecta opțiunea **SI**.
5. Se activează opțiunea **Normal**.
6. În câmpul **Value** se introduce valoarea $2.35 \text{ E}5$.
7. Se va selecta față superioară a barei prin click stânga mouse pe aceasta; identificatorul numeric al feței va apărea în zona **Select Geometry - Load Entity** a ferestrei **Loads**.
8. Butonul **OK** va încheia procedura de aplicare a încărcării. Față selectată ca sursă de aplicare a încărcării va fi marcată prin săgeți direcționale de culoare roșie, iar în zona **Visualizer**, se va genera o nouă intrare **Load:1** subordonată intrării **Loads/BC**.

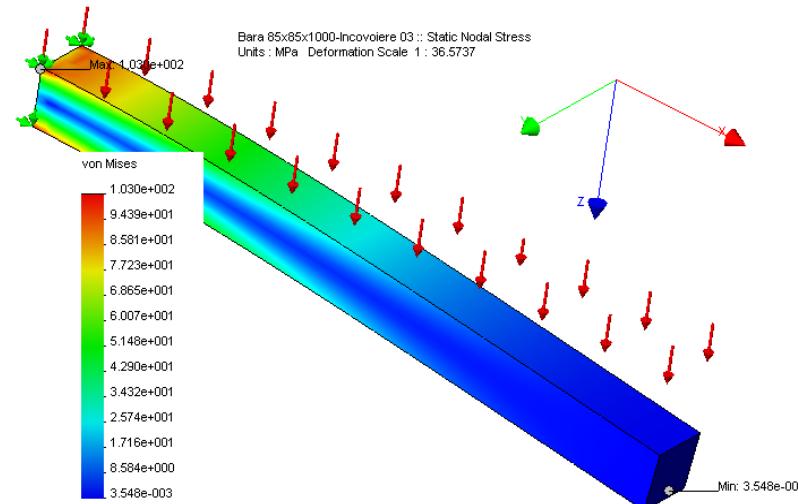


Figura 2.10.10

g) Vizualizarea și interpretarea rezultatelor pentru studiul „Incovoiere 03”

După calculul analizei, se va urma procedura de la punctul j pentru a vizualiza variația tensiunii Von Mises, figura 2.10.10. Se observă distribuția variabilă a acesteia în lungul barei, de la valoarea 0 pe fața 2, la valoarea maximă 103 MPa pe față 1, foarte apropiată de valoarea 97.337 MPa, care coincide practic cu valoarea calculată analitic prin relația 2.10.3.

Se va urma procedura de la punctul j pentru a vizualiza variația deplasării pe direcția Z, figura 2.10.11. Se observă distribuția variabilă a acesteia în lungul barei, de la valoarea 0 pe fața 2, la valoarea maximă 2.734 mm pe față 1, foarte apropiată de valoarea 2.737 mm calculată analitic prin relația 2.10.6.

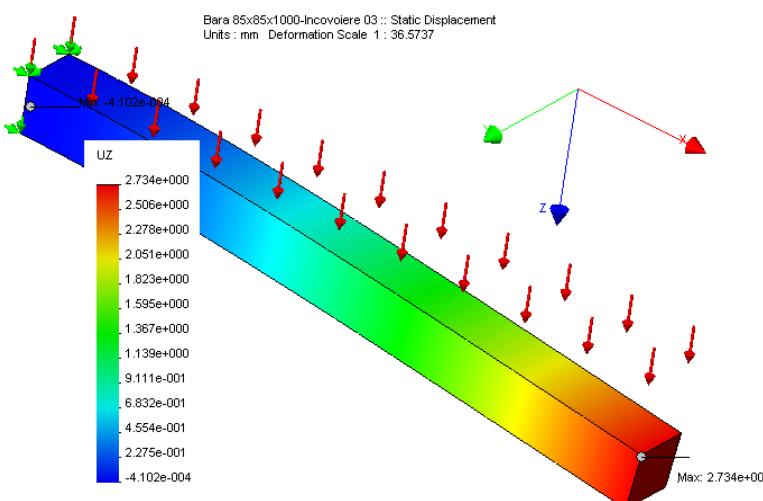


Figura 2.10.11

2.11. Încovoierea unei bare prismatice cu multiple încărcări

a) Formularea problemei

Să se studieze încovoierea unei bare prismatice din oțel, cu modulul de elasticitate $E = 2.1 \text{ E}+5 \text{ MPa}$ și coeficientul lui Poisson $\nu = 0.3$, cu secțiunea transversală patratică de latura $a = 85 \text{ mm}$ și lungime $L = 1000 \text{ mm}$, încastrată la un capăt – față 1 și la care se aplică simultan două încărcări $P = 10.000 \text{ N}$ pe muchiile 2 și 3, situate la 500 mm respectiv 1000 mm de față 1, figura 2.11.1

b) Obiectivele problemei

Obiectivele problemei sunt identice cu cele de la aplicația 2.1 punctul b.

c) Considerații teoretice

Tensiunea maximă rezultă în încastrare (față 1) prin relația:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{P \cdot L + P \cdot L/2}{a^3 / 6} = 146.55 \text{ MPa} \quad [2.11.1]$$

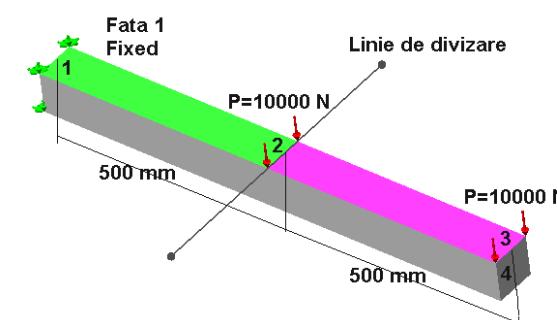


Figura 2.11.1

iar deplasarea maximă rezultă, în dreptul feței 4, din relația:

$$f = \frac{21}{48} \cdot \frac{P \cdot L^3}{E \cdot I} = 4.79 \text{ mm} \quad [2.11.2]$$

Fața superioară rezultă din geometria modelului ca o singură entitate. Pentru a se putea aplica forță pe muchia 2, această muchie trebuie creată, prin divizarea feței superioare în două fețe în dreptul liniei de divizare. Această operație se va efectua în Cosmos Design Star.

d) Importul geometriei în Cosmos Design Star

Modelul barei generate în Autodesk Inventor va fi importat în Design Star.

1. În Design Star, se selectează opțiunea **Open** din meniul **File**.
2. În lista **Look in** a ferestrei **Open** se locația directorului modelului 3D.
3. În lista **Files of type** se selectează **Autodesk Inventor Files (*.ipt, *.iam)**.
4. Dublu click stânga pe numele fișierului **2_11.ipt** va finaliza operația de import.

e) Crearea studiului de analiză „Incovoiere 01”

Se vor parurge etapele specificate în aplicația 2.1 paragraful e, cu modificarea numelui studiului, care va fi „**Incovoiere 04**”.

f) Selectia materialului

Se vor parurge etapele specificate în aplicația 2.1 paragraful f, selectându-se materialul **Alloy Steel**, cu caracteristicile enunțate la punctul a.

g) Trasarea liniei de divizare

Schițarea liniei de divizare se va realiza în planul **Plane1**, creat automat de către Design Star în locația **Reference Geometry** din **Visualizer** a interfeței Cosmos Design Star. Dacă numele acestui plan nu este vizibil, se expandează locația **Reference Geometry** prin click stânga mouse pe semnul “+” asociat acesteia. Se vor activa următoarele truse de instrumente: **Sketch**, **Sketch Relations**, **Sketch Tools**, prin opțiunea corespunzătoare preluată din meniu principal în succesiunea **View→Toolbar**.

Procedura de lucru este următoarea:

1. Click stânga mouse pe **Plane1** în locația **Reference Geometry** din **Visualizer**;
2. Click stânga mouse pe icoana **Sketch** din trusa de instrumente **Sketch**;
3. Din trusa de instrumente **Orientation** se va selecta vederea **Front** pentru a privi din direcție perpendiculară pe planul de schițare;

4. Se puntează icoana **Grid** din trusa de instrumente **Sketch**; va apărea fereastra **Sketch Properties**, în care se vor specifica următoarele mărimi: unitatea de măsură **mm** din lista **Length**, se vor dezactiva controalele **Display Grid** și **Snap to Points**;
5. Prin comanda **Line** și se trasează o linie mărime și poziție orientată după direcția Y;
6. Prin icoana **Dimension** se dimensionează poziția liniei la cota 500 față de originea sistemului, figura 2.11.2.
7. Se puntează icoana **Save and exit** se ieșe din schițarea geometriei, cu salvarea acesteia; în consecință, în locația **Sketch** din **Visualizer**, va apărea intrarea **Sketch 1**, subordonată acesteia.

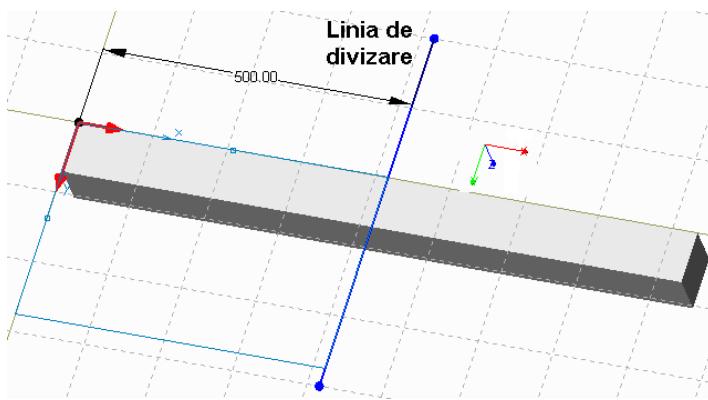


Figura 2.11.2

h) Divizarea suprafeței superioare în două fețe

Linia de divizare se va utiliza pentru a diviza suprafața superioară în două fețe, astfel se va crea muchia 2 pentru aplicarea forței. Procedura este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe **Part1** din locația **Geometry** din zona **Visualizer**;
2. Selectie opțiune **Edit/Define Geometry**; va apărea fereastra **Imprint on Solid/Sheet Geometry**, figura 2.11.3.
3. Se selectează fața superioară; numele acesteia apare în zona **Selected faces**;
4. Din lista **Options** se selectează opțiunea **Imprint** din dreptul schiței **Sketch 1**;
5. Butonul **OK** va finaliza procedura; proiecția liniei de divizare pe fața superioară va diviza această față în două fețe, figura 2.11.3.

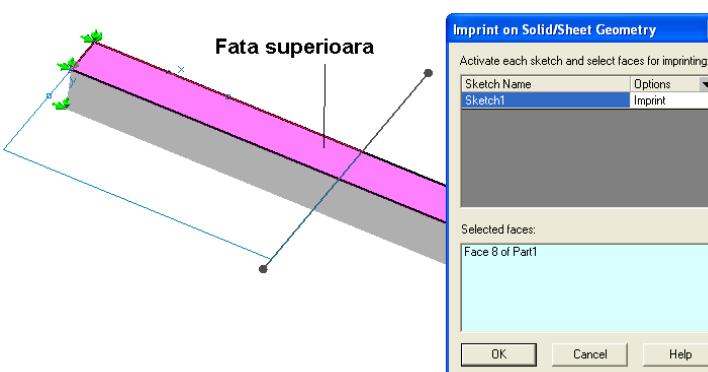


Figura 2.11.3

i) Aplicarea restrângerilor și încărcărilor

Bara se va îンcastra pe față 1, lungimea acesteia fiind orientată pe direcția X. Fixarea constă în anularea translațiilor, iar forțele P = 10.000 N se aplică pe față muchiile 2 și 3. Procedura de aplicare a fixării este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Restraint....** Se va activa fereastra **Restraint**.
3. Din lista **Restrain Type** se va selecta opțiunea **Fixed**.
4. Se va selecta față 1 prin click stânga mouse pe aceasta; identificatorul numeric al feței va apărea în zona **Select Geometry - Restrain Entity**.
5. Butonul **OK** va încheia procedura de aplicare a restrângerii. Față selectată ca sursă de aplicare a restrângerii va fi marcată prin săgeți direcționale de culoarea verde, iar în zona **Visualizer**, se va genera o nouă intrare **Restrain:1** subordonată intrării **Loads/BC**.

Procedura de aplicare a încărcărilor este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Load....** Se va activa fereastra **Loads**.
3. Din lista **Load Type** se va selecta opțiunea **Force**.
4. Din lista **Units** se va selecta opțiunea **SI**, ceea ce va impune newton N ca unitate de măsură a forței.
5. Se activează opțiunea **Directional**.
6. Se va puncta icoana direcției Z și se va introduce valoarea 10000 în câmpul asociat.
7. Se va selecta muchia 2 prin click stânga mouse pe aceasta;
8. Cu tasta **Ctrl** apăsată se va selecta muchia 3 prin click stânga mouse pe aceasta;
9. Identificatorul numeric al muchiilor va apărea în zona **Select Geometry - Load Entity** a ferestrei **Loads**.
10. Butonul **OK** va încheia procedura de aplicare a încărcărilor. Muchiile selectate pentru aplicarea încărcărilor vor fi marcate prin săgeți direcționale de culoarea roșie, orientate pe direcția Z+, figura 2.11.1, iar în zona **Visualizer**, se va genera o nouă intrare **Load:1** subordonată intrării **Loads/BC**.

j) Discretizarea în elemente finite

Se va parcurge procedura specificată în aplicația 2.1 paragraful h. Se vor genera 5914 elemente finite cu 9726 noduri.

k) Calculul studiului de analiză statică

Se va parcurge procedura specificată în aplicația 2.1 paragraful i.

D) Vizualizarea și interpretarea rezultatelor

Pentru a vizualiza variația tensiunii Von Mises, se parcurge procedura de la punctul j aplicația 2.9.

Variația tensiunii Von Mises este evidențiată în figura 2.11.4. Se observă valoarea tensiunii maxime pe față 1: $\sigma_{VonMises} = 152,5 \text{ MPa}$, comparativ cu valoarea teoretică $\sigma_{max} = 146,55 \text{ MPa}$ rezultată prin relația 2.11.1 și descrește până la valoarea aproape nulă pe față 4.

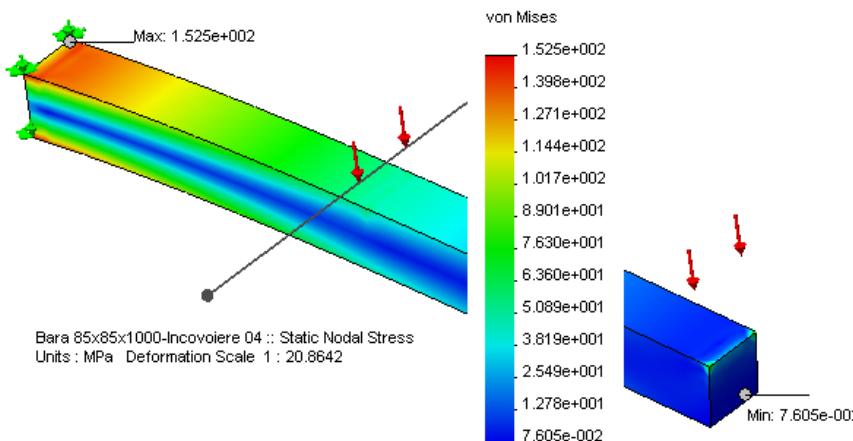


Figura 2.11.4

Pentru a vizualiza variația deplasării, se parcurge procedura de la punctul j aplicația 2.9, figura 2.11.5. Se observă valoarea deplasării maxime pe fața 4: 4.802 mm, comparativ cu valoarea teoretică 4,79 mm, rezultată prin relația 2.11.2 și descrește până la valoarea nulă pe fața 1.

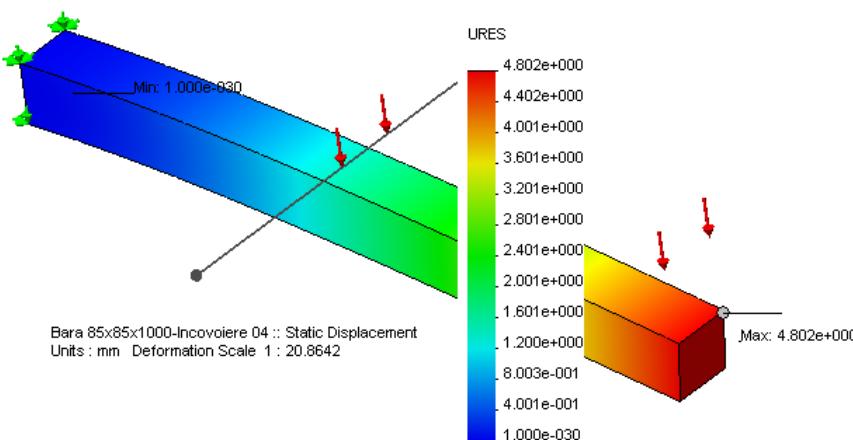


Figura 2.11.5

2.12. Torsiunea unui cilindru

a) Formularea problemei

Să se studieze torsiunea unui cilindru, cu diametrul $d = 50$ mm, lungimea $L = 100$ mm, modulul de elasticitate $E = 2.1 \times 10^5$ MPa și coeficientul lui Poisson $\nu = 0.3$, încastrat la un capăt – fața 1 și la care se aplică un moment de torsiune pe fața 2: $M_o = 2450$ Nm, figura 2.12.1.

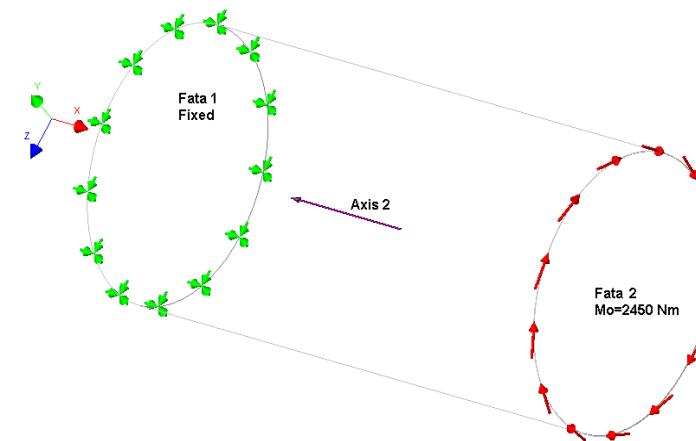


Figura 2.12.1

b) Obiectivele problemei

Obiectivele problemei sunt identice cu cele de la aplicația 2.1 punctul b.

c) Considerații teoretice

Tensiunea tangențială rezultă prin relația:

$$\tau_{\max} = \frac{M_o}{W_p} = \frac{M_o}{\frac{\pi \cdot d^3}{16}} = 99.82 \text{ MPa} \quad [2.12.1]$$

d) Importul geometriei în Cosmos Design Star

Modelul barei generate în Autodesk Inventor va fi importat în Design Star.

1. În Design Star, se selectează opțiunea **Open** din meniul **File**.
2. În lista **Look in** a ferestrei **Open** se căuta directorul modelului 3D.
3. În lista **Files of type** se selectează **Autodesk Inventor Files (*.ipt, *.iam)**.
4. Dublu click stânga pe numele fișierului **2_12.ipt** va finaliza operația de import.

e) Crearea studiului de analiză „Torsiune 01”

Se vor parcurge etapele specificate în aplicația 2.1 paragraful e, cu modificarea numelui studiului, care va fi „**Torsiune 01**”.

f) Selectia materialului

Se vor parcurge etapele specificate în aplicația 2.1 paragraful f, selectându-se materialul **Alloy Steel**, cu caracteristicile enunțate la punctul a.

g) Definirea axei „Axis2”

La aplicarea momentului de torsiune este necesară specificarea unei axe de referință în raport cu care se va considera torsiunea. Această axă constituie geometrie referință și va fi definită ca axă a cilindrului. Procedura este următoarea:

1. Click dreapta pe intrarea **Reference Geometry** din **Visualizer**;
2. Selectie opțiune **Axis**; va apărea fereastra **Axis**;

3. Se va selecta suprafața laterală a cilindrului; noua axă generată va avea direcția și orientarea axei cilindrului;
4. Butonul **OK** va încheia procedura de generare a axei;
5. Se va genera o nouă intrare **Axis:2**, subordonată intrării **Reference Geometry** din **Visualizer**.

h) Aplicarea restrângerilor și încărcărilor

Bara se va încastra pe față 1, lungimea acesteia fiind orientată pe direcția X. Fixarea constă în anularea translațiilor, iar momentul de torsiune se aplică pe față 2. Procedura de aplicare a fixării este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Restraint....** Se va activa fereastra **Restraint**.
3. Din lista **Restrain Type** se va selecta opțiunea **Fixed**.
4. Se va selecta față 1 prin click stânga mouse pe aceasta; identificatorul numeric al feței va apărea în zona **Select Geometry - Restrain Entity**.
5. Butonul **OK** va încheia procedura de aplicare a restrângerii. Față selectată ca sursă de aplicare a restrângerii va fi marcată prin săgeți direcționale de culoare verde, iar în zona **Visualizer**, se va genera o nouă intrare **Restrain:1** subordonată intrării **Loads/BC**.

Procedura de aplicare a momentului de torsiune este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Load....** Se va activa fereastra **Loads**.
3. Din lista **Load Type** se va selecta opțiunea **Torque**.
4. Din lista **Units** se va selecta opțiunea **SI**. Momentul se va introduce în Nm.
5. Se va introduce valoarea **2450** în câmpul **Value**.
6. Se va selecta față 2 a cilindrului prin click stânga mouse pe aceasta; identificatorul numeric al feței va fi afișat în zona **Select Geometry – Load Entity**.
7. Din zona **Visualizer - Reference Geometry** sau din zona grafică se va selecta axa **Axis:2** prin click stânga mouse pe aceasta; identificatorul numeric al feței va fi afișat în zona **Select Geometry – Reference Entity**.
8. Butonul **OK** va încheia procedura de aplicare a momentului. Față selectată pentru aplicarea momentului va fi marcată prin săgeți direcționale de culoare roșie, orientate pe direcția torsioniui figura 2.12.1, iar în zona **Visualizer**, se va genera o nouă intrare **Load:1** subordonată intrării **Loads/BC**.

i) Discretizarea în elemente finite

Se va parcurge procedura specificată în aplicația 2.1 paragraful h. Se vor genera 7563 elemente finite cu 11325 noduri.

j) Calculul studiului de analiză statică

Se va parcurge procedura specificată în aplicația 2.1 paragraful i.

k) Vizualizarea și interpretarea rezultatelor

Vizualizarea tensiunii tangențiale pe model, se parcurge procedura:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Stress – Plot** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Edit Definition....** Se va activa fereastra **Stress Plot**.

3. În zona **Display** se vor selecta următoarele opțiuni, figura 2.12.2:

- din lista **Units** se va selecta unitatea de măsură **MPa**;
- din lista **Components** se va selecta mărimea **TXY: Shear stress(XY Plane)**;
- se va activa opțiunea **Node Values**, dacă nu este deja activă;
- se va activa opțiunea de vizualizare **Fringe**, dacă nu este deja activă;
- din lista **Fringe Type** se va selecta opțiunea **Filled, Tone**.

4. Pentru zona **Settings** se va activa opțiunea **Show deformed shape with scale factor**.
5. Se va puncta butonul **OK**.

Variatia tensiunii tangențiale în planul XY τ_{xy} este evidențiată în figura 2.12.2. Se observă valoarea maximală 100.4 MPa pe fibra întinsă și valoarea -100.4 MPa pe fibra comprimată, precum și distribuția constantă a acesteia în lungul barei. Valoarea teoretică rezultată din relația 2.12.1 este de 99.82 MPa, deci valorile sunt practic identice.

La vizualizarea valorii tensiunii tangențiale în planul XZ τ_{xz} , valorile sunt identice, distribuția acestora fiind simetrică față de tensiunea în planul XY, respectând dualitatea acestor eforturi.

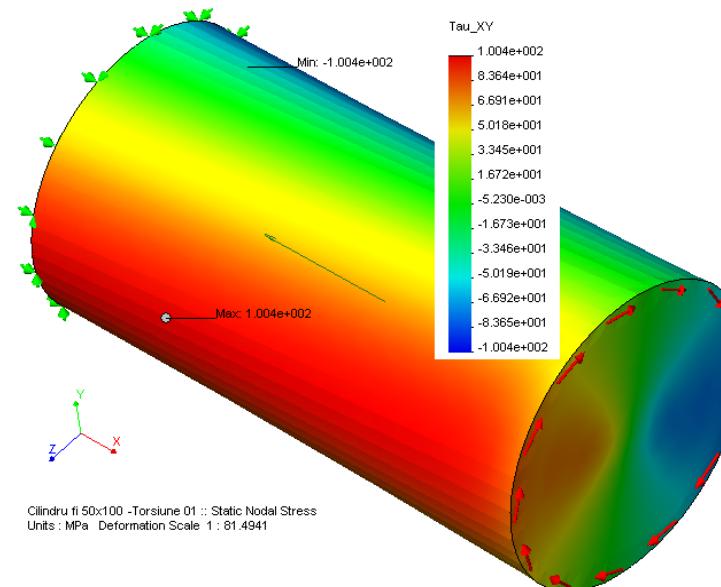


Figura 2.12.2

Pentru a vizualiza variația tensiunii tangențiale pe o secțiune specificată, procedura este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Stress – Plot** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Edit Definition....** Se va activa fereastra **Stress Plot**.
3. În zona **Display** se vor selecta următoarele opțiuni:
 - din lista **Units** se va selecta unitatea de măsură **MPa**;
 - din lista **Components** se va selecta mărimea **TXY: Shear stress(XY Plane)**;
 - se va activa opțiunea **Node Values**, dacă nu este deja activă;

- se va activa opțiunea de vizualizare **Section**;
 - din lista **Fringe Type** se va selecta opțiunea **Filled, Tone**.
 - în câmpul **No. of Sections** (numărul de secțiuni) se va introduce valoarea 1, dar pot fi specificate mai multe plane (maxim 6).
4. Pentru zona **Settings** se va dezactiva opțiunea **Show deformed shape with scale factor**.
5. Se va puncta butonul **OK**.
6. Se va activa zona grafică prin click stânga mouse.
7. Se va puncta icoana **Clipping**; va apărea fereastra **Section Clipping**.
8. Se va deplasa slider-ul X spre la valoarea 0.
9. Se va deplasa slider-ul Y spre la valoarea 1.

Rezultatul este prezentat în figura 2.12.3.

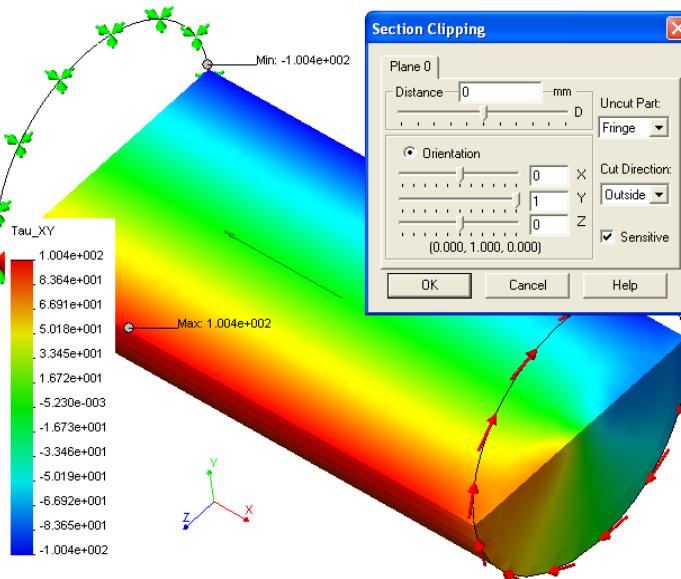


Figura 2.12.3

Dacă din lista **Cut Direction** se selectează opțiunea **Both** secțiunea se va reduce la foaia planului de secționare. Modificând valoarea slider-ului asociat câmpului **Distance** sau specificând numeric o valoare în acest câmp, poziția planului se deplasează în model. Dacă butonul **Sensitive** este activat, modificarea parametrilor anteriori actualizează dinamic poziția secțiunii.

Dacă numărul de secțiuni definit în fereastra **Stress Plot** este mai mare decât 1, atunci vor fi generate mai multe secțiuni, pentru fiecare dintre acestea parametrii pot fi specificați independent, obținând astfel o vizualizare multiplă a secțiunilor pe un model solid.

Cilindrul a fost modelat ca solid, iar discretizarea s-a realizat cu elemente finite solide. În Cosmos Design Star momentele de torsiune nu se pot aplica decât pe fețelor, iar elementele finite solide nu au decât 3 grade de libertate și anume translațiile pe cele trei direcții principale (& 1.13.2.1). Gradele de libertate corespunzătoare ro-

tațiilor nu există pentru elemente solide, ci numai pentru elemente **shell**. Din acest motiv nu se pot calcula rotațiile generate prin torsiune.

Din figura 2.12.2 se observă o evazare a capătului cilindrului către fața 2. Acest efect se datorează faptului că fiecare nod poate avea numai translații liniare, rotațiile nefiind considerate pentru solide. Astfel, sub efectul aplicării momentului, fiecare nod se va deplasa numai pe direcție lineară, tangențial la cercul pe care este dispus nodul. Consecința finală va fi efectul de expansiune menționat anterior.

Acest efect nu este real, ci este o consecință a modului de alocare a gradelor de libertate pentru elemente solide în Cosmos Design Star. Dacă deplasările evazării sunt mici, atunci rezultatele pot fi considerate valide. În caz contrar, trebuie efectuată o analiză de tip neliniar.

2.13. Torsiunea unei bare prismatice

a) Formularea problemei

Să se studieze torsionea unei bare prismatice, cu dimensiunile $h = 150$ mm, $b = 100$ mm, lungimea $L = 2000$ mm, modulul de elasticitate $E = 2.1 \text{ E}+5$ MPa și coeficientul lui Poisson $\nu = 0.3$, încastrat la un capăt – față 1 și la care se aplică un moment de torsiune pe fața 2: $M_o = 10000$ Nm, figura 2.13.1.

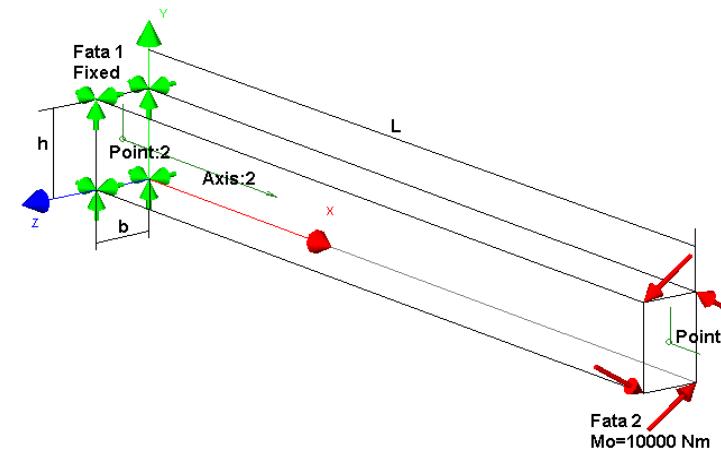


Figura 2.13.1

b) Obiectivele problemei

Obiectivele problemei sunt identice cu cele de la aplicația 2.1 punctul b.

c) Considerații teoretice

Tensiunea tangențială rezultă prin relațiile:

$$\tau_{xy} = \frac{M_o}{k_1 \cdot h \cdot b^2} = \frac{10^7}{0.231 \cdot 150 \cdot 100^2} = 28.9 \text{ MPa} \quad [2.13.1]$$

$$\tau_{xz} = k_2 \cdot \tau_{xy} = 0.86 \cdot \tau_{xy} = 24.8 \text{ MPa} \quad [2.13.2]$$

d) Importul geometriei în Cosmos Design Star

- Modelul barei generate în Autodesk Inventor va fi importat în Design Star.
1. În Design Star, se selectează opțiunea **Open** din meniu **File**.
 2. În lista **Look in** a ferestrei **Open** se căuta directorul modelului 3D.
 3. În lista **Files of type** se selectează **Autodesk Inventor Files (*.ipt, *.iam)**.
 4. Dublu click stânga pe numele fișierului **2_13.ipt** va finaliza operația de import.

e) Crearea studiului de analiză „Torsiune 01”

Se vor parcurge etapele specificate în aplicația 2.1 paragraful e, cu modificarea numelui studiului, care va fi „**Torsiune 01**”.

f) Selectia materialului

Se vor parcurge etapele specificate în aplicația 2.1 paragraful f, selectându-se materialul **Alloy Steel**, cu caracteristicile enunțate la punctul a.

g) Definirea axei „Axis2”

La aplicarea momentului de torsiune este necesară specificarea unei axe de referință în raport cu care se va considera torsiunea. Această axă constituie geometrie referință și va fi definită ca axă ce va trece prin două puncte referință. Din modelarea piesei, originea sistemului a rezultat pe față 1 ca în figura 2.13.1. Funcție de acest sistem cele două puncte referință vor avea coordonatele astfel ca axa de referință să fie simetrică; astfel, **Point: 2** va avea coordonatele (0, 75, 50), iar **Point: 3** va avea coordonatele (2000, 75, 50). Procedura de definire a punctelor și a axei de referință este următoarea:

1. Click dreapta pe intrarea **Reference Geometry** din **Visualizer**;
2. Selecție opțiune **Point**; va apărea fereastra **Point**;
3. În câmpurile X, Y și Z se introduc valorile 0, 75, 50;
4. Se va puncta butonul **OK**; în intrarea **Reference Geometry** va apărea subordonată intrarea **Point:2**;
5. Selecție opțiune **Point**; va apărea fereastra **Point**;
6. În câmpurile X, Y și Z se introduc valorile 2000, 75, 50;
7. Se va puncta butonul **OK**; în intrarea **Reference Geometry** va apărea subordonată intrarea **Point:3**;
8. Selecție opțiune **Axis**; va apărea fereastra **Axis**;
9. Se vor selecta cele două puncte anterior definite, direct din zona grafică sau din zona **Reference Geometry** din **Visualizer**; noua axă generată va fi definită de cele două puncte;
10. Butonul **OK** va încheia procedura de generare a axei;
11. Se va genera o nouă intrare **Axis:2**, subordonată intrării **Reference Geometry** din **Visualizer**.

h) Aplicarea restrângerilor și încărcărilor

Bara se va îンcastră pe față 1, lungimea acesteia fiind orientată pe direcția X. Fixarea constă în anularea translațiilor, iar momentul de torsiune se aplică pe față 2. Procedura de aplicare a fixării este identică cu cea de la aplicația 2.12, punctul h.

Procedura de aplicare a momentului de torsiune este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Load....** Se va activa fereastra **Loads**.
3. Din lista **Load Type** se va selecta opțiunea **Torque**.
4. Din lista **Units** se va selecta opțiunea **SI**. Momentul se va introduce în Nm.
5. Se va introduce valoarea **10000** în câmpul **Value**.
6. Se va selecta față 2 a cilindrului prin click stânga mouse pe aceasta; identificatorul numeric al feței va fi afișat în zona **Select Geometry – Load Entity**.
7. Din zona **Visualizer - Reference Geometry** sau din zona grafică se va selecta axa **Axis:2** prin click stânga mouse pe aceasta; identificatorul numeric al feței va fi afișat în zona **Select Geometry – Reference Entity**.
8. Butonul **OK** va încheia procedura de aplicare a momentului. Față selectată pentru aplicarea momentului va fi marcată prin săgeți direcționale de culoare roșie, orientate pe direcția torsiunii figura 2.13.1, iar în zona **Visualizer**, se va genera o nouă intrare **Load:1** subordonată intrării **Loads/BC**.

i) Discretizarea în elemente finite

Se va parcurge procedura specificată în aplicația 2.1 paragraful h. Se vor genera 6143 elemente finite cu 10422 noduri.

j) Calculul studiului de analiză statică

Se va parcurge procedura specificată în aplicația 2.1 paragraful i.

k) Vizualizarea și interpretarea rezultatelor

Pentru vizualizarea tensiunii tangențiale pe model, se parcurge procedura:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Stress – Plot** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Edit Definition....** Se va activa fereastra **Stress Plot**.
3. În zona **Display** se vor selecta următoarele opțiuni, figura 2.12.2:
 - din lista **Units** se va selecta unitatea de măsură **MPa**;
 - din lista **Components** se va selecta mărimea **TXY: Shear stress(XY Plane)**;
 - se va activa opțiunea **Node Values**, dacă nu este deja activă;
 - se va activa opțiunea de vizualizare **Fringe**, dacă nu este deja activă;
 - din lista **Fringe Type** se va selecta opțiunea **Filled, Tone**.
4. Pentru zona **Settings** se va dezactiva opțiunea **Show deformed shape with scale factor**.
5. Se va puncta butonul **OK**.

Variația tensiunii tangențiale în planul XY τ_{xy} este evidențiată în figura 2.13.2. Se observă valoarea maximală 31.55 MPa pe fibra întinsă și valoarea -31.71 MPa pe fibra comprimată, precum și distribuția constantă a acesteia în lungul barei. Valoarea teoretică rezultată din relația 2.13.1 este de 28.9 MPa, deci valorile sunt apropiate.

Variația tensiunii tangențiale în planul XZ τ_{xz} este evidențiată în figura 2.13.3.

Se observă valoarea maximală 25.87 MPa pe fibra întinsă și valoarea -26.19 MPa pe fibra comprimată, precum și distribuția constantă a acesteia în lungul barei. Valoarea teoretică rezultată din relația 2.13.2 este de 24.8 MPa, deci valorile sunt apropiate.

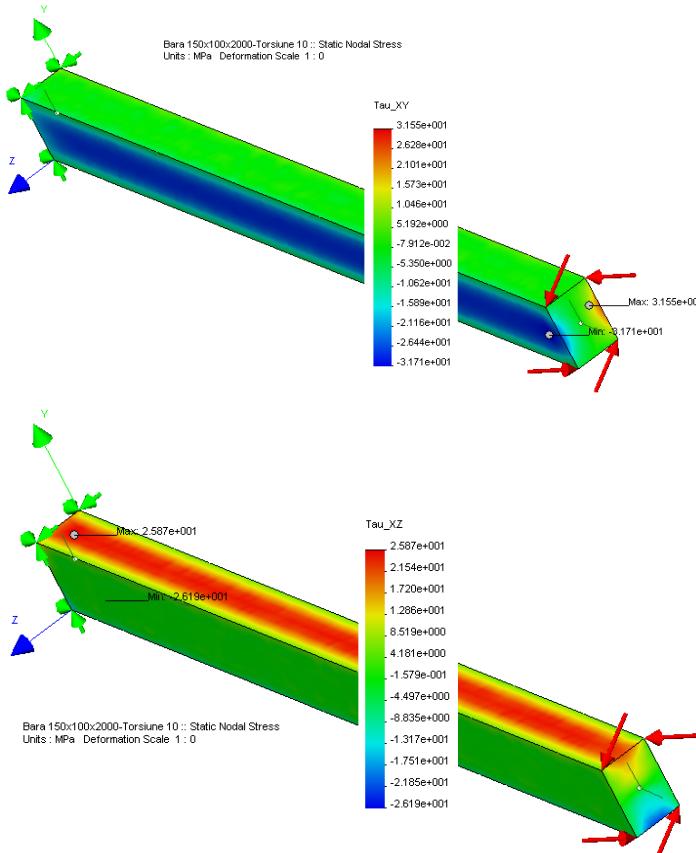


Figura 2.13.2

Figura 2.13.3

Zonele verzi din figurile 2.13.2 respectiv 2.13.3 au valoarea aproximativ nulă a tensiunilor tangențiale. Aceasta se poate verifica prin comanda **List result by entity**, preluată din trusa de instrumente **Result Tools** urmat de selecția feței analizate; butonul **Update** va calcula media tensiunii tangențiale pe față selectată, afișată în câmpul **Average**.

2.14. Torsiunea unei bare cu două tronsoane

a) Formularea problemei

Să se studieze torsiunea unei bare cu două tronsoane: un tronson de formă cilindrică de diametru 40 mm și lungime 100 mm și un tronson prismatic cu secțiune pătrată de latură $a = 28$ mm și lungime 200 mm, modulul de elasticitate $E = 2.1 \text{ E}+5$ MPa și coeficientul lui Poisson $\nu = 0.3$, încastrat la un capăt – față 1 și la care se aplică un moment de torsiune pe față 2: $M_o = 273.4$ Nm, figura 2.14.1.

b) Obiectivele problemei

Obiectivele problemei sunt identice cu cele de la aplicația 2.1 punctul b.

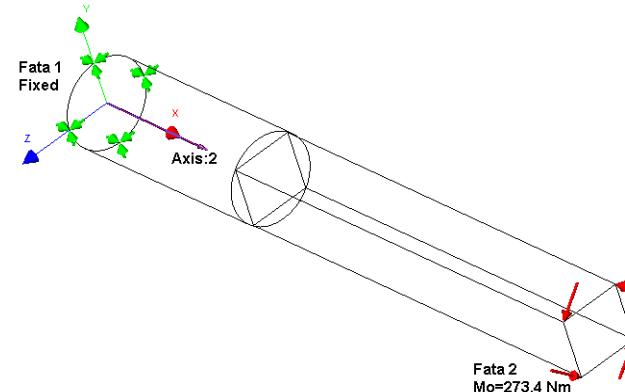


Figura 2.14.1

c) Considerații teoretice

Tensiunea tangențială pentru tronsonul cilindric rezultă prin relația:

$$\tau_{cilindru} = \frac{M_o}{W_p} = \frac{M_o}{\frac{\pi \cdot d^3}{16}} = 21.76 \text{ MPa} \quad [2.14.1]$$

$$\tau_{prisma} = \frac{M_o}{k_1 \cdot a^3} = \frac{273.4 \cdot 10^3}{0.208 \cdot 28^3} = 59.88 \text{ MPa} \quad [2.14.2]$$

d) Importul geometriei în Cosmos Design Star

Modelul barei generate în Autodesk Inventor va fi importat în Design Star.

1. În Design Star, se selectează opțiunea **Open** din meniul **File**.
2. În lista **Look in** a ferestrei **Open** se locația directorului modelului 3D.
3. În lista **Files of type** se selectează **Autodesk Inventor Files (*.ipt, *.iam)**.
4. Dublu click stânga pe numele fișierului **2_14.ipt** va finaliza operația de import.

e) Crearea studiului de analiză „Torsiune 01”

Se vor parcurge etapele specificate în aplicația 2.1 paragraful e, cu modificarea numelui studiului, care va fi „**Torsiune 01**”.

f) Selectia materialului

Se vor parcurge etapele specificate în aplicația 2.1 paragraful f, selectându-se materialul **Alloy Steel**, cu caracteristicile enunțate la punctul a.

g) Definirea axei „Axis2”

La aplicarea momentului de torsiune este necesară specificarea unei axe de referință în raport cu care se va considera torsiunea. Această axă constituie geometrie referință și va fi definită ca axă a cilindrului. Procedura este următoarea:

1. Click dreapta pe intrarea **Reference Geometry** din **Visualizer**;
2. Selectie opțiune **Axis**; va apărea fereastra **Axis**;
3. Se va selecta suprafața laterală a cilindrului; noua axă generată va avea direcția și orientarea axei cilindrului;

4. Butonul **OK** va încheia procedura de generare a axei;
5. Se va genera o nouă intrare **Axis:2**, subordonată intrării **Reference Geometry** din **Visualizer**.

i) Aplicarea restrângerilor și încărcărilor

Bara se va încasăra pe fața 1, lungimea acesteia fiind orientată pe direcția X. Fixarea constă în anularea translațiilor, iar momentul de torsiune se aplică pe fața 2. Procedura de aplicare a fixării este identică cu cea de la aplicația 2.12, punctul h.

Procedura de aplicare a momentului de torsiune este identică cu cea de la aplicația 2.12, punctul h, diferă doar valoarea momentului introdusă în câmpul **Value**, egală cu 273.4.

ii) Discretizarea în elemente finite

Se va parcurge procedura specificată în aplicația 2.1 paragraful h. Se vor genera 35940 elemente finite cu 52965 noduri.

j) Calculul studiului de analiză statică

Se va parcurge procedura specificată în aplicația 2.1 paragraful i.

k) Vizualizarea și interpretarea rezultatelor

Pentru vizualizarea tensiunii tangențiale pe model, se parcurge procedura:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Stress – Plot** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Edit Definition....**. Se va activa fereastra **Stress Plot**.
3. În zona **Display** se vor selecta următoarele opțiuni, figura 2.12.2:
 - din lista **Units** se va selecta unitatea de măsură **MPa**;
 - din lista **Components** se va selecta mărimea **TXY: Shear stress(XY Plane)**;
 - se va activa opțiunea **Node Values**, dacă nu este deja activă;
 - se va activa opțiunile **Fringe** și **Filled, Tone**.
4. Pentru zona **Settings** se va dezactiva opțiunea **Show deformed shape with scale factor**.
5. Se va puncta butonul **OK**.

Variata tensiunii tangențiale în planul XY τ_{xy} este evidențiată în figura 2.14.2. Pentru tronsonul prismatic se observă valoarea maximală 64,31 MPa pe fibra întinsă și valoarea -63,43 MPa pe fibra comprimată, precum și distribuția constantă a acesteia în lungul tronsonului. Valoarea teoretică rezultată din relația 2.14.2 este de 59,88 MPa, deci valorile sunt apropiate. Preluarea mai multor puncte caracteristice pe zona comprimată a barei prismatice prin icoana **Probe** oferă valoarea tensiunii în aceste puncte în jurul valorii de 59 MPa.

Pentru tronsonul cilindric, valoarea teoretică rezultată din relația 2.14.1 este de 21,76 MPa. Preluarea mai multor puncte caracteristice pe zona comprimată a barei prismatice prin icoana **Probe** oferă valoarea tensiunii în aceste puncte în jurul valorii de 19,7 MPa.

Pentru a vizualiza variația tensiunii tangențiale pe o regiune, procedura este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Stress – Plot** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Edit Definition....**. Se va activa fereastra **Stress Plot**.

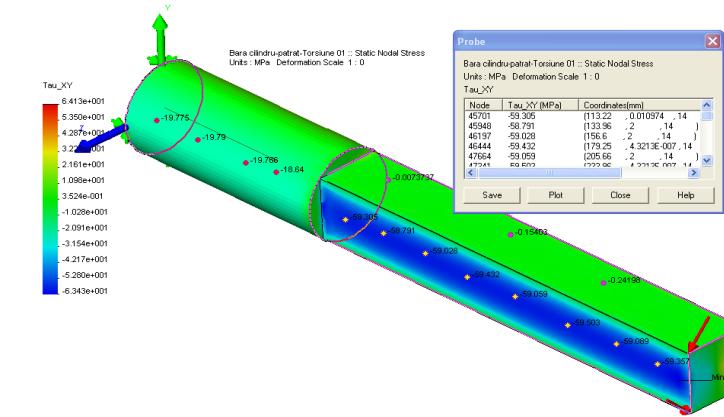


Figura 2.14.2

3. În zona **Display** se vor selecta următoarele opțiuni:

- din lista **Units** se va selecta unitatea de măsură **MPa**;
- din lista **Components** se va selecta mărimea **TXY: Shear stress(XY Plane)**;
- se va activa opțiunea **Node Values**, dacă nu este deja activă;
- se va activa opțiunea de vizualizare **Iso**;
- din lista **Fringe Type** se va selecta opțiunea **Filled, Tone**.
- în câmpul **No. of Sections** (numărul de secțiuni) se va introduce valoarea 1, dar pot fi specificate mai multe regiuni (maxim 6).
- 4. Pentru zona **Settings** se va dezactiva opțiunea **Show deformed shape with scale factor**.
- 5. Se va puncta butonul **OK**.
- 6. Se va activa zona grafică prin click stânga mouse.
- 7. Se va puncta icoana **Clipping**; va apărea fereastra **Iso Plot Clipping**.
- 8. Din lista **Cut** se va selecta opțiunea **Inside**.
- 9. Se va deplasa slider-ul **Iso Value** la valoarea dorită a tensiunii sau se va impune valoarea dorită în câmpul asociat, urmat de punctarea butonului **Set Value**.

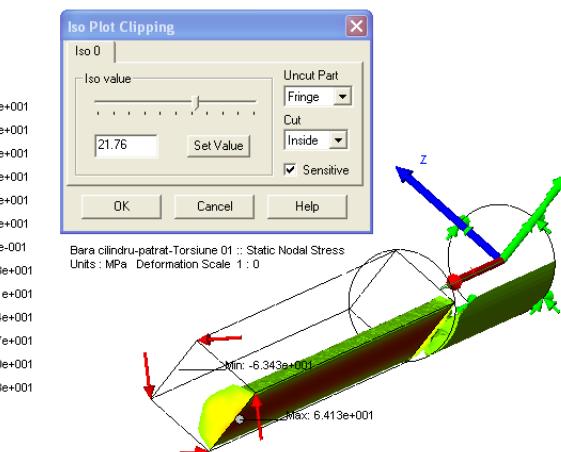


Figura 2.14.3

Rezultatul este prezentat în figura 2.14.3, unde se observă regiunea din model pentru care tensiunea este mai mare sau egală decât valoarea 21.76 MPa. Evident această regiune include zona întinsă a cilindrului și a tronsonului prismatic.

Dacă se va deplasa slider-ul **Iso Value** spre dreapta, la valori mai ridicate, se va observa că regiunea se micșorează simultan cu creșterea valorii tensiunii.

2.15. Flambajul unei bare

a) Formularea problemei

Să se verifice flambajul barei prismatice din figura 2.15.1, cu secțiune pătrată de latură $a = 60 \text{ mm}$ și lungime $L = 500 \text{ mm}$, modulul de elasticitate $E = 2.1 \text{ E}+5 \text{ MPa}$ și coeficientul lui Poisson $\nu = 0.3$, încastrată pe față 1 și supusă unei forțe $P = 1332000 \text{ N}$ pe față 2.

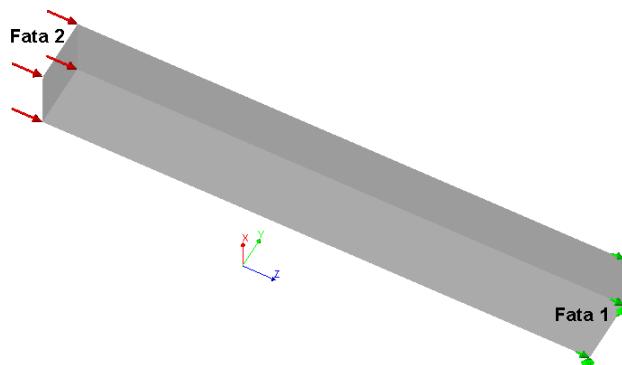


Figura 2.15.1

b) Obiectivele problemei

Obiectivele problemei sunt identice cu cele de la aplicația 2.1 punctul b, cu observația că acesta nu este un studiu de analiză statică ci de flambaj.

c) Considerații teoretice

Deoarece bara este încastrată la un capăt și liberă la celălalt capăt, lungimea de flambaj rezultă din relația:

$$l_f = 2 \cdot L = 2 \cdot 500 = 1000 \text{ mm} \quad [2.15.1]$$

Momentul de inerție respectiv aria secțiunii sunt:

$$I_{\min} = \frac{a^4}{12} = 1080000 \text{ mm}^4 \quad [2.15.2]$$

$$A = a \cdot a = 60 \cdot 60 = 3600 \text{ mm}^2 \quad [2.15.3]$$

Raza de inerție rezultă din:

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} = 17.32 \text{ mm} \quad [2.15.4]$$

Coefficientul de zveltețe rezultă din:

$$\lambda = \frac{l_f}{i_{\min}} = \frac{1000}{17.32} = 57.73 < 60 \quad [2.15.5]$$

Deoarece valoarea coefficientului de zveltețe este mai mică decât 60, bara nu va flamba. Această concluzie va fi verificată prin Cosmos Design Star.

d) Importul geometriei în Cosmos Design Star

Modelul barei generate în Autodesk Inventor va fi importat în Design Star.

1. În Design Star, se selectează opțiunea **Open** din meniul **File**.
2. În lista **Look in** a ferestrei **Open** se locația directorului modelului 3D.
3. În lista **Files of type** se selectează **Autodesk Inventor Files (*.ipt, *.iam)**.
4. Dublu click stânga pe numele fișierului **2_15.ipt** va finaliza operația de import.

e) Crearea studiului de analiză „Flambaj 60x60”

1. Click dreapta mouse pe numele fișierului **2_15** în zona **Visualizer** a interfeței Cosmos Design Star și selecția opțiunii **Study**, pentru a crea un nou studiu. Se va activa fereastra **Study**.
2. Click stânga mouse pe butonul **Add**. Se va activa fereastra **Study Name**.
3. Se va completa numele **Flambaj 60x60** în câmpul **New Study**, se selectează tipul de analiză asociat studiului, prin opțiunea **Buckling** în lista **Analysis Type**; modelul 3D încărcat în prealabil va impune tipul de discretizare **Solid**; în final se va crea studiu prin click stânga mouse pe butonul **OK**, care va închide fereastra **Study Name**.
4. Numele acestuia va apărea în fereastra **Study** în zona **Studies**.
5. Se va selecta acest studiu prin click stânga mouse pe numele său și se va puncta butonul **Properties**. Se va activa fereastra **Buckling**, în care se va impune valoarea 1 pentru câmpul **Number of Buckling Modes**.
6. Click stânga pe butoanele **OK** din ferestrele **Buckling** respectiv **Study** va încheia procedura de crearea a noului studiu.

f) Selectia materialului

Se vor parcurge etapele specificate în aplicația 2.1 paragraful f, selectându-se materialul **Alloy Steel**, cu caracteristicile enunțate la punctul a.

g) Aplicarea restrângerilor și încărcărilor

Bara se va încastră pe față 1, lungimea acesteia fiind orientată pe direcția Z. Fixarea constă în anularea translațiilor, iar forță se aplică pe față 2. Procedurile de aplicare a fixării (opțiunea **Fixed**) respectiv a forței $P=1332000 \text{ N}$ sunt similare cu cele de la aplicația 2.1, punctul g.

h) Discretizarea în elemente finite

Se va parcurge procedura specificată în aplicația 2.1 paragraful h. Se vor genera 6497 elemente finite cu 10496 noduri.

i) Calculul studiului de flambaj

Se va parcurge procedura specificată în aplicația 2.1 paragraful i.

i) Vizualizarea și interpretarea rezultatelor

Pentru verificarea flambajului se va selecta opțiunea **List Mode Shape**, preluată din meniu contextual activat prin buton dreapta mouse pe intrarea **Deformation**, figura 2.15.2. Valoarea factorului forței critice de flambaj calculată de Cosmos Design Star este 1.6697; acest factor reprezintă un coeficient de siguranță al flambajului:

- la valoare supraunitară flambajul nu va apărea;
- la valori subunitare Cosmos Design Star prezice apariția fenomenului flambaj;
- la valoare negativă a factorului și valoarea subunitară, flambajul poate apărea numai dacă încărcările își inversează direcția.
- la valoare negativă a factorului și valoarea supraunitară, flambajul nu poate apărea chiar dacă încărcările își inversează direcția.

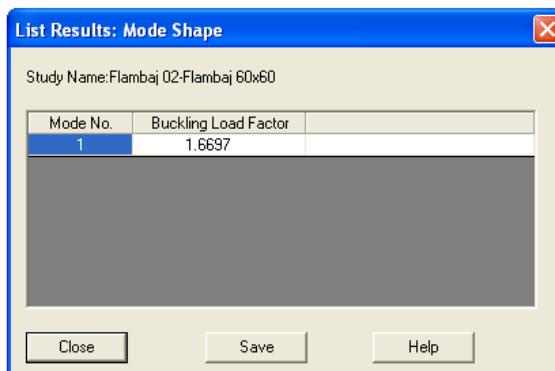


Figura 2.15.2

Deci Cosmos Design Star oferă același rezultat final ca și cel generat din considerațiile teoretice, adică bara nu va flamba.

Pentru a se genera animația modului de vibrație:

1. Click stânga mouse în zona grafică.
2. Se va puncta icoana **Play** din trusa de instrumente **Animation**, & 1.5.4.
3. Oprirea animației se va realiza pe icoana **Stop** din aceeași trusă de instrumente.
4. Creșterea/reducerea vitezei de animație se poate realiza prin icoana **Speed Up** respectiv **Slow Down**, din aceeași trusă.

Se va relua aceeași problemă pentru o bară cu secțiune cilindrică, de diametru $d = 80 \text{ mm}$ și lungime $L = 1800 \text{ mm}$

Lungimea de flambaj rezultă din relația:

$$l_f = 2 \cdot L = 2 \cdot 1800 = 3600 \text{ mm} \quad [2.15.6]$$

Momentul de inerție respectiv aria secțiunii sunt:

$$I_{\min} = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = 2010619 \text{ mm}^4 \quad [2.15.7]$$

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 5026.55 \text{ mm}^2 \quad [2.15.8]$$

Raza de inerție rezultă din:

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} = 20 \text{ mm} \quad [2.15.9]$$

Coefficientul de zveltețe rezultă din:

$$\lambda = \frac{l_f}{i_{\min}} = \frac{3600}{20} = 1803 > 105 \quad [2.15.10]$$

Sarcina critică de flambaj rezultă din relația lui Euler:

$$F_f = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{\min}}{l_f^2} = 321546.6 \text{ N} \quad [2.15.11]$$

Aplicând această sarcină critică asupra barei, Cosmos Design Star ar trebui să prezică flambajul barei, deci factorul forței critice de flambaj să fie foarte apropiat de 1. Parcurgând aceleași etape ca la aplicația anterioară, se obține valoarea factorului forței critice de flambaj 1.0013, figura 2.15.3.

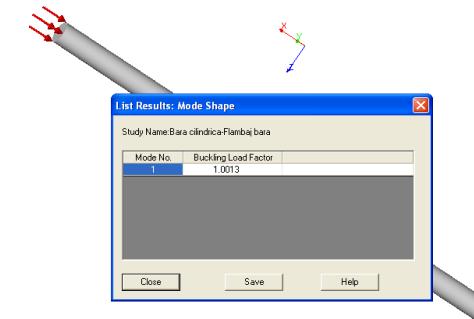


Figura 2.15.3

2.16. Flambajul unei bare cu două tronsoane cilindrice

a) Formularea problemei

Să se verifice flambajul barei formate din două tronsoane cilindrice de lungime $L/2 = 500 \text{ mm}$ și diametre $d_1 = 10 \text{ mm}$ respectiv $d_2 = 14.1 \text{ mm}$, figura 2.16.1, cu modulul de elasticitate $E = 2.1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$ și coeficientul lui Poisson $\nu = 0.3$, care, la ambele capete, este articulată și supusă unei forțe $P = 1505 \text{ N}$.

b) Obiectivele problemei

Obiectivele problemei sunt identice cu cele de la aplicația 2.15 punctul b.

c) Considerații teoretice

Momentul de inerție este:

$$I_{\min} = \frac{\pi \cdot d_1^4}{64} = 490.87 \text{ mm}^4 \quad [2.16.1]$$

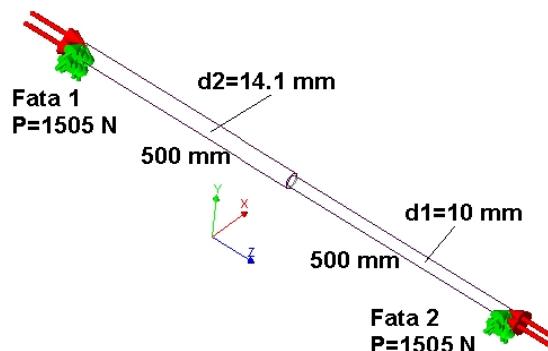


Figura 2.16.1

Sarcina critică de flambaj rezultă din relația:

$$F_f = \frac{14.6 \cdot E \cdot I_{min}}{L^2} = 1505 \text{ N} \quad [2.16.2]$$

Aplicând această sarcină critică asupra barei, Cosmos Design Star ar trebui să prezică flambajul barei, deci factorului forței critice de flambaj să fie foarte apropiat de 1. Această concluzie va fi verificată prin Cosmos Design Star.

d) Importul geometriei în Cosmos Design Star

Modelul barei generate în Autodesk Inventor va fi importat în Design Star.

1. În Design Star, se selectează opțiunea **Open** din meniu **File**.
2. În lista **Look in** a ferestrei **Open** se locația directorului modelului 3D.
3. În lista **Files of type** se selectează **Autodesk Inventor Files (*.ipt, *.iam)**.
4. Dublu click stânga pe numele fișierului **2_16.ipt** va finaliza operația de import.

e) Crearea studiului de analiză „Flambaj 2 cilindrii”

Se vor parcurge etapele specificate în aplicația 2.15 paragraful e, cu modificarea numelui studiului, care va fi „**Flambaj 2 cilindrii**”.

f) Selectia materialului

Se vor parcurge etapele specificate în aplicația 2.1 paragraful f, selectându-se materialul **Alloy Steel**, cu caracteristicile enunțate la punctul a.

g) Aplicarea restrângerilor și încărcărilor

Bara se va articula pe ambele fețe, lungimea acesteia fiind orientată pe direcția Z. Articularea constă în anularea translațiilor pe direcțiile X și Y:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Restraint....** Se va activa fereastra **Restraint**.
3. Din lista **Restrain Type** se va selecta opțiunea **Prescribed**.
4. Din lista **Units** se va selecta opțiunea **mm**.
5. În zona **Translation** se vor activa icoanele direcționale X și Y, impunând valoarea 0 a translației pe aceste direcții.
6. Se va selecta fața 1 prin click stânga mouse pe aceasta; identificatorul numeric al feței va apărea în zona **Select Geometry - Restrain Entity** a ferestrei **Restrain**.

7. Cu tasta **Ctrl** apăsată se va selecta fața 2 prin click stânga mouse pe aceasta; identificatorul numeric al feței va apărea în zona **Select Geometry - Restrain Entity**.
8. Butonul **OK** va încheia procedura de aplicare a restrângerii. Fețele selectate ca sursă de aplicare a restrângerii va fi marcate prin săgeți direcționale de culoarea verde, iar în zona **Visualizer**, se va genera o nouă intrare **Restrain:1** subordonată intrării **Loads/BC**.

Procedura de aplicare a încărcării este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Load...** Se va activa fereastra **Loads**.
3. Din lista **Load Type** se va selecta opțiunea **Force**.
4. Din lista **Units** se selectează opțiunea **SI** și se verifică activarea opțiunii **Normal**.
5. În câmpul **Value** se introduce valoarea 1505.
6. Se va selecta fața 1; identificatorul numeric al feței va apărea în zona **Select Geometry – Load Entity**.
7. Cu tasta **Ctrl** apăsată se va selecta fața 2; identificatorul numeric al feței va apărea în zona **Select Geometry – Load Entity**.
8. Butonul **OK** va încheia procedura de aplicare a încărcării; în zona **Visualizer**, se va genera o nouă intrare **Load:1** subordonată intrării **Loads/BC**.

h) Discretizarea în elemente finite

Se va parcurge procedura specificată în aplicația 2.1 paragraful h. ”. Se vor genera 5800 elemente finite cu 11267 noduri.

i) Calculul studiului de flambaj

Se va parcurge procedura specificată în aplicația 2.1 paragraful i.

j) Vizualizarea și interpretarea rezultatelor

Pentru verificarea flambajului se va selecta opțiunea **List Mode Shape**, preluată din meniu contextual activat prin buton dreapta mouse pe intrarea **Deformation**, fig. 2.16.2. Valoarea factorului forței critice de flambaj calculată de Cosmos Design Star este 0.99447; fiind subunitar Cosmos Design Star prezice apariția fenomenului flambaj.

Deci Cosmos Design Star oferă același rezultat final ca și cel generat din considerațiile teoretice, adică bara va flamba sub acțiunea sarcinii, care este tocmai sarcina critică de flambaj.

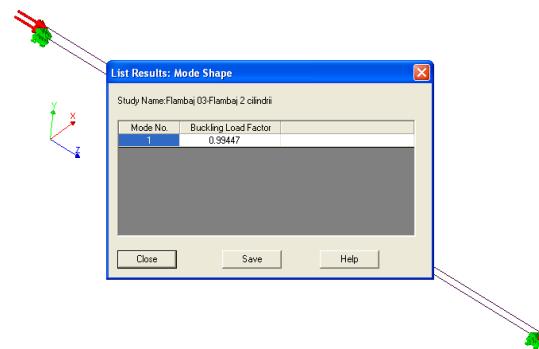


Figura 2.16.2

Capitolul 3

SOLICITĂRI COMPUSE

3.1. Încovoierea cu compresiune a unei bare de secțiune circulară

a) Formularea problemei

Se consideră piesa cu dimensiunile din figura 3.1.1, încastrată pe fața 1 și solicitată de o forță pe direcția Z- cu valoarea $P_z = 2000 \text{ N}$. Materialul barei este oțel, cu modulul de elasticitate $E = 2.1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$ și coeficientul lui Poisson $\nu = 0.3$. Să se determine tensiunile în piesă.

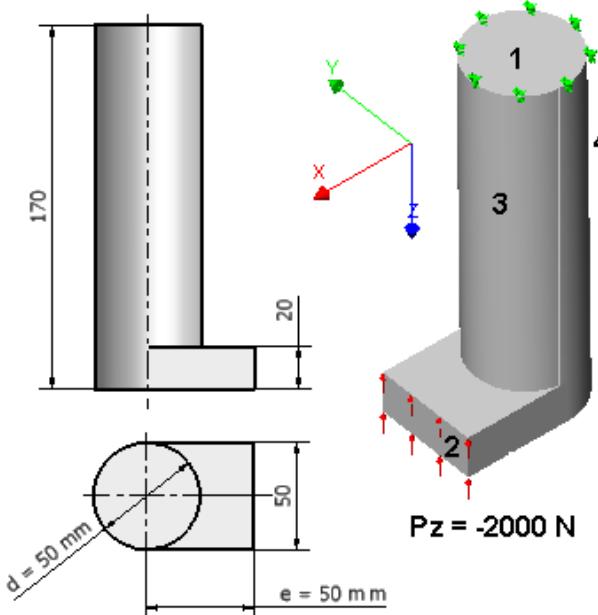


Figura 3.1.1

b) Obiectivele problemei

Obiectivele problemei sunt următoarele:

- importul în Cosmos Design Star a geometriei modelate în Autodesk Inventor;
- crearea unui studiu de analiză statică;
- selecția unui material din librăria Cosmos;
- aplicarea restrângerilor și încăr cărilor;
- discretizarea modelului în elemente finite;

- calculul studiului de analiză statică;
- vizualizarea și interpretarea rezultatelor.

c) Considerații teoretice

Datorită aplicării forței cilindrul este supus solicitărilor de încovoiere și compresiune, astfel încât fibrele feței 3 sunt comprimate, iar ale feței opuse 4 sunt întinse. Formula de calcul a tensiunii maxime pe față 3 este:

$$\sigma_3 = -\frac{P_z}{A} - \frac{M}{W} = -\frac{P_z}{A} - \frac{P_z \cdot e}{\pi \cdot d^3 / 32} = -9.167 \text{ MPa} \quad [3.1.1]$$

iar a tensiunii pe față 4 este :

$$\sigma_4 = -\frac{P_z}{A} + \frac{M}{W} = -\frac{P_z}{A} + \frac{P_z \cdot e}{\pi \cdot d^3 / 32} = 7.13 \text{ MPa} \quad [3.1.2]$$

unde: $A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 1963.495 \text{ mm}^2$ este aria secțiunii transversale a cilindrului.

d) Importul geometriei în Cosmos Design Star

Modelul barei generate în Autodesk Inventor va fi importat în Design Star.

1. În Design Star, se selectează opțiunea **Open** din meniu **File**.
2. În lista **Look in** a ferestrei **Open** se locația directorului modelului 3D.
3. În lista **Files of type** se selectează **Autodesk Inventor Files (*.ipt, *.iam)**.
4. Dublu click stânga pe numele fișierului **3_1.ipt** va finaliza operația de import.

e) Crearea studiului de analiză statică „Încovoiere-Compresiune”

1. Click dreapta mouse pe numele fișierului **3_1** în zona **Visualizer** a interfeței Cosmos Design Star și selecția opțiunii **Study**, pentru a crea un nou studiu. Se va activa fereastra **Study**.
2. Click stânga mouse pe butonul **Add**, pentru adăugarea unui nou studiu. Se va activa fereastra **Study Name**.
3. Se va completa numele **Încovoiere-Compresiune** în câmpul **New Study**, se selectează tipul de analiză asociat studiului, prin opțiunea **Static** în lista **Analysis Type**; modelul 3D încărcat în prealabil va impune tipul de discretizare **Solid**; în final se va crea studiu prin click stânga mouse pe butonul **OK**, care va închide fereastra **Study Name**.
4. Numele acestuia va apărea în fereastra **Study** în zona **Studies**.
5. Se va selecta acest studiu prin click stânga mouse pe numele său și se va puncta butonul **Properties**. Se va activa fereastra **Static**, în care se va verifica tipul solver-ului **FFEPlus**.
6. Click stânga pe butoanele **OK** din ferestrele **Static** respectiv **Study** va încheia procedura de crearea a noului studiu.
7. Zona **Visualizer** va fi completată cu intrarea **Încovoiere-Compresiune**, căreia îi vor fi subordonate intrările **Components**, **Loads/BC**, **MESH** și **Report**. Intrarea **Components** are subordonată intrarea **Part1**.

f) Selectia unui material din libraria Cosmos

Se va alege materialul asociat barei de secțiune circulară, prin selectia acestuia din libraria Cosmos. Materialul va fi **Alloy Steel**, pentru care s-au modificat următoarele proprietăți: coeficientul lui Poisson 0.3 și densitatea 7850 kg/m^3 . Modificarea se realizează prin intermediul programului **Material Browser**, instalat odată cu instalarea programului Cosmos Design Star. Modulul de elasticitate al materialului este $2.1E+11 \text{ N/m}^2$. Procedura de asignare a materialului este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Part1** subordonată intrării **Components** în zona **Visualizer**.
2. Selectia opțiunii **Edit/Define Material....** Se va activa fereastra **Material**.
3. În zona **Select Material Source**, se verifică dacă opțiunea **Library files** este selectată și dacă opțiunea **Coswkm.mat.lib** este selectată în lista asociată.
4. Din zona **Select Material Source**, se va selecta materialul **Alloy Steel**.
5. Butonul **OK** va încheia procedura de asignare, numele materialului selectat va fi asociat intrării **Part1** în zona **Visualizer**, aceasta fiind marcată prin semnul .

g) Aplicarea restrangerilor și încărcărilor

Bara se va fixa pe față 1. Fixarea constă în anularea translațiilor pe direcțiile X, Y și Z, deci se va impune $U_x = 0$, $U_y = 0$ și $U_z = 0$, iar forța $P_z = 2000 \text{ N}$ se aplică pe față 2, figura 3.1.1. Procedura de aplicare a fixării este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Restraint....** Se va activa fereastra **Restraint**.
3. Din lista **Restrain Type** se va selecta opțiunea **Fixed**.
4. Din lista **Units** se va selecta opțiunea **mm**.
5. Se va selecta față 1 prin click stânga mouse pe aceasta; identificatorul numeric al feței va apărea în zona **Select Geometry - Restrain Entity** a ferestrei **Restraint**. Pentru accesarea feței bara se poate roti prin icoana **Rotate**.
6. Butonul **OK** va încheia procedura de aplicare a restrangerii. Fața selectată ca sursă de aplicare a restrangerii va fi marcată prin săgeți direcționale de culoare verde, figura 3.1.1, iar în zona **Visualizer**, se va genera o nouă intrare **Restrain:1** subordonată intrării **Loads/BC**.

Procedura de aplicare a încărcării este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Load....** Se va activa fereastra **Loads**.
3. Din lista **Load Type** se va selecta opțiunea **Force**.
4. Din lista **Units** se va selecta opțiunea **SI**, ceea ce va impune newton N ca unitatea de măsură a forței, pentru câmpul **Value**.
5. Se va activa opțiunea **Directional**.
6. Se va activa icoana direcțională **Z**.
7. În câmpul asociat icoanei direcționale **Z** se introduce valoarea -2000. Semnul minus se referă la aplicarea forței în sens opus direcției axei Z.
8. Se va selecta față 2 prin click stânga mouse pe aceasta; identificatorul numeric al feței va apărea în zona **Select Geometry - Load Entity** a ferestrei **Loads**.

9. Butonul **OK** va încheia procedura de aplicare a încărcării. Fața selectată ca sursă de aplicare a încărcării va fi marcată prin săgeți direcționale de culoare roșie, orientate pe direcția Z, iar în zona **Visualizer**, se va genera o nouă intrare **Load:1** subordonată intrării **Loads/BC**.

h) Discretizarea modelului în elemente finite

Se vor stabili opțiunile asociate discretizării:

1. Se va activa fereastra **Options**, din meniu principal în succesiunea **Tools** → **Options** sau prin activarea opțiunii **Options** preluată din submeniul contextual, activat prin buton dreapta mouse pe intrarea **Mesh** în zona **Visualizer**.
2. Se va accesa zona **Mesh**.
3. Se va selecta opțiunea **High** din zona **Quality**.
4. Se va selecta opțiunea **Standard** în zona **Mesher Type**.
5. Se va selecta opțiunea **4 Point Rule** din lista **Jacobian Check**.
6. În zona **Mesh Control** se vor activa opțiunile **Automatic Transition** și **Smooth Surface**.
7. Se va puncta butonul **OK**, care va închide fereastra **Options**.

Se lansează procedura de discretizare.

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Mesh** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Create....** Se va activa fereastra **Mesh**.
3. Se va deplasa slider-ul superior spre dreapta maxim (opțiunea **Fine**), impunând astfel o discretizare fină a geometriei modelului 3D; pe măsura deplasării slider-ului, câmpurile **Global Size** și **Tolerance** se vor actualiza valoric.
4. Butonul **OK** va declanșa procesul de discretizare; pe parcursul acestuia va fi vizibilă fereastra **Mesh Progress**, prevăzută cu o bară termometru.
5. Ca rezultat al discretizării, intrarea **Mesh** din zona **Visualizer** va fi fiind marcată prin semnul .

Se vor genera 6642 elemente finite, cu 10240 noduri.

i) Calculul studiului de analiză statică

1. Click dreapta mouse pe intrarea cu numele studiului **Incovoiere-Compresiune** în zona **Visualizer**, urmat de selecția opțiunii **Run** din submeniul contextual generat; ca variantă, se poate selecta opțiunea **Run** din meniu principal **Define** sau activa opțiunea **Run analysis after meshing** în fereastra **Mesh**. În timpul evoluției calculului apare o fereastră în care sunt afișate informații referitoare la numărul de elemente, noduri și grade de libertate, numele etapei curente de rezolvare, o bară termometru și timpul de calcul, ultimele două elemente fiind actualizate dinamic.
2. La finalizarea calculului, în zona **Visualizer** se vor genera următoarele intrări: **Stress**, **Displacement**, **Strain**, **Deformation** și **Design Check**, subordonate studiului analizat. Fiecare dintre aceste intrări, exceptând ultima, îi sunt subordonate câte o intrare, denumită **Plot**: urmat de un număr de ordine. Aceste intrări conțin rezultatele specifice analizei efectuate, ce pot fi utilizate pentru vizualizarea grafică și numerică a acestora.

i) Vizualizarea și interpretarea rezultatelor

Pentru a vizualiza variația tensiunii Von Mises, procedura este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Stress – Plot** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Edit Definition....**. Se va activa fereastra **Stress Plot**.
3. În zona **Display** se vor selecta următoarele opțiuni, figura 3.1.12:

- din lista **Units** se va selecta unitatea de măsură **MPa**;
- din lista **Components** se va selecta mărimea **VON: vonMises Stress**;
- se va activa opțiunea **Node Values**, dacă nu este deja activă;
- se va activa opțiunea de vizualizare **Fringe**, dacă nu este deja activă;
- din lista **Fringe Type** se va selecta opțiunea **Filled, Tone**.

4. Pentru zona **Settings** se vor impune opțiunile: dezactivare opțiune **Show deformed shape with scale factor**, din lista **Boundary Option** se va selecta opțiunea **Mesh**, iar prin punctarea butonului colorat asociat se va activa matricea de culori, din care se va selecta culoarea gri pentru discretizare.

5. Se va puncta butonul **OK**.

Variația tensiunii Von Mises este evidențiată în figurile 3.1.2 și 3.1.3.

Pentru față 3 preluarea mai multor puncte caracteristice pe zona comprimată a barei prin icoana **Probe** oferă valoarea tensiunii în aceste puncte în jurul valorii de 9 MPa. Valoarea teoretică rezultată din relația 3.1.1 este de -9.167 MPa, deci valorile sunt apropiate.

Pentru față 4 preluarea mai multor puncte caracteristice pe zona întinsă a barei prin icoana **Probe** oferă valoarea tensiunii în aceste puncte în jurul valorii de 7 MPa. Valoarea teoretică rezultată din relația 3.1.2 este de 7.13 MPa, deci valorile sunt apropiate.

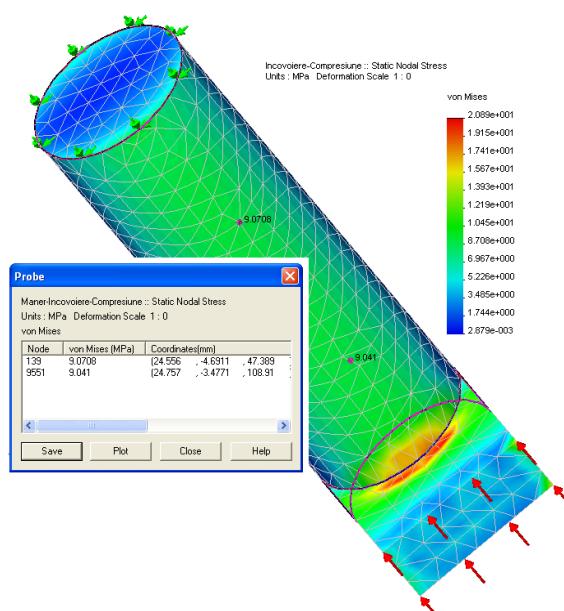


Figura 3.1.2

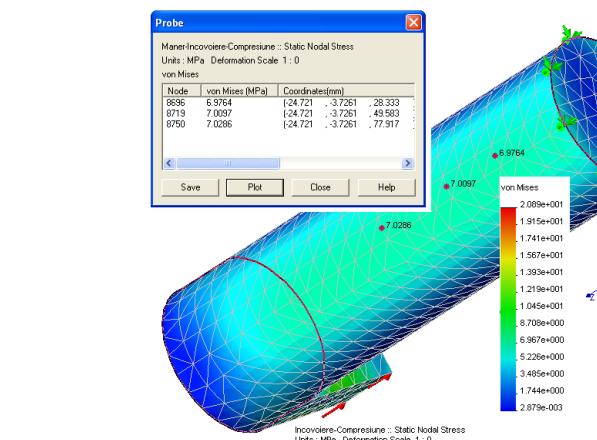


Figura 3.1.3

Pentru a determina valoarea reacției, procedura este următoarea:

1. Se va activa fereastra **Reaction Force**, din meniul principal în succesiunea **Tools→ Reaction Force** sau prin punctarea icoanei **Reaction Force** din trusa de instrumente **Result Tools**.
2. Se selectează față 1.
3. Se punctează butonul **Update**.

Valoarea reacției pentru întregul model este evidențiată în fereastra **Reaction Force**, figura 3.1.4. Se observă valoarea forței rezultante 1999.9 N pentru întregul model.

Pentru a vizualiza variația tensiunii Von Mises pe o regiune, procedura este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Stress – Plot** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Edit Definition....**. Se va activa fereastra **Stress Plot**.
 - în zona **Display** se va activa opțiunea de vizualizare **Iso**;
 - în câmpul **No. of Sections** (numărul de secțiuni) se va introduce valoarea 1.
3. Pentru zona **Settings** se va dezactiva opțiunea **Show deformed shape with scale factor** și din lista **Boundary Options** se va selecta opțiunea **Translucent (Single Color)**.
4. Se va puncta butonul **OK**.
5. Se va activa zona grafică prin click stânga mouse.
6. Se va puncta icoana **Clipping**; va apărea fereastra **Iso Plot Clipping**.
7. Din lista **Cut** se va selecta opțiunea **Inside**.
8. Se va deplasa slider-ul **Iso Value** la valoarea dorită a tensiunii sau se va impune valoarea dorită în câmpul asociat, urmat de punctarea butonului **Set Value**.

Rezultatul este prezentat în figura 3.1.5, unde se observă regiunea din model pentru care tensiunea este mai mare sau egală decât valoarea 7 MPa. În fundal se observă conturul piesei. Dacă se va deplasa slider-ul **Iso Value** spre dreapta, la valori mai ridicate, se va observa că regiunea se micșorează simultan cu creșterea valorii tensiunii.

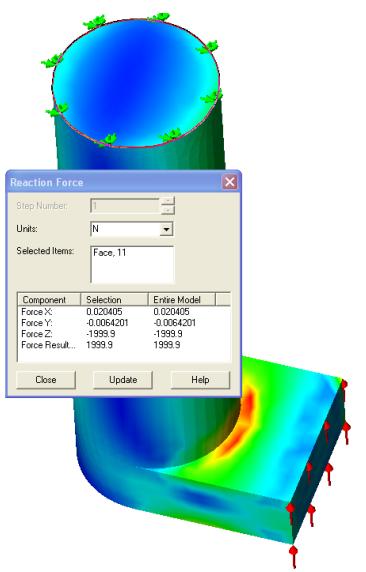


Figura 3.1.4

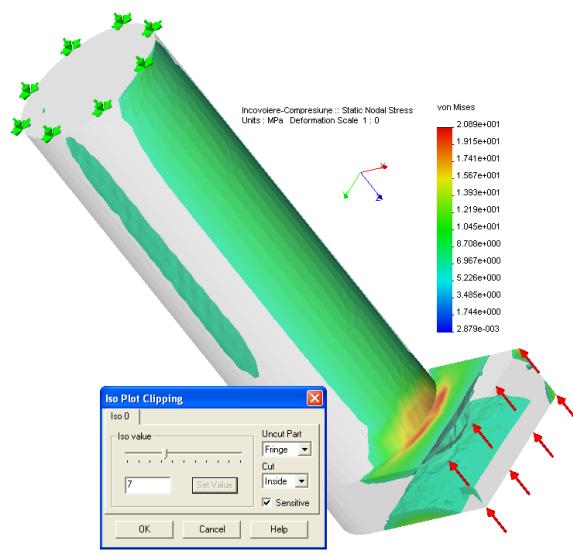


Figura 3.1.5

3.2. Încovoierea cu torsiune a unei bare prismatice

a) Formularea problemei

Se consideră bara prismatică cu dimensiunile din figura 3.2.1, încastrată pe fața 1 și solicitată pe fața 2 de o forță pe direcția Z+ cu valoarea $P_z = 5000$ N și de un moment de torsiune $M_o = 15$ Nm. Materialul barei este oțel, cu modulul de elasticitate $E = 2.1 \text{ E}+5$ MPa și coeficientul lui Poisson $\nu = 0.3$. Să se determine tensiunile în piesă.

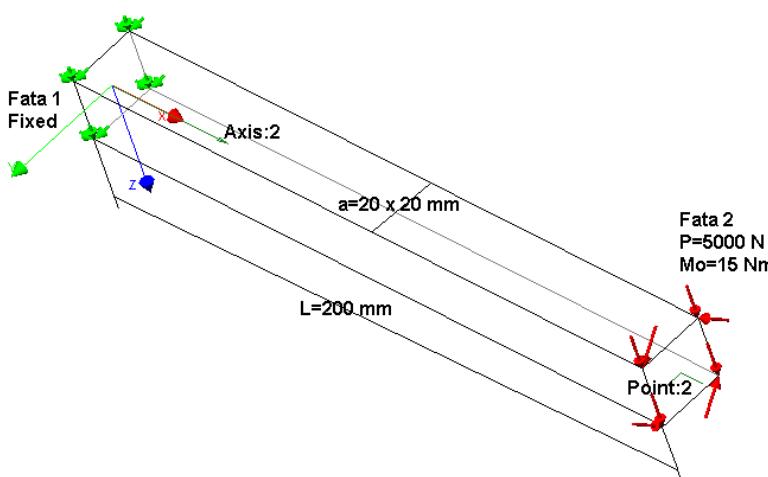


Figura 3.2.1

b) Obiectivele problemei

Obiectivele problemei sunt următoarele:

- importul în Cosmos Design Star a geometriei modelate în Autodesk Inventor;
- crearea unui studiu de analiză statică;
- selecția unui material din librăria Cosmos;
- aplicarea restrângerilor și încărcărilor;
- discretizarea modelului în elemente finite;
- calculul studiului de analiză statică;
- vizualizarea și interpretarea rezultatelor.

c) Considerații teoretice

Încărcările aplicate produce în încastrare tensiunile:

$$\sigma_{\max} = \pm \frac{P \cdot L}{W} = \pm \frac{P \cdot L}{a^3 / 6} = 75 \text{ MPa} \quad [3.2.1]$$

$$\tau_{\max} = \frac{M_o}{k_1 \cdot a^3} = \frac{15 \cdot 10^3}{0.208 \cdot 20^3} = 9 \text{ MPa} \quad [3.2.2]$$

Tensiunea echivalentă rezultă prin relația:

$$\sigma_{ech} = \sqrt{\sigma^2 + 4 \cdot \tau^2} = 77.1 \text{ MPa} \quad [3.2.3]$$

d) Importul geometriei în Cosmos Design Star

Modelul barei generate în Autodesk Inventor va fi importat în Design Star.

1. În Design Star, se selectează opțiunea **Open** din meniul **File**.
2. În lista **Look in** a ferestrei **Open** se locația directorului modelului 3D.
3. În lista **Files of type** se selectează **Autodesk Inventor Files (*.ipt, *.iam)**.
4. Dublu click stânga pe numele fișierului **3_2.ipt** va finaliza operația de import.

e) Crearea studiului de analiză „Încovoiere cu Torsiune”

Se vor parcurge etapele specificate în aplicația 3.1 paragraful e, cu modificarea numelui studiului, care va fi „**Încovoiere cu Torsiune**”.

f) Selectia materialului

Se vor parcurge etapele specificate în aplicația 3.1 paragraful f, selectându-se materialul **Alloy Steel**, cu caracteristicile enunțate la punctul a.

g) Definirea axei „Axis2”

La aplicarea momentului de torsiune este necesară specificarea unei axe de referință în raport cu care se va considera torsiunea. Această axă constituie geometrie referință și va fi definită ca axă ce trece prin două puncte: un punct este punctul origine, iar al doilea punct **Point:2** va fi creat pe fața 2, cu coordonatele 200,0,0. Procedura este următoarea:

1. Click dreapta pe intrarea **Reference Geometry** din **Visualizer**;
2. Selectie opțiune **Point**; va apărea fereastra **Point**;

3. În câmpurile X, Y și Z se introduc valorile 200, 0, 0;
4. Se va puncta butonul **OK**; în intrarea **Reference Geometry** va apărea subordonată intrarea **Point:2**;
5. Selectie opțiune **Axis**; va apărea fereastra **Axis**;
6. Din intrarea **Reference Geometry** din **Visualizer** se vor selecta punctul origine **Origin1** și cu tasta **Ctrl** apăsată se va selecta punctul **Point:2** anterior creat;
7. Butonul **OK** va închide procedura de generare a axei;
8. Se va genera o nouă intrare **Axis:2**, subordonată intrării **Reference Geometry** din **Visualizer**.

h) Aplicarea restrângerilor și încărcărilor

Bara se va încadra pe față 1, lungimea acesteia fiind orientată pe direcția X. Fixarea constă în anularea tuturor translațiilor, iar forță și momentul de torsion se aplică pe față 2. Procedura de aplicare a fixării este identică cu cea de la aplicația 3.1, punctul g.

Procedura de aplicare a încărcării este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Load....**. Se va activa fereastra **Loads**.
3. Din lista **Load Type** se va selecta opțiunea **Force**.
4. Din lista **Units** se va selecta opțiunea **SI**, ceea ce va impune newton N ca unitatea de măsură a forței, pentru câmpul **Value**.
5. Se va activa opțiunea **Directional**.
6. Se va activa icoana direcțională **Z**.
7. În câmpul asociat icoanei direcționale **Z** se introduce valoarea 500.
8. Se va selecta față 2 prin click stânga mouse pe aceasta; identificatorul numeric al feței va apărea în zona **Select Geometry - Load Entity** a ferestrei **Loads**.
9. Butonul **OK** va închide procedura de aplicare a încărcării. Față selectată ca sursă de aplicare a încărcării va fi marcată prin săgeți direcționale de culoare roșie, orientate pe direcția Z, iar în zona **Visualizer**, se va genera o nouă intrare **Load:1** subordonată intrării **Loads/BC**.

Procedura de aplicare a momentului de torsion este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Load....**. Se va activa fereastra **Loads**.
3. Din lista **Load Type** se va selecta opțiunea **Torque**.
4. Din lista **Units** se va selecta opțiunea **SI**. Momentul se va introduce în Nm.
5. Se va introduce valoarea **15** în câmpul **Value**.
6. Se va selecta față 2 a cilindrului prin click stânga mouse pe aceasta; identificatorul numeric al feței va fi afișat în zona **Select Geometry - Load Entity**.
7. Din zona **Visualizer - Reference Geometry** sau din zona grafică se va selecta axa **Axis:2** prin click stânga mouse pe aceasta; identificatorul numeric al feței va fi afișat în zona **Select Geometry - Reference Entity**.
8. Butonul **OK** va închide procedura de aplicare a momentului. Față selectată pentru aplicarea momentului va fi marcată prin săgeți direcționale de culoare roșie, orientate pe direcția torsionii, iar în zona **Visualizer**, se va genera o nouă intrare **Load:2** subordonată intrării **Loads/BC**.

i) Discretizarea în elemente finite

Se va parcurge procedura specificată în aplicația 3.1 paragraful h. ". Se vor genera 7414 elemente finite cu 11885 noduri.

j) Calculul studiului de analiză statică

Se va parcurge procedura specificată în aplicația 3.1 paragraful i.

k) Vizualizarea și interpretarea rezultatelor

Pentru vizualizarea tensiunii în încastrare datorate încovoierii, se parcurge procedura:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Stress – Plot** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Edit Definition....**. Se va activa fereastra **Stress Plot**.
3. În zona **Display** se vor selecta următoarele opțiuni:
 - din lista **Units** se va selecta unitatea de măsură **MPa**;
 - din lista **Components** se va selecta mărimea **SX: Normal Stress X-dir**;
 - se va activa opțiunea **Node Values**, dacă nu este deja activă;
 - se va activa opțiunile **Fringe** și **Filled, Tone**.
4. Pentru zona **Settings** se va dezactiva opțiunea **Show deformed shape with scale factor**.
5. Se va puncta butonul **OK**.

Variata tensiunii σ_x este evidențiată în figura 3.2.2. Valoarea teoretică rezultată din relația 3.2.1 este de 75 MPa. Preluarea unui punct caracteristic pe zona încărcării prin icoana **Probe** oferă valoarea tensiunii în acest punct la valoarea de 75.644 MPa, deci foarte apropiată de cea teoretică.

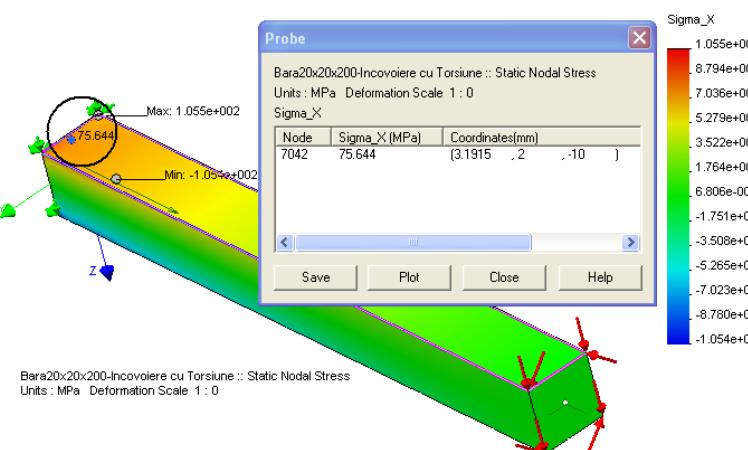


Figura 3.2.2

Pentru vizualizarea tensiunii tangențiale în încastrare datorate torsionii, se parcurge procedura anterioară, cu diferența selecției opțiunii **TXY: Shear stress (XY Plane)** în locul opțiunii **SX: Normal Stress X-dir**.

Variata tensiunii τ_{xy} este evidențiată în figura 3.2.3. Valoarea teoretică rezultată din relația 3.2.2 este de 9 MPa. Preluarea unui punct caracteristic pe zona

încastrării prin icoana **Probe** oferă valoarea tensiunii în acest punct la valoarea de 8.9554 MPa, deci foarte apropiată de cea teoretică.

Dacă se va vizualiza variația tensiunii τ_{xz} se va observa că aceasta are aceeași distribuție și valori, dar orientate pe fețele paralele cu planul OXZ.

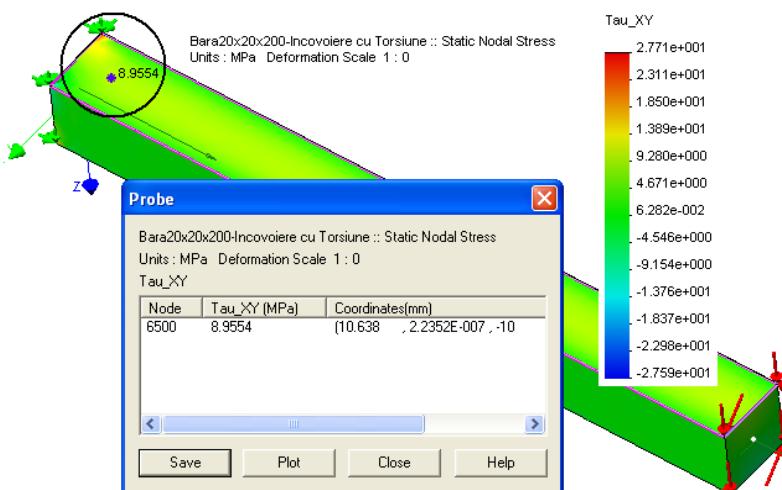


Figura 3.2.3

Pentru vizualizarea tensiunii echivalente Von Mises, se parcurge procedura anterioară, cu diferența selecției opțiunii **VON: von Mises stress** în locul opțiunii **TXY: Shear stress (XY Plane)**. Variația tensiunii Von Mises este evidențiată în figura 3.2.4. Valoarea teoretică rezultată din relația 3.2.3 este de 77.1 MPa. Valoarea maximală oferită de Cosmos Design Star este 81.61 MPa, locația acesteia fiind plasată în punctul cel mai solicitat al încastrării, deci foarte apropiată de cea teoretică atât ca valoare cât și ca poziție.

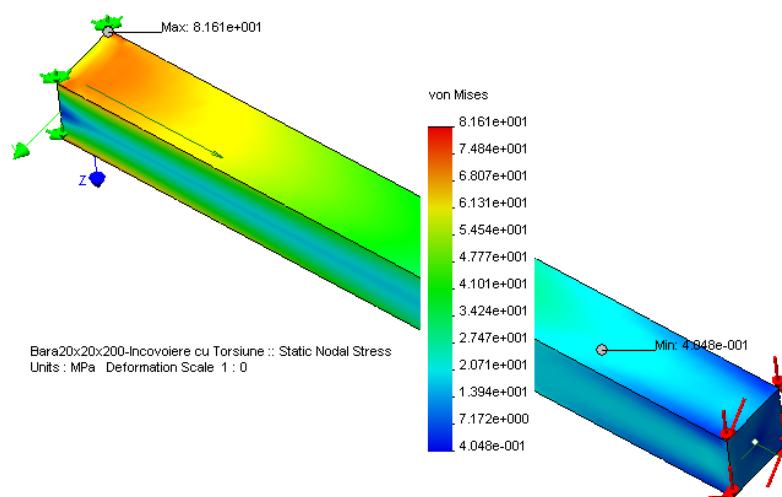


Figura 3.2.4

3.3. Solicitarea unui cadru cilindric

a) Formularea problemei

Să se determine tensiunile și deplasarea cadrului cilindric, cu dimensiunile din figura 3.3.1, încastrat pe fața 1 și solicitat pe fața 2 de o forță pe direcția X+ cu valoarea $P_x = 1000$ N, figura 3.3.2. Materialul barei este oțel, cu modulul de elasticitate longitudinal $E = 2.1 \times 10^5$ MPa, modulul de elasticitate transversal $G = 7.9 \times 10^4$ MPa și coeficientul lui Poisson $\nu = 0.3$.

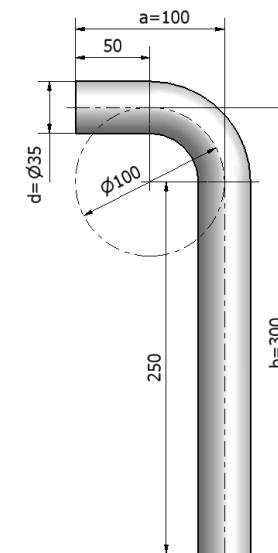


Figura 3.3.1

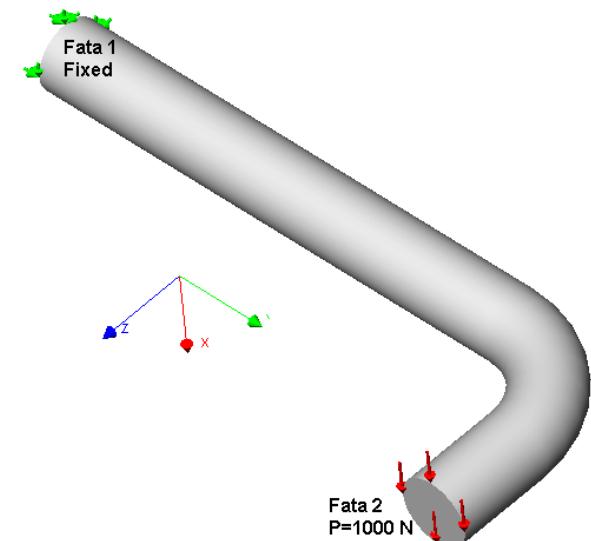


Figura 3.3.2

b) Obiectivele problemei

Obiectivele problemei sunt identice cu cele definite la aplicația 3.1 punctul b.

c) Considerații teoretice

Încărcarea aplicată produce în încastrare (fața 1) o solicitare de încovoiere combinată cu torsion, ce generează o tensiune exprimată prin relația:

$$\sigma_{\max} = \frac{\sqrt{M^i + M_o^2}}{W} = \frac{\sqrt{M^i + M_o^2}}{\pi \cdot d^3 / 32} = 75.13 \text{ MPa} \quad [3.3.1]$$

Deplasarea maximă rezultă din relația:

$$f = \frac{P \cdot a^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{P \cdot b^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{P \cdot a \cdot b^2}{G \cdot I_P} = 0.8555 \text{ mm} \quad [3.3.2]$$

unde:

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = 73661 \text{ mm}^4 \quad ; \quad I_P = \frac{\pi \cdot d^4}{32} = 147323 \text{ mm}^4 \quad [3.3.3]$$

d) Importul geometriei în Cosmos Design Star

Modelul barei generate în Autodesk Inventor va fi importat în Design Star.

1. În Design Star, se selectează opțiunea **Open** din meniul **File**.
2. În lista **Look in** a ferestrei **Open** se căuta directorul modelului 3D.
3. În lista **Files of type** se selectează **Autodesk Inventor Files (*.ipt, *.iam)**.
4. Dublu click stânga pe numele fișierului **3_3.ipt** va finaliza operația de import.

e) Crearea studiului de analiză „Incovoiere cu Torsiune”

Se vor parcurge etapele specificate în aplicația 3.1 paragraful e, cu modificarea numelui studiului, care va fi „**Incovoiere cu Torsiune**”.

f) Selectia materialului

Se vor parcurge etapele specificate în aplicația 3.1 paragraful f, selectându-se materialul **Alloy Steel**, cu caracteristicile enunțate la punctul a.

g) Aplicarea restrângerilor și încărcărilor

Bara se va îンcastra pe fața 1. Fixarea constă în anularea tuturor translațiilor, iar forță se aplică pe fața 2. Procedura de aplicare a fixării este identică cu cea de la aplicația 3.1, punctul g. Procedura de aplicare a încărcării este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Load....** Se va activa fereastra **Loads**.
3. Din lista **Load Type** se va selecta opțiunea **Force**.
4. Din lista **Units** se va selecta opțiunea **SI**.
5. Se va activa opțiunea **Directional**.
6. Se va puncta icoana direcțională **X** și în câmpul asociat se introduce valoarea 1000.
7. Se va selecta fața 2 prin click stânga mouse pe aceasta; identificatorul numeric al feței va apărea în zona **Select Geometry - Load Entity** a ferestrei **Loads**.
8. Butonul **OK** va închide procedura de aplicare a încărcării. Față selectată ca sursă de aplicare a încărcării va fi marcată prin săgeți direcționale de culoare roșie, orientate pe direcția X, iar în zona **Visualizer**, se va genera o nouă intrare **Load:1** subordonată intrării **Loads/BC**.

h) Discretizarea în elemente finite

Se vor parcurge procedura specificată în aplicația 3.1 paragraful h. Se vor genera 6591 elemente finite cu 10524 noduri.

i) Calculul studiului de analiză statică

Se vor parcurge procedura specificată în aplicația 3.1 paragraful i.

j) Vizualizarea și interpretarea rezultatelor

Pentru vizualizarea tensiunii Von Mises în încastrare datorate încovoierii și torsiunii, se vor parcurge procedura de la aplicația 3.1 punctul j.

Variata tensiunii $\sigma_{VonMises}$ este evidențiată în figura 3.3.3. Valoarea teoretică rezultată din relația 3.3.1 este de 75.13 MPa. Valoarea maximală a tensiunii oferită de Cosmos Design Star are valoarea 70.5 MPa, deci foarte apropiată de cea teoretică.

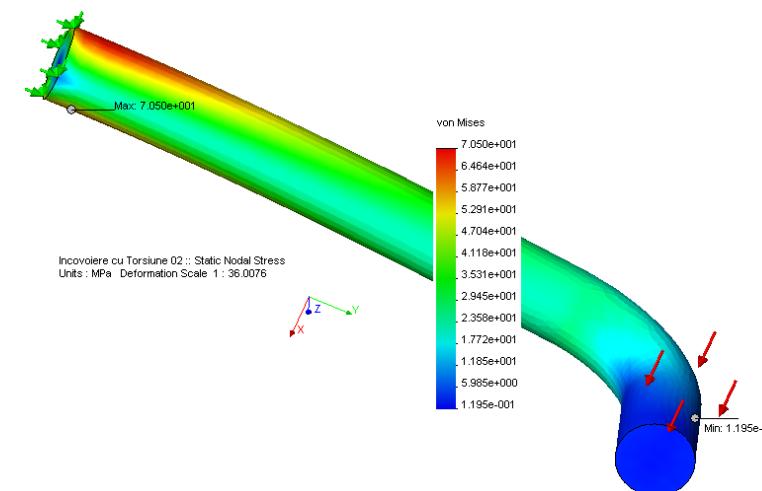


Figura 3.3.3

Pentru vizualizarea tensiunii echivalente Von Mises pe regiuni, se vor parcurge procedurile anterioare, cu următoarele actualizări:

- Se va activa opțiunea de vizualizare **Iso**, în loc de **Fringe**;
- Pentru zona **Settings** se va selecta opțiunea **Mesh** din lista **Boundary Options**, iar prin punctarea butonului colorat asociat se va activa matricea de culori, din care se va selecta culoarea gri pentru discretizare.
- Se va activa zona grafică prin click stânga mouse.
- Se va puncta icoana **Clipping**; va apărea fereastra **Iso Plot Clipping**.
- Din lista **Cut** se va selecta opțiunea **Inside**.
- Se va deplasa slider-ul **Iso Value** la valoarea dorită a tensiunii sau se va impune valoarea dorită în câmpul asociat, urmat de punctarea butonului **Set Value**.

Rezultatul este prezentat în figura 3.3.4, unde se observă regiunea din model pentru care tensiunea este mai mare sau egală decât valoarea 61 MPa. Evident această regiune include cele două zone din apropierea încastrării.

Prin selecția opțiunii **Inside** din lista **Cut** se vor afișa regiunile modelului pentru care valoarea tensiunii este inferioară valorii impuse, figura 3.3.5.

Pentru a vizualiza variația deplasării pe direcția X, procedura este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Displacement – Plot** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Edit Definition...** Se va activa fereastra **Displacement Plot**, figura 2.1.15.
3. În zona **Display** se vor selecta următoarele opțiuni:
 - din lista **Units** se va selecta unitatea de măsură **mm**;
 - din lista **Components** se va selecta mărimea **UX: Displacement (X-dir)**;

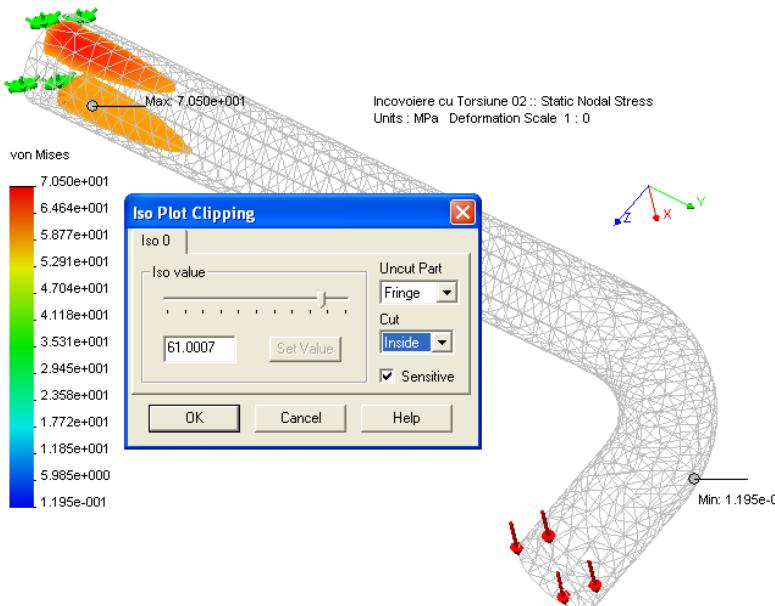


Figura 3.3.4

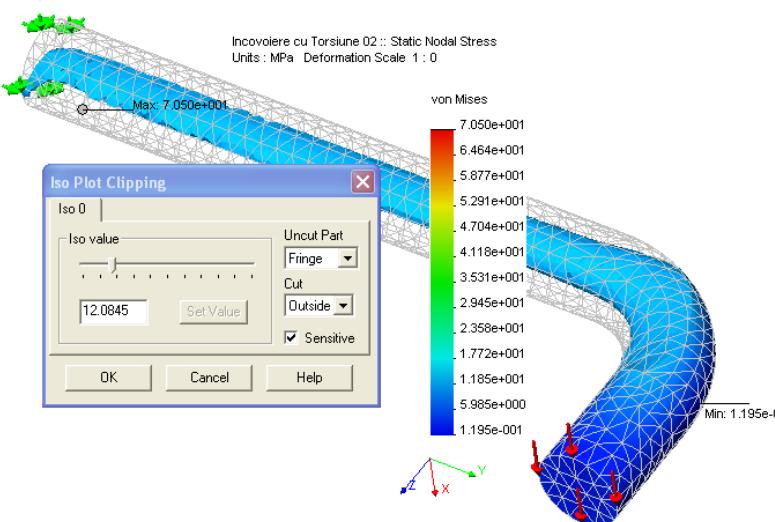


Figura 3.3.5

- se va activa opțiunea de vizualizare **Fringe**, dacă nu este deja activă;
- din lista **Fringe Type** se va selecta opțiunea **Filled, Tone**.

4. Se va puncta butonul **OK**.

Variatia deplasării pe direcția X este evidențiată în figura 3.3.6. Se observă valoarea maximală 0.8818 mm poziționată în dreptul aplicării forței, precum și distribuția variabilă a acesteia în lungul barei, de la valoarea 0 în încastrare, la valoarea maximă. Valoarea teoretică rezultată din relația 3.3.2 este 0.8555 mm, deci cele două valori sunt foarte apropiate.

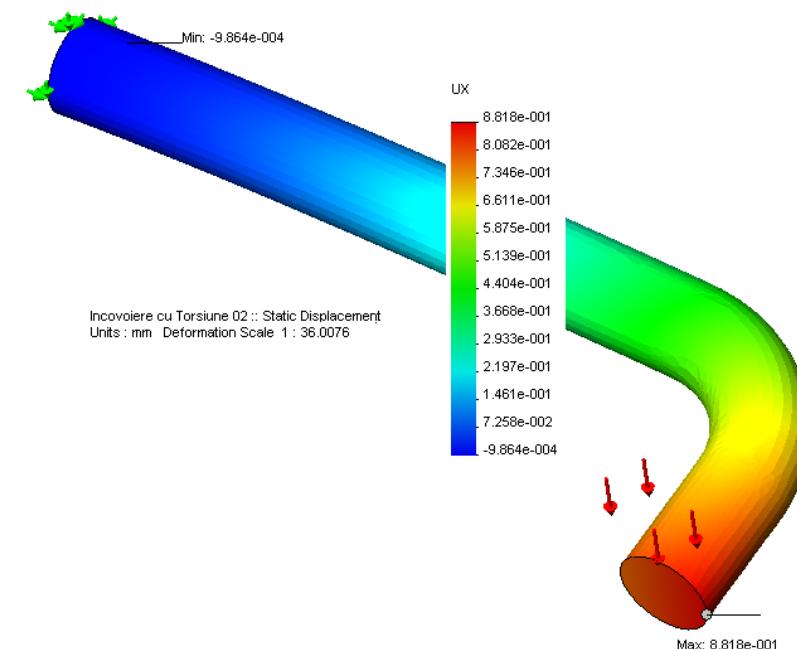


Figura 3.3.6

3.4. Solicitarea unui cadru prismatic

a) Formularea problemei

Să se determine tensiunile în cadrul prismatic, cu dimensiunile din figura 3.4.1, încastrat pe față 1 și solicitat pe muchia 1 de o forță pe direcția Z- cu valoarea $P_Z = -5000 \text{ N}$, figura 3.4.2 și pe față 2 de o presiune distribuită de intensitate $p=2.5 \times 10^5 \text{ N/m}^2$. Materialul barei este oțel, cu modulul de elasticitate longitudinal $E=2.1 \times 10^5 \text{ MPa}$ și coeficientul lui Poisson $\nu=0.3$.

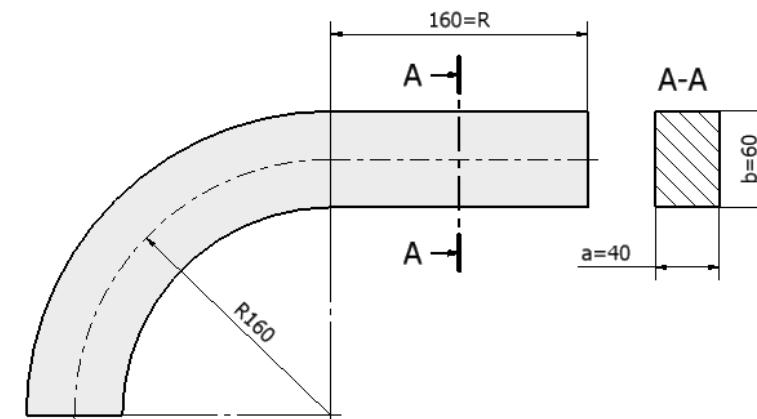


Figura 3.4.1

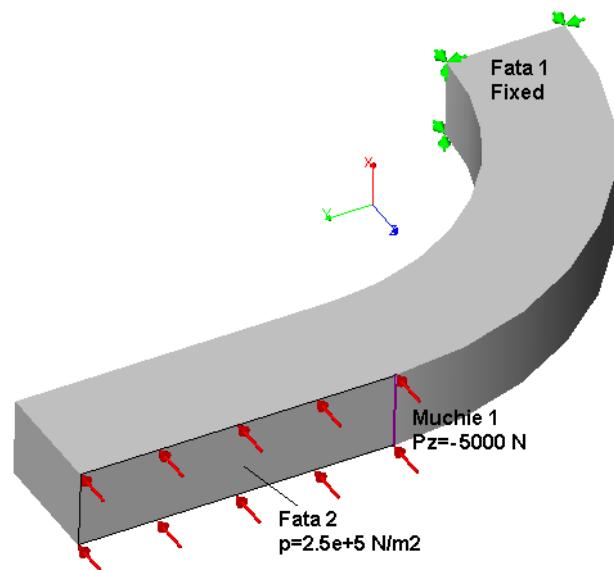


Figura 3.4.2

b) Obiectivele problemei

Obiectivele problemei sunt identice cu cele definite la aplicația 3.1 punctul b.

c) Considerații teoretice

Secțiunea periculoasă este în încastrare, figura 3.4.1, unde:

$$|N| = P + p \cdot R \cdot a = 6600 \text{ N} \quad [3.4.1]$$

$$|M_i| = 1.5 \cdot (p \cdot a) \cdot R^2 + P \cdot R = 1184000 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad [3.4.2]$$

Tensiunile maxime și minime din secțiunea periculoasă au valorile:

$$\sigma_1 = \frac{N}{A} + \frac{M_i}{A \cdot e} \frac{y_1}{R_1} \quad [3.4.3]$$

$$\sigma_2 = \frac{N}{A} - \frac{M_i}{A \cdot e} \frac{y_2}{R_2} \quad [3.4.4]$$

unde:

$$r = \frac{b}{\ln \frac{R_2}{R_1}} = 158.107 \text{ mm} \quad [3.4.5]$$

$$R_1 = R - 0.5 \cdot b = 130 \text{ mm} ; \quad R_2 = R + 0.5 \cdot b = 190 \text{ mm} \quad [3.4.6]$$

$$e = R - r = 1.893 \text{ mm} \quad [3.4.7]$$

$$y_1 = r - R_1 = 28.107 \text{ mm} ; \quad y_2 = R_2 - r = 31.893 \text{ mm} \quad [3.4.8]$$

În final:

$$\sigma_1 = -\frac{6600}{60 \cdot 40} - \frac{1184000 \cdot 28.107}{60 \cdot 40 \cdot 1.893 \cdot 130} = -59.1 \text{ MPa} \quad [3.4.9]$$

$$\sigma_2 = -\frac{6600}{60 \cdot 40} + \frac{1184000 \cdot 31.893}{60 \cdot 40 \cdot 1.893 \cdot 190} = +41 \text{ MPa} \quad [3.4.10]$$

d) Importul geometriei în Cosmos Design Star

Modelul barei generate în Autodesk Inventor va fi importat în Design Star.

1. În Design Star, se selectează opțiunea **Open** din meniu **File**.
2. În lista **Look in** a ferestrei **Open** se căuta direcția directorului modelului 3D.
3. În lista **Files of type** se selectează **Autodesk Inventor Files (*.ipt, *.iam)**.
4. Dublu click stânga pe numele fișierului **3_4.ipt** va finaliza operația de import.

e) Crearea studiului de analiză „Incovoiere cu Compresiune”

Se vor parurge etapele specificate în aplicația 3.1 paragraful e, cu modificarea numelui studiului, care va fi „**Incovoiere cu Compresiune**”.

f) Selectia materialului

Se vor parurge etapele specificate în aplicația 3.1 paragraful f, selectându-se materialul **Alloy Steel**, cu caracteristicile enunțate la punctul a.

g) Aplicarea restrângerilor și încărcărilor

Bara se va încăstra pe față 1. Fixarea constă în anularea tuturor translațiilor, iar forță se aplică pe față 2. Procedura de aplicare a fixării este identică cu cea de la aplicația 3.1, punctul g. Procedura de aplicare a forței $P = 5000 \text{ N}$ este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Load....**. Se va activa fereastra **Loads**.
3. Din lista **Load Type** se va selecta opțiunea **Force**.
4. Din lista **Units** se va selecta opțiunea **SI**.
5. Se va activa opțiunea **Directional**.
6. Se va puncta icoana direcțională **Z** și în câmpul asociat se introduce valoarea -5000 .
7. Se va selecta muchia 1 prin click stânga mouse pe aceasta; identificatorul numeric al muchiei va apărea în zona **Select Geometry – Load Entity** a ferestrei **Loads**.
8. Butonul **OK** va închide procedura de aplicare a încărcării.

Procedura de aplicare a presiunii este similară cu cea anterioară, cu următoarele diferențe:

- din lista **Load Type** se selectează opțiunea **Uniform Pressure**;
- în câmpul **Value** se introduce valoarea $2.5e5$ (exprimată în N/m^2);
- se va selecta față 2.

h) Discretizarea în elemente finite

Se va parurge procedura specificată în aplicația 3.1 paragraful h. ”. Se vor genera 6502 elemente finite cu 10529 noduri.

i) Calculul studiului de analiză statică

Se va parcurge procedura specificată în aplicația 3.1 paragraful i.

j) Vizualizarea și interpretarea rezultatelor

Pentru vizualizarea tensiunii σ_z în încastrare datorate încovoierii și torsiunii, se parcurge procedura următoare:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Stress – Plot** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Edit Definition....** Se va activa fereastra **Stress Plot**.
3. În zona **Display** se vor selecta următoarele opțiuni, figura 2.1.12:
 - din lista **Units** se va selecta unitatea de măsură **MPa**;
 - din lista **Components** se va selecta mărimea **SZ: Normal Stress (Z-dir)**;
 - se va activa opțiunea **Node Values**, dacă nu este deja activă;
 - se va activa opțiunea de vizualizare **Fringe**, dacă nu este deja activă;
 - din lista **Fringe Type** se va selecta opțiunea **Filled, Tone**.
4. Pentru zona **Settings** se va impune opțiunea dezactivare opțiune **Show deformed shape with scale factor**.
5. Se va puncta butonul **OK**.

Variata tensiunii σ_z este evidențiată în figura 3.4.3.

Prelucrarea a două puncte caracteristice în zona încastrării prin icoana **Probe** oferă valoarea tensiunilor în aceste puncte, respectiv valorile -57.78 MPa și 48.9 MPa. Valorile teoretice rezultate din relațiile 3.4.9 și 3.4.10 sunt: -59.1 MPa respectiv +41 MPa, deci valorile sunt apropiate.

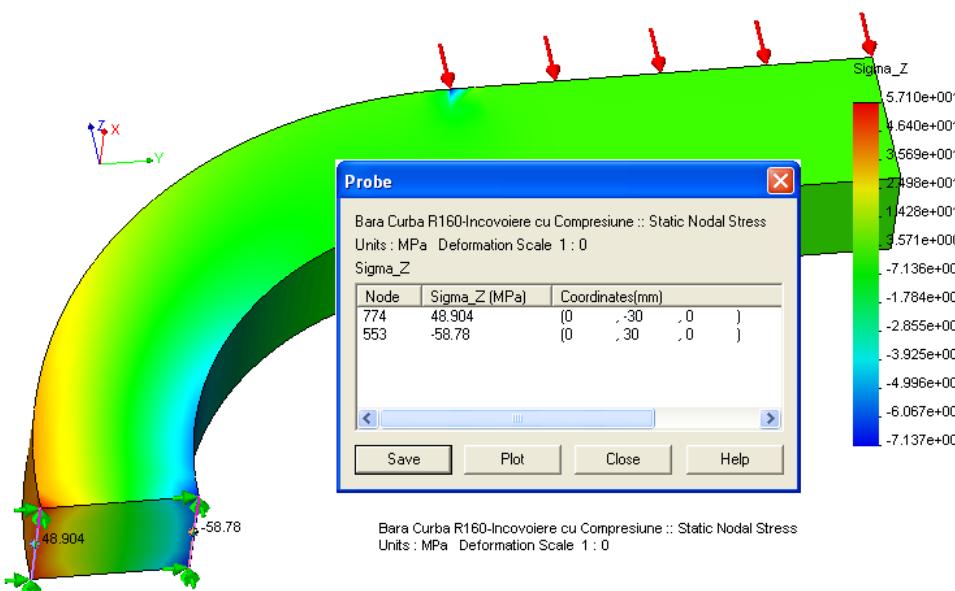


Figura 3.4.3

3.5. Solicitarea unui sistem de două bare prismatice

a) Formularea problemei

Să se determine tensiunile și deplasările pentru sistemul de bare prismatice, cu dimensiunile din figura 3.5.1, încastrat pe fața 1 a barei 1, rezemmat pe muchiile 1 și 2 a barei 2 și solicitat pe fața 2 a barei 1 de o forță pe direcția Z- cu valoarea $P_z = -17.000$ N, figura 3.5.2. Materialul barelor este oțel, cu modulul de elasticitate longitudinal $E = 2.1 E+5$ MPa și coeficientul lui Poisson $v = 0.3$.

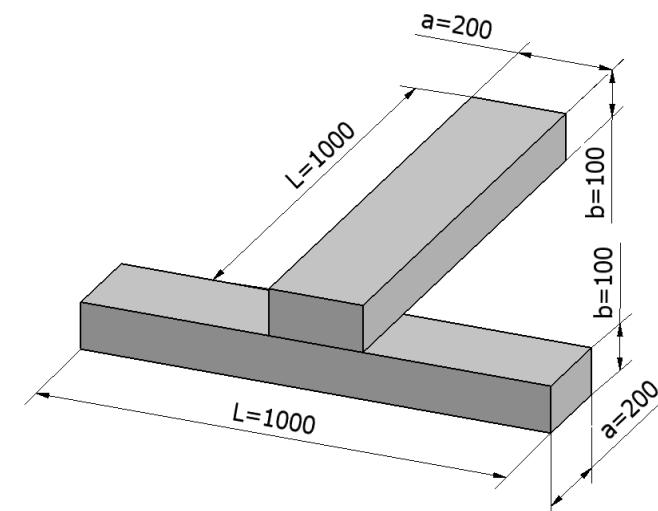


Figura 3.5.1

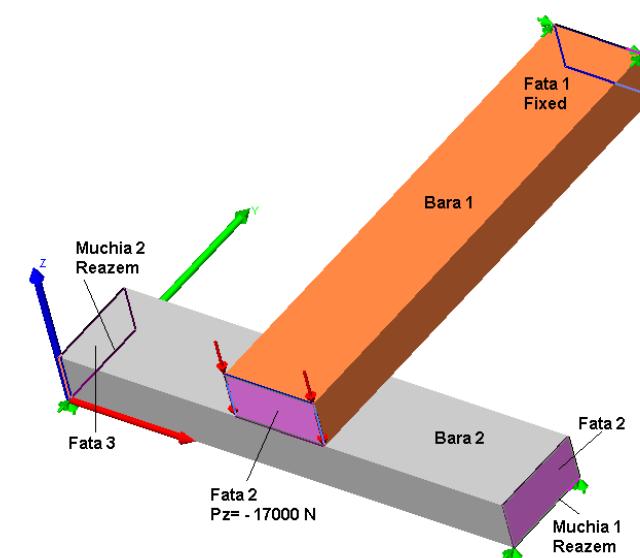


Figura 3.5.2

b) Obiectivele problemei

Obiectivele problemei sunt identice cu cele definite la aplicația 3.1 punctul b, cu o etapă suplimentară de definire a tipului de contact dintre bare.

c) Considerații teoretice

Forța P se repartizează pe cele două bare astfel ca suma forțelor pe bare să fie egală cu forța totală:

$$P = P_1 + P_2 \quad [3.5.1]$$

Deplasarea barei 1 în punctul de aplicare al forței este egală cu deplasarea barei 2 în același punct:

$$f_1 = \frac{P_1 \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I} = f_2 = \frac{P_2 \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I} \Rightarrow P_1 = \frac{1}{16} P_2 \quad [3.5.2]$$

Rezolvând sistemul format de ecuațiile [3.5.1] și [3.5.2] rezultă valorile forțelor pe cele două bare:

$$P_1 = 1000 \text{ N} ; P_2 = 16000 \text{ N} \quad [3.5.3]$$

Valorile tensiunilor datorate încovoierii pentru cele două bare se calculează prin relațiile:

$$\sigma_1 = \frac{M_{\max 1}}{W} = \frac{F_1 \cdot L}{b^2 \cdot a / 6} = 3 \text{ MPa} \quad [3.5.4]$$

$$\sigma_2 = \frac{M_{\max 2}}{W} = \frac{F_2 \cdot L}{b^2 \cdot a / 6} = 12 \text{ MPa} \quad [3.5.5]$$

Deplasările barelor în punctul de aplicare al forțelor au valoarea:

$$f_1 = f_2 = 0.0952 \text{ mm} \quad [3.5.6]$$

Reacțiunea în încastrare rezultă din relația:

$$R_1 = P_1 = 1000 \text{ N} \quad [3.5.7]$$

iar reacțiunile pe fețele 2 și 3 rezultă din relația:

$$R_2 = R_3 = P_2 / 2 = 8000 \text{ N} \quad [3.5.8]$$

d) Importul geometriei în Cosmos Design Star

Modelul barei generate în Autodesk Inventor va fi importat în Design Star.

1. În Design Star, se selectează opțiunea **Open** din meniul **File**.
2. În lista **Look in** a ferestrei **Open** se locația directorului modelului 3D.
3. În lista **Files of type** se selectează **Autodesk Inventor Files (*.ipt, *.iam)**.
4. Dublu click stânga pe numele fișierului **3_5.ipt** va finaliza operația de import.

e) Crearea studiului de analiză „SSN 01”

Se vor parcurge etapele specificate în aplicația 3.1 paragraful e, cu modificarea numelui studiului, care va fi „SSN 01” – numele fiind generat de abrevierea „sistem static nedeterminat”.

f) Selectia materialului

Se vor parcurge etapele specificate în aplicația 3.1 paragraful f, selectându-se materialul **Alloy Steel**, cu caracteristicile enunțate la punctul a.

g) Aplicarea restrângerilor și încărcărilor

Bara se va încadra pe fața 1. Fixarea constă în anularea tuturor translațiilor pentru fața 1 și în anularea translațiilor pe direcțiile Y și Z pe muchiile 1 și 2, iar forța se aplică pe fața 2. Procedura de aplicare a fixării pe fața 1 este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Restraint....** Se va activa fereastra **Restraint**.
3. Din lista **Restrain Type** se va selecta opțiunea **Fixed**.
4. Din lista **Units** se va selecta opțiunea **mm**.
5. Se va selecta fața 1 prin click stânga mouse pe aceasta; identificatorul numeric al feței va apărea în zona **Select Geometry - Restrain Entity** a ferestrei **Restrain**. Pentru accesarea feței bara se poate roti prin icoana **Rotate**.
6. Butonul **OK** va încheia procedura de aplicare a restrângerii. Față selectată ca sursă de aplicare a restrângerii va fi marcată prin săgeți direcționale de culoare verde, figura 3.1.1, iar în zona **Visualizer**, se va genera o nouă intrare **Restrain:1** subordonată intrării **Loads/BC**.

Pentru aplicarea restrângerii corespunzătoare reazemelor (muchia 1 și 2), procedura este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Restraint....** Se va activa fereastra **Restraint**.
3. Din lista **Restrain Type** se va selecta opțiunea **Prescribed**.
4. Din lista **Units** se va selecta opțiunea **mm**.
5. Se va puncta icoana direcțională Y și în câmpul asociat se introduce valoarea 0.
6. Se va puncta icoana direcțională Z și în câmpul asociat se introduce valoarea 0.
7. Se va selecta muchia 1 prin click stânga mouse pe aceasta și apoi, cu tasta **Ctrl** menținută apăsat, se va selecta muchia 2; identificatorii numerici al muchiilor vor apărea în zona **Select Geometry - Restrain Entity** a ferestrei **Restrain**.
8. Butonul **OK** va încheia procedura de aplicare a restrângerilor. Muchiile selectate ca sursă de aplicare a restrângerilor vor fi marcate prin săgeți direcționale de culoare verde, iar în zona **Visualizer**, se va genera o nouă intrare **Restrain:2** subordonată intrării **Loads/BC**.

Pentru aplicarea forței, procedura este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Load....** Se va activa fereastra **Loads**.
3. Din lista **Load Type** se va selecta opțiunea **Force**.
4. Din lista **Units** se va selecta opțiunea **SI**.
5. Se va activa opțiunea **Directional**.
6. Se va puncta icoana direcțională Z și în câmpul asociat se introduce -17000.
7. Se va selecta fața 2 prin click stânga mouse pe aceasta; identificatorul numeric al feței va apărea în zona **Select Geometry - Load Entity** a ferestrei **Loads**.
8. Butonul **OK** va încheia procedura de aplicare a încărcării.

h) Definirea tipului de contact dintre bare

1. Click dreapta mouse pe intrarea Contact/Gaps în zona Visualizer.
2. Se selectează opțiunea **Touching Faces: Node to Node**.

i) Discretizarea în elemente finite

Se va parcurge procedura specificată în aplicația 3.1 paragraful h. Se vor genera 7036 elemente finite cu 11577 noduri.

j) Calculul studiului de analiză statică

Se va parcurge procedura specificată în aplicația 3.1 paragraful i.

k) Vizualizarea și interpretarea rezultatelor

Vizualizarea tensiunii σ_y pentru bara 1, figura 3.5.3, implică parcurgerea procedurii de la pct. j aplicația 3.4, cu selecția opțiunii **SY: Normal Stress (Y-dir)**. Se observă valoarea maximă din încastrare (față 1) 3.346 MPa, comparativ cu valoarea teoretică 3 MPa, rezultată din relația 3.5.4, deci valorile sunt apropiate.

Pentru vizualizarea tensiunii σ_x pentru bara 2 se parcurge procedura anterioară cu selecția opțiunii **SX: Normal Stress (X-dir)**. Variația tensiunii σ_x este evidențiată în figura 3.5.4. Se observă valoarea maximă în dreptul poziției de aplicare al forței 10.98 MPa, comparativ cu valoarea teoretică 12 MPa, rezultată din relația 3.5.5, deci valorile sunt apropiate.

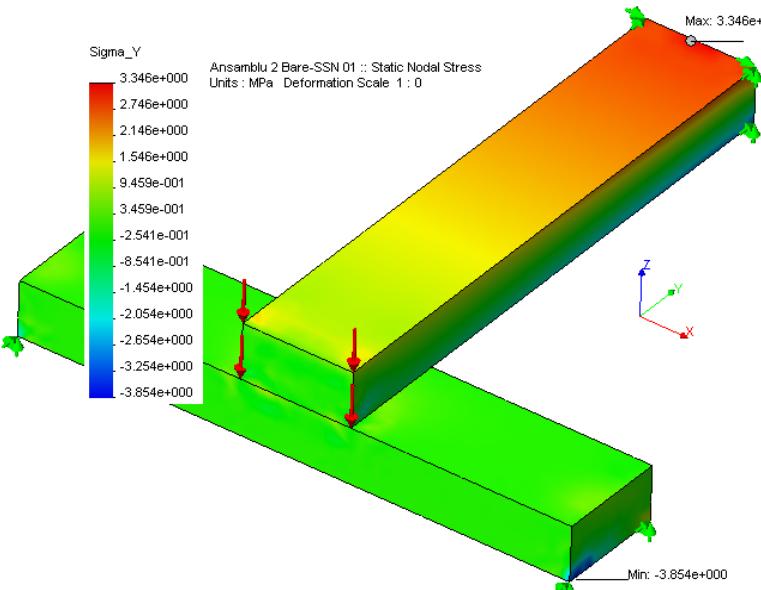


Figura 3.5.3

deplasării în acest punct: -0.096072 mm, comparativ cu valoarea 0.0952 mm rezultată din relația 3.5.6 deci valorile sunt apropiate.

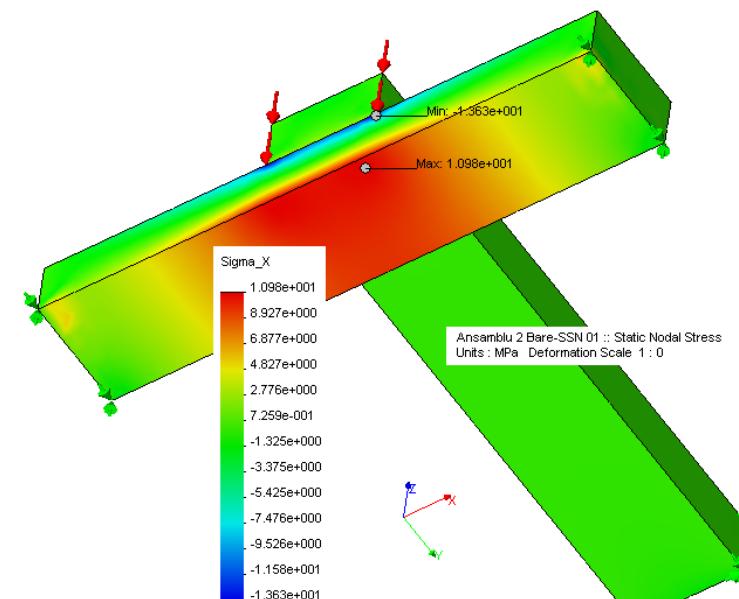


Figura 3.5.4

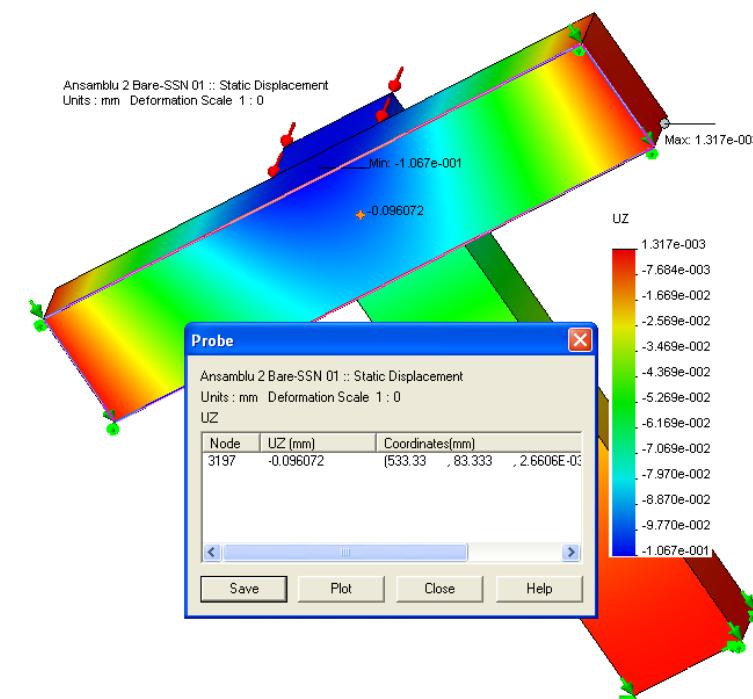


Figura 3.5.5

Pentru a vizualiza variația deplasării pe direcția Z, procedura este similară cu cea de la aplicația 3.3 punctul j, cu selecția opțiunii **UZ: Displacement (Z-dir)**.

Variația deplasării pe direcția Z este evidențiată în figura 3.5.5. Preluarea unui punct caracteristic în zona aplicării forței prin icoana **Probe** oferă valoarea

Pentru a determina valoarea reacțiunilor se va urma procedura

1. Se va activa fereastra **Reaction Force**, din meniu principal în succesiunea **Tools→Reaction Force** sau prin punctarea icoanei **Reaction Force** din trusa de instrumente **Result Tools**.
2. Se selectează față 1, 2 sau 3.
3. Se puntează butonul **Update**.

Valoarea reacției pentru întregul model este evidențiată în fereastra **Reaction Force**. Se poate observa valoarea forței rezultante 17000 N pentru întregul model.

Pentru față 1 reacția este de 736.14 N, comparativ cu valoarea teoretică $R_1=1000$ N din relația 3.5.7.

Pentru fețele 2 și 3 reacția este de 8132.9 N, comparativ cu valoarea teoretică $R_2=R_3=8000$ N din relația 3.5.8.

3.6. Solicitarea unei grinzi dublu încastrate

a) Formularea problemei

Să se determine tensiunile și reacțiunile pentru grinda cu dimensiunile $a = 54$ mm, $b = 27$ mm și lungimea $L = 1000$ mm din figura 3.6.1, dublu încastrată pe fețele 1 și 2 și solicitată pe muchia 1 de o forță pe direcția Z- cu valoarea $P_1 = 2 \times P = -2000$ N respectiv pe muchia 2 de o forță pe direcția Z- cu valoarea $P_2 = 3 \times P = -3000$ N, unde $P = 1000$ N. Materialul grinzi este oțel, cu modulul de elasticitate longitudinal $E = 2.1 \text{ E}+5$ MPa și coeficientul lui Poisson $\nu = 0.3$.

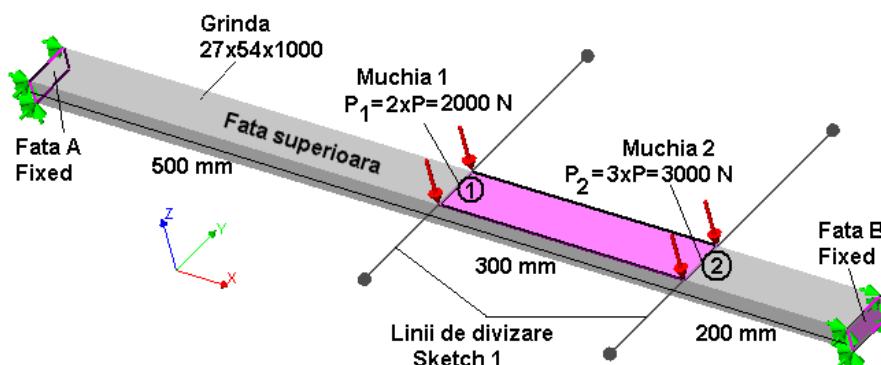


Figura 3.6.1

b) Obiectivele problemei

Obiectivele problemei sunt identice cu cele definite la aplicația 3.1 punctul b.

Fața superioară rezultă din geometria modelului ca o singură entitate. Pentru a se putea aplica forțele pe muchiile 1 și 2, aceste muchii trebuie create, prin divizarea feței superioare în dreptul liniilor de divizare. Această operație se va efectua în Cosmos Design Star.

c) Considerații teoretice

Momentele în cele două încastrări respectiv în dreptul celor două muchii rezultă din relațiile:

$$M_A = -0.346 \cdot P \cdot L = -346000 \text{ Nmm} \quad [3.6.1]$$

$$M_1 = 0.3 \cdot P \cdot L = 300000 \text{ Nmm} \quad [3.6.2]$$

$$M_2 = -0.104 \cdot P \cdot L = -104000 \text{ Nmm} \quad [3.6.3]$$

$$M_B = -0.634 \cdot P \cdot L = -634000 \text{ Nmm} \quad [3.6.4]$$

iar tensiunile în aceleși poziții rezultă din:

$$\sigma_A = \frac{M_A}{W} = -52.736 \text{ MPa} \quad [3.6.5]$$

$$\sigma_1 = \frac{M_1}{W} = 45.725 \text{ MPa} \quad [3.6.6]$$

$$\sigma_2 = \frac{M_2}{W} = -15.851 \text{ MPa} \quad [3.6.7]$$

$$\sigma_B = \frac{M_B}{W} = -96.632 \text{ MPa} \quad [3.6.8]$$

unde:

$$W = \frac{a \cdot b^2}{6} = 6561 \text{ mm}^3 \quad [3.6.9]$$

Reacțiunile în încastrări rezultă din relațiile:

$$R_A = 1.312 \cdot P = 1312 \text{ N} \quad [3.6.10]$$

$$R_B = 3.688 \cdot P = 3688 \text{ N} \quad [3.6.11]$$

d) Importul geometriei în Cosmos Design Star

Modelul barei generate în Autodesk Inventor va fi importat în Design Star.

1. În Design Star, se selectează opțiunea **Open** din meniu **File**.
2. În lista **Look in** a ferestrei **Open** se locația directorului modelului 3D.
3. În lista **Files of type** se selectează **Autodesk Inventor Files (*.ipt, *.iam)**.
4. Dublu click stânga pe numele fișierului **3_6.ipt** va finaliza operația de import.

e) Crearea studiului de analiză „SSN Dubla încastrare”

Se vor parurge etapele specificate în aplicația 3.1 paragraful e, cu modificarea numelui studiului, care va fi „**SSN Dubla încastrare**” – numele fiind generat de abrevierea „sistem static nedeterminat”.

f) Selectia materialului

Se vor parurge etapele specificate în aplicația 3.1 paragraful f, selectându-se materialul **Alloy Steel**, cu caracteristicile enunțate la punctul a.

g) Trasarea liniilor de divizare

Schițarea liniilor de divizare se va realiza în planul **Plane1**, creat automat de către Design Star în locația **Reference Geometry** din **Visualizer** a interfeței Cosmos Design Star. Dacă numele acestui plan nu este vizibil, se expandează locația **Reference Geometry** prin click stânga mouse pe semnul “+” asociat acesteia. Se vor activa următoarele truse de instrumente: **Sketch**, **Sketch Relations**, **Sketch Tools**, prin opțiunea corespunzătoare preluată din meniu principal în succesiunea **View→Toolbar**.

Procedura de lucru este următoarea:

1. Click stânga mouse pe **Plane1** în locația **Reference Geometry** din **Visualizer**;
2. Click stânga mouse pe icoana **Sketch** din trusa de instrumente **Sketch**;
3. Din trusa de instrumente **Orientation** se va selecta vederea **Front** pentru a privi din direcție perpendiculară pe planul de schițare;
4. Se punctează icoana **Grid** din trusa de instrumente **Sketch**; va apărea fereastra **Sketch Properties**, în care se vor specifica următoarele mărimi: unitatea de măsură **mm** din lista **Length**, se vor activa controalele **Display Grid** și **Snap to Points**;
5. Prin comanda **Line** și se trasează o linie mărime și poziție orientată după direcția Y;
6. Prin icoana **Dimension** se dimensionează poziția liniei la cota 500 față de originea sistemului, figura 3.6.2.
7. Prin comanda **Line** și se trasează încă o linie mărime și poziție orientată după direcția Y;
8. Prin icoana **Dimension** se dimensionează poziția liniei la cota 300 față de linia anterioară, figura 3.6.2.
9. Se punctează icoana **Save and exit** se ieșe din schițarea geometriei, cu salvarea acesteia; în consecință, în locația **Sketch** din **Visualizer**, va apărea intrarea **Sketch 1**, subordonată acesteia.

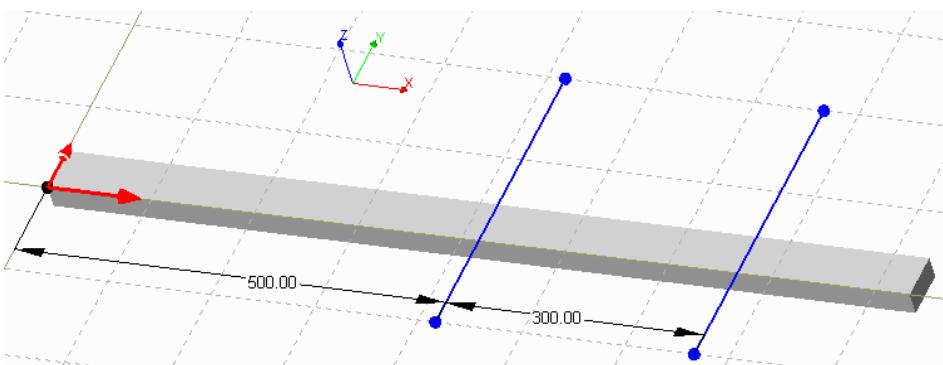


Figura 3.6.2

h) Divizarea suprafeței superioare în două fețe

Liniile de divizare se va utiliza pentru a diviza suprafața superioară în trei fețe, astfel se vor crea muchiile 1 și 2 pentru aplicarea forțelor. Procedura este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe **Part1** din locația **Geometry** din zona **Visualizer**;
2. Selecție opțiune **Edit/Define Geometry**; va apărea fereastra **Imprint on Solid/Sheet Geometry**, figura 3.6.3.
3. Se selectează față superioară; numele acesteia apare în zona **Selected faces**;
4. Din lista **Options** se selectează opțiunea **Imprint** din dreptul schiței **Sketch 1**;
5. Butonul **OK** va finaliza procedura; proiecția liniilor de divizare pe față superioară va diviza această față în trei fețe și se vor crea astfel muchiile 1 și 2.

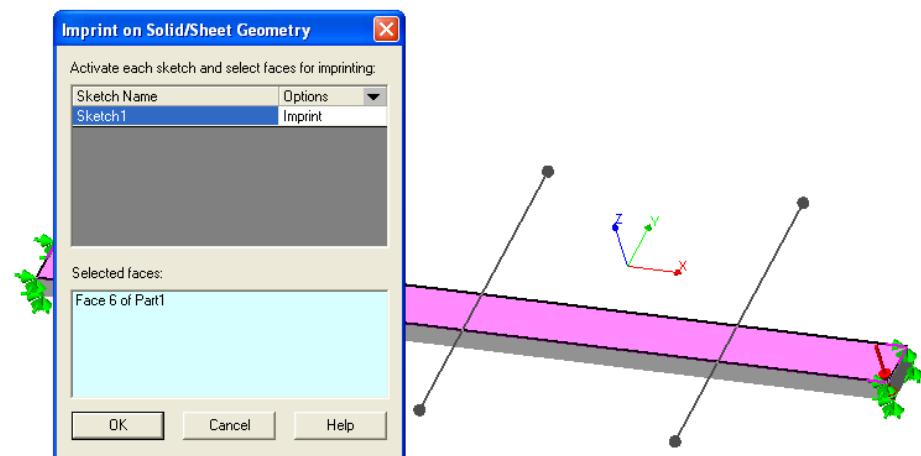


Figura 3.6.3

i) Aplicarea restrângerilor și încărcărilor

Grinda se va încadra pe față A și pe față B. Fixarea constă în anularea tuturor translațiilor, iar forțele se aplică pe muchiile 1 și 2 anterior create.

Procedura de aplicare a fixării pe față A și B este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Restraint....**. Se va activa fereastra **Restraint**.
3. Din lista **Restrain Type** se va selecta opțiunea **Fixed**.
4. Din lista **Units** se va selecta opțiunea **mm**.
5. Se va selecta față A prin click stânga mouse pe aceasta; identificatorul numeric al feței va apărea în zona **Select Geometry - Restrain Entity** a ferestrei **Restrain**. Pentru accesarea feței bara se poate roti prin icoana **Rotate**.
6. Cu tasta **CTRL** menținută apăsat se va selecta față B; identificatorul numeric al feței va apărea în zona **Select Geometry - Restrain Entity** a ferestrei **Restrain**.
7. Butonul **OK** va încheia procedura de aplicare a restrângerii. Cele 2 fețe selectate ca sursă de aplicare a restrângerii vor fi marcate prin săgeți direcționale de culoare verde, figura 3.6.1, iar în zona **Visualizer**, se va genera o nouă intrare **Restrain:1** subordonată intrării **Loads/BC**.

Pentru aplicarea forței $P_1 = 2000 \text{ N}$, procedura este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.

2. Se selectează opțiunea **Load....** Se va activa fereastra **Loads**.
3. Din lista **Load Type** se va selecta opțiunea **Force**.
4. Din lista **Units** se va selecta opțiunea **SI**.
5. Se va activa opțiunea **Directional**.
6. Se va puncta icoana direcțională **Z** și în câmpul asociat se introduce -2000.
7. Se va selecta muchia 1 prin click stânga mouse pe aceasta; identificatorul numeric al muchiei va apărea în zona **Select Geometry–Load Entity** a ferestrei **Loads**.
8. Butonul **OK** va încheia procedura de aplicare a încărcării.

Se repetă procedura pentru aplicarea forței $P_2 = 3000$ N, procedura fiind similară cu cea anterioară, modificările fiind:

- valoarea forței este de -3000 N;
- forța se va aplica pe muchia 2.

j) Discretizarea în elemente finite

Se va parcurge procedura specificată în aplicația 3.1 paragraful h.. Se vor genera 6736 elemente finite cu 11675 noduri.

k) Calculul studiului de analiză statică

Se va parcurge procedura specificată în aplicația 3.1 paragraful i.

D) Vizualizarea și interpretarea rezultatelor

Vizualizarea tensiunii σ_x pentru bara 1, figura 3.6.4, implică parcurgerea procedurii de la pct. j aplicația 3.4, cu selecția opțiunii **SX: Normal Stress (X-dir)**. Pentru fața opusă celei superioare preluarea mai multor puncte caracteristice prin icoana **Probe**, care să includă și zonele corespunzătoare celor două încastrări respectiv a celor două muchii, oferă valoarea tensiunii în aceste puncte:

- față A – valoare măsurată / teoretică -54.56 MPa / -52.736 relația 3.6.5;
- muchia 1 – valoare măsurată / teoretică 41.163 MPa / 45.725 relația 3.6.6;
- muchia 2 – valoare măsurată / teoretică -14.831 MPa / -15.851 relația 3.6.7;
- față B – valoare măsurată / teoretică -95.232 MPa / -96.632 relația 3.6.8.

Figura 3.6.4 prezintă variația tensiunii în lungul grinziei, generată prin butonul **Plot** al ferestrei **Probe**.

Pentru a determina valoarea reacțiunilor se va urma procedura

1. Se va activa fereastra **Reaction Force**, din meniu principal în succesiunea **Tools→ Reaction Force** sau prin punctarea icoanei **Reaction Force** din trusa de instrumente **Result Tools**.
2. Se selectează față A sau B și se punctează butonul **Update**.

Valoarea reacționii pentru întregul model este evidențiată în fereastra **Reaction Force**. Se poate observa valoarea forței rezultante 5000.6 N pentru întregul model. Pentru față A reacționează este de 1311.5 N, figura 3.6.5, comparativ cu valoarea teoretică $R_A = 1312$ N din relația 3.6.10. Pentru față B reacționează este de 3689.3 N, figura 3.6.6, comparativ cu valoarea teoretică $R_B = 3688$ N din relația 3.6.11.

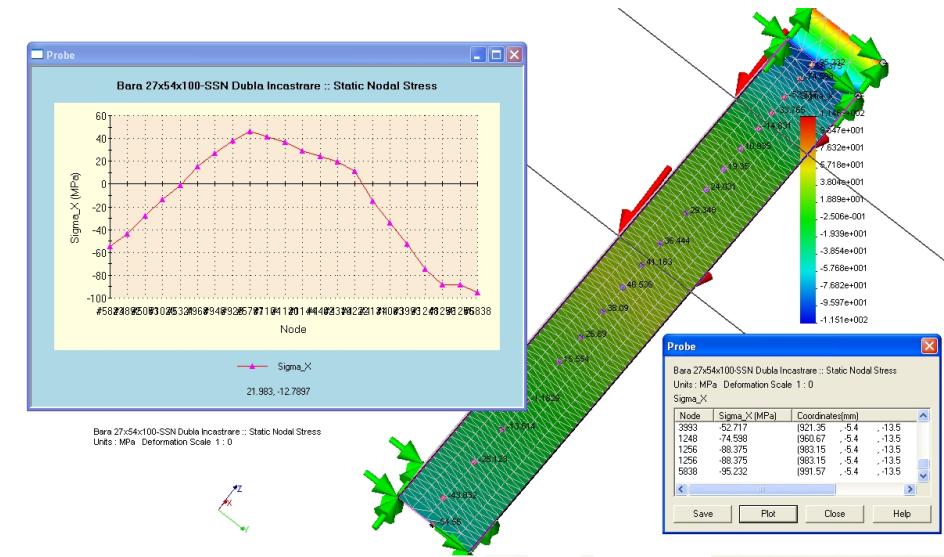


Figura 3.6.4

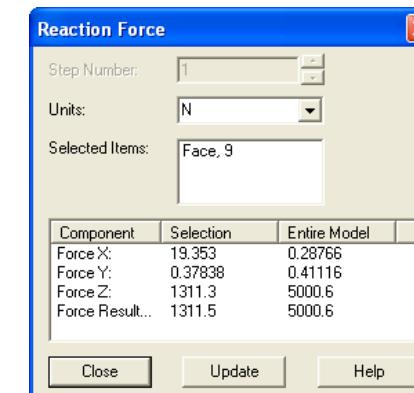


Figura 3.6.5

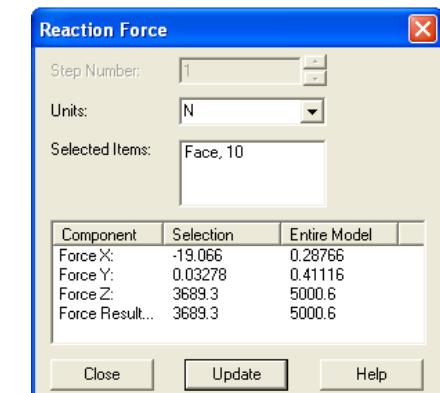


Figura 3.6.6

3.7. Solicitarea unei grinzi încastrate la un capăt și rezemate la capătul opus

a) Formularea problemei

Să se determine tensiunile și reacțiunile pentru grinda cu dimensiunile $a = 50$ mm și lungimea $L = 1000$ mm din figura 3.7.1, încastrată pe față 1, rezemată pe muchia 2 și solicitată pe muchia 3 de o forță pe direcția $Z+$ cu valoarea $P_Z = 10.000$ N. Materialul grinziei este oțel, cu modulul de elasticitate longitudinal $E = 2.1 \text{ E}+5$ MPa și coeficientul lui Poisson $v = 0.3$.

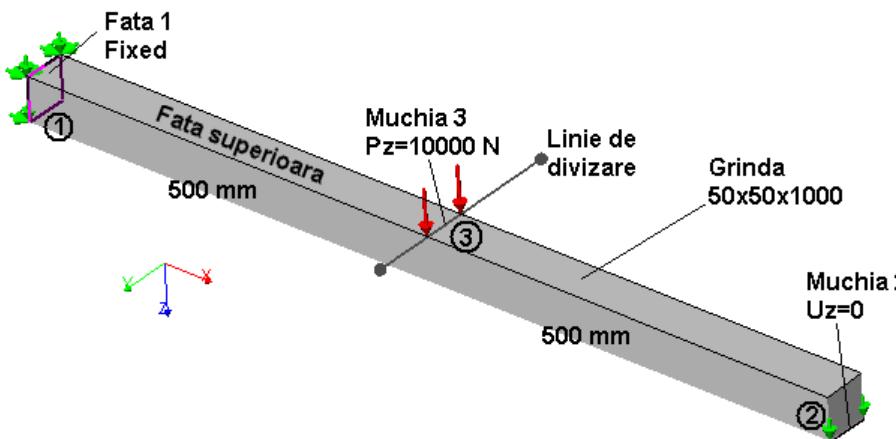


Figura 3.7.1

b) Obiectivele problemei

Obiectivele problemei sunt identice cu cele definite la aplicația 3.1 punctul b.

Fața superioară rezultă din geometria modelului ca o singură entitate. Pentru a se putea aplica forță pe muchia 3, această muchie trebuie creată, prin divizarea feței superioare în dreptul liniei de divizare. Această operație se va efectua în Cosmos Design Star.

c) Considerații teoretice

Momentele în punctele 1 și 3 rezultă din relațiile:

$$M_1 = M_{\max} = \frac{6}{32} \cdot P_z \cdot L = 1875000 \text{ Nmm} \quad [3.7.1]$$

$$M_3 = -\frac{5}{32} \cdot P_z \cdot L = -1562500 \text{ Nmm} \quad [3.7.2]$$

iar tensiunile în aceleași poziții rezultă din:

$$\sigma_1 = \frac{M_1}{W} = 90 \text{ MPa} \quad [3.7.3]$$

$$\sigma_3 = \frac{M_3}{W} = -75 \text{ MPa} \quad [3.7.4]$$

unde:

$$W = \frac{a^3}{6} = 20833.33 \text{ mm}^3 \quad [3.7.5]$$

Reacțiunile în punctele 1 și 2 rezultă din relațiile:

$$R_1 = \frac{1}{16} \cdot P_z = 6875 \text{ N} \quad [3.7.6]$$

$$R_2 = \frac{5}{16} \cdot P_z = 3125 \text{ N} \quad [3.7.7]$$

d) Importul geometriei în Cosmos Design Star

- Modelul barei generate în Autodesk Inventor va fi importat în Design Star.
- În Design Star, se selectează opțiunea **Open** din meniu **File**.
 - În lista **Look in** a ferestrei **Open** se căuta directorul modelului 3D.
 - În lista **Files of type** se selectează **Autodesk Inventor Files (*.ipt, *.iam)**.
 - Dublu click stânga pe numele fișierului **3_7.ipt** va finaliza operația de import.

e) Crearea studiului de analiză „SSN Incastrare reazem”

Se vor parcurge etapele specificate în aplicația 3.1 paragraful e, cu modificarea numelui studiului, care va fi „**SSN Incastrare reazem**” – numele fiind generat de abrevierea „sistem static nedeterminat”.

f) Selectia materialului

Se vor parcurge etapele specificate în aplicația 3.1 paragraful f, selectându-se materialul **Alloy Steel**, cu caracteristicile enunțate la punctul a.

g) Trasarea liniilor de divizare

Schițarea liniei de divizare se va realiza în planul **Plane1**, creat automat de către Design Star în locația **Reference Geometry** din **Visualizer** a interfeței Cosmos Design Star. Dacă numele acestui plan nu este vizibil, se expandează locația **Reference Geometry** prin click stânga mouse pe semnul “+” asociat acesteia. Se vor activa următoarele truse de instrumente: **Sketch**, **Sketch Relations**, **Sketch Tools**, prin opțiunea corespunzătoare preluată din meniu principal în succesiunea **View→Toolbar**.

Procedura de lucru este următoarea:

- Click stânga mouse pe **Plane1** în locația **Reference Geometry** din **Visualizer**;
- Click stânga mouse pe icoana **Sketch** din trusa de instrumente **Sketch**;
- Din trusa de instrumente **Orientation** se va selecta vederea **Front** pentru a privi din direcție perpendiculară pe planul de schițare;
- Se puntează icoana **Grid** din trusa de instrumente **Sketch**; va apărea fereastra **Sketch Properties**, în care se vor specifica următoarele mărimi: unitatea de măsură **mm** din lista **Length**, se vor activa controalele **Display Grid** și **Snap to Points**;

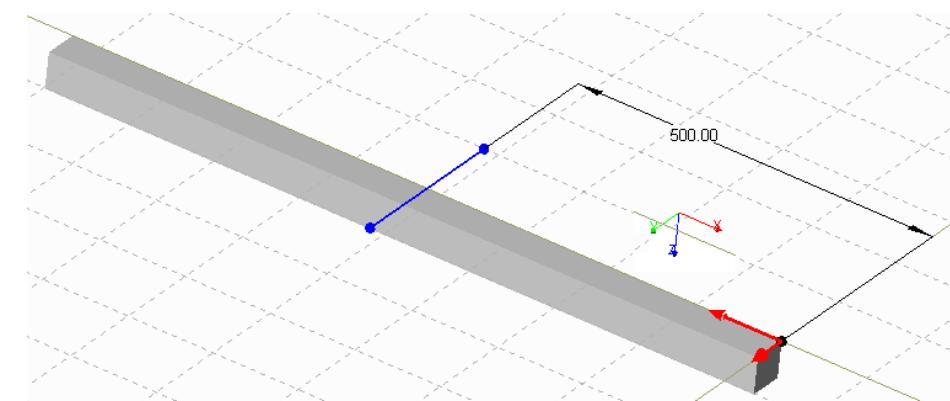


Figura 3.7.2

5. Prin comanda **Line** și se trasează o linie mărime și poziție orientată după direcția Y;
6. Prin icoana **Dimension** se dimensionează poziția liniei la cota 500 față de originea sistemului, figura 3.7.2.
7. Se puntează icoana **Save and exit** se ieșe din schițarea geometriei, cu salvarea acesteia; în consecință, în locația **Sketch** din **Visualizer**, va apărea intrarea **Sketch 1**, subordonată acesteia.

h) Divizarea suprafeței superioare în două fețe

Linia de divizare se va utiliza pentru a diviza suprafața superioară în două fețe, astfel se va crea muchia 3 pentru aplicarea forței. Procedura este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe **Part1** din locația **Geometry** din zona **Visualizer**;
2. Selectie opțiune **Edit/Define Geometry**; va apărea fereastra **Imprint on Solid/Sheet Geometry**, figura 3.7.3.
3. Se selectează fața superioară; numele acesteia apare în zona **Selected faces**;
4. Din lista **Options** se selectează opțiunea **Imprint** din dreptul schiței **Sketch 1**;
5. Butonul **OK** va finaliza procedura; proiecția liniei de divizare pe fața superioară va diviza această față în două fețe și se va crea astfel muchia 3.

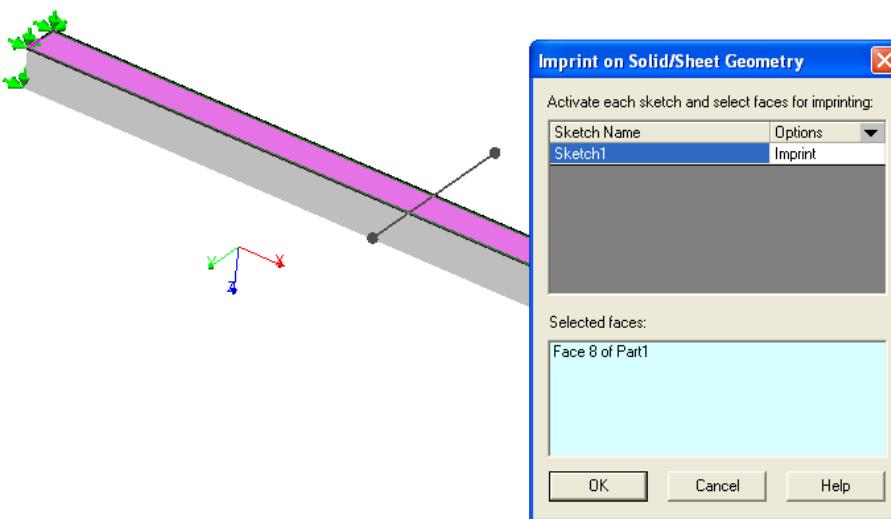


Figura 3.7.3

i) Aplicarea restrângerilor și încărcărilor

Grinda se va încadra pe față 1. Fixarea constă în anularea tuturor translațiilor, iar forța se aplică pe muchia 3 anterior creată.

Procedura de aplicare a fixării pe față 1 este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Restraint....**. Se va activa fereastra **Restraint**.
3. Din lista **Restrain Type** se va selecta opțiunea **Fixed**.
4. Din lista **Units** se va selecta opțiunea **mm**.

5. Se va selecta față 1 prin click stânga mouse pe aceasta; identificatorul numeric al feței va apărea în zona **Select Geometry - Restrain Entity** a ferestrei **Restrain**. Pentru accesarea feței bara se poate roti prin icoana **Rotate**.
6. Butonul **OK** va închide procedura de aplicare a restrângerii. Față selectată ca sursă de aplicare a restrângerii va fi marcată prin săgeți direcționale de culoare verde, figura 3.7.1, iar în zona **Visualizer**, se va genera o nouă intrare **Restrain:1** subordonată intrării **Loads/BC**.

Grinda se va rezema pe muchia 2, ceea ce reprezintă anularea translației pe direcția Z. Procedura este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Restraint....**. Se va activa fereastra **Restraint**.
3. Din lista **Restrain Type** se va selecta opțiunea **Prescribed**.
4. Din lista **Units** se va selecta opțiunea **mm**.
5. Se va activa icoana direcțională Z, iar în câmpul asociat se introduce valoarea 0.
6. Se va selecta muchia 2 prin click stânga mouse pe aceasta; identificatorul numeric al muchiei va apărea în zona **Select Geometry - Restrain Entity** a ferestrei **Restrain**.
7. Butonul **OK** va închide procedura de aplicare a restrângerii. Muchia selectată ca sursă de aplicare a restrângerii va fi marcată prin săgeți direcționale de culoare verde, figura 3.7.1, iar în zona **Visualizer**, se va genera o nouă intrare **Restrain:2** subordonată intrării **Loads/BC**.

Pentru aplicarea forței $P_z=10000$ N, procedura este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Load....**. Se va activa fereastra **Loads**.
3. Din lista **Load Type** se va selecta opțiunea **Force**.
4. Din lista **Units** se va selecta opțiunea **SI**.
5. Se va activa opțiunea **Directional**.
6. Se va puncta icoana direcțională Z și în câmpul asociat se introduce 10000.
7. Se va selecta muchia 3 prin click stânga mouse pe aceasta; identificatorul numeric al muchiei va apărea în zona **Select Geometry - Load Entity** a ferestrei **Loads**.
8. Butonul **OK** va închide procedura de aplicare a încărcării.

j) Discretizarea în elemente finite

Se va parurge procedura specificată în aplicația 3.1 paragraful h.. Se vor genera 7071 elemente finite cu 11966 noduri.

k) Calculul studiului de analiză statică

Se va parurge procedura specificată în aplicația 3.1 paragraful i.

l) Vizualizarea și interpretarea rezultatelor

Vizualizarea tensiunii σ_x pentru bara 1, figura 3.7.4, implică parcurgerea procedurii de la pct. j aplicația 3.4, cu selecția opțiunii **SX: Normal Stress (X-dir)**. Pentru față superioară preluarea mai multor puncte caracteristice prin icoana **Probe**, care să includă și zonele corespunzătoare încadrării respectiv muchiei 3, oferă valoarea tensiunii în aceste puncte:

- față 1 – valoare măsurată / teoretică 92.456 MPa / 90 relația 3.7.3;
- muchia 3 – valoare măsurată / teoretică -72.378 MPa / -75 relația 3.7.4.

Figura 3.7.4 prezintă variația tensiunii în lungul grinzi, generată prin butonul Plot al ferestrei Probe.

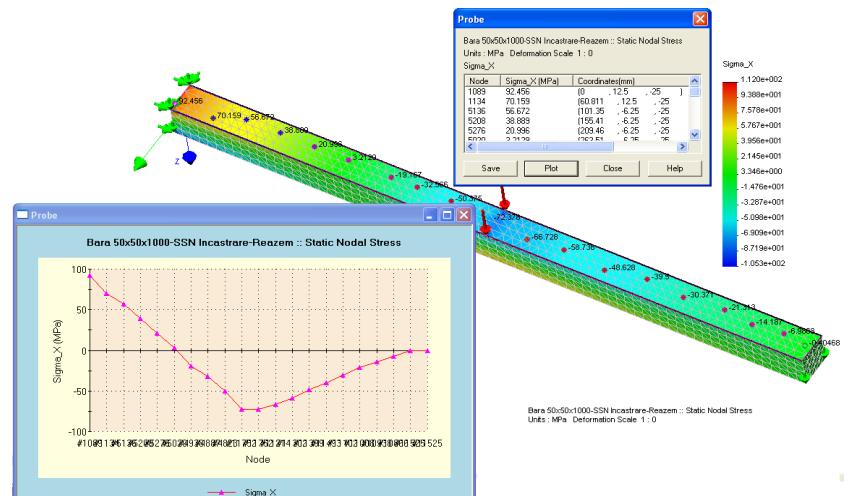


Figura 3.7.4

Pentru a determina valoarea reacțiunilor se va urma procedura

1. Se va activa fereastra **Reaction Force**, din meniu principal în succesiunea **Tools→Reaction Force** sau prin punctarea icoanei **Reaction Force** din trusa de instrumente **Result Tools**.
2. Se selectează față 1 sau 2 și se puntează butonul **Update**.

Valoarea forței rezultante pentru întregul model este evidențiată în fereastra **Reaction Force** la valoarea 9998.7 N. Pentru față 1 reacțiunea este de 6876.5 N, figura 3.7.5, comparativ cu valoarea teoretică $R_1=6875$ N din relația 3.7.6. Pentru față 2 reacțiunea este de 3122.3 N, figura 3.7.6, comparativ cu valoarea teoretică $R_2=3125$ N din relația 3.7.7.

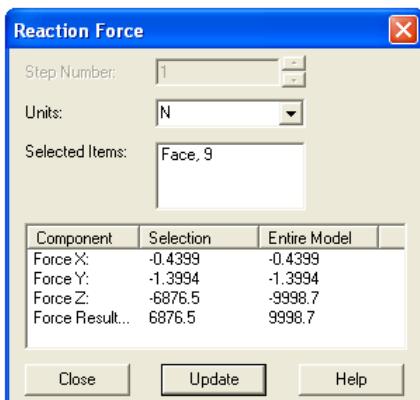


Figura 3.7.5

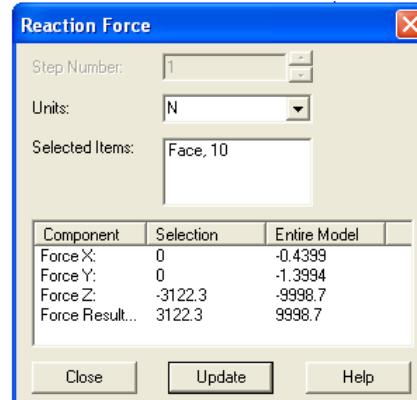


Figura 3.7.6

3.8. Solicitarea triaxială a unui cub

a) Formularea problemei

Să se determine tensiunile normale și lunecările specifice pentru un cub cu latura de $a = 20$ mm, figura 3.8.1, supus următoarelor forțe: $P_x = 20000$ N, $P_y = 30000$ N și $P_z = 40000$ N. Materialul cubului este oțel, cu modulul de elasticitate longitudinal $E = 2.1 \cdot 10^5$ MPa și coeficientul lui Poisson $\nu = 0.3$.

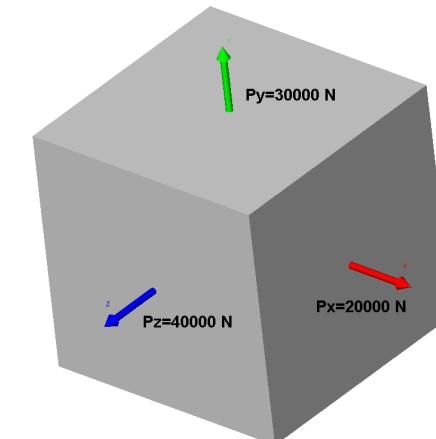


Figura 3.8.1

b) Obiectivele problemei

Obiectivele problemei sunt identice cu cele definite la aplicația 3.1 punctul b.

c) Considerații teoretice

Tensiunile normale rezultă din relațiile:

$$\sigma_x = \frac{P_x}{A} = \frac{20000}{20 \cdot 20} = 50 \text{ MPa} \quad [3.8.1]$$

$$\sigma_y = \frac{P_y}{A} = \frac{30000}{20 \cdot 20} = 75 \text{ MPa} \quad [3.8.2]$$

$$\sigma_z = \frac{P_z}{A} = \frac{40000}{20 \cdot 20} = 100 \text{ MPa} \quad [3.8.3]$$

iar lunecările specifice din relațiile:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} (\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)) = -1.19 \cdot 10^{-5} \quad [3.8.4]$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E} (\sigma_y - \nu(\sigma_z + \sigma_x)) = 1.43 \cdot 10^{-4} \quad [3.8.5]$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} (\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)) = 2.98 \cdot 10^{-4} \quad [3.8.6]$$

d) Importul geometriei în Cosmos Design Star

- Modelul cubului generat în Autodesk Inventor va fi importat în Design Star.
- În Design Star, se selectează opțiunea **Open** din meniu **File**.
 - În lista **Look in** a ferestrei **Open** se căuta directorul modelului 3D.
 - În lista **Files of type** se selectează **Autodesk Inventor Files (*.ipt, *.iam)**.
 - Dublu click stânga pe numele fișierului **3_8.ipt** va finaliza operația de import.

e) Crearea studiului de analiză „Solicitare triaxială”

Se vor parcurge etapele specificate în aplicația 3.1 paragraful e, cu modificarea numelui studiului, care va fi „**Solicitare triaxială**”.

f) Selectia materialului

Se vor parcurge etapele specificate în aplicația 3.1 paragraful f, selectându-se materialul **Alloy Steel**, cu caracteristicile enunțate la punctul a.

g) Aplicarea restrângerilor și încărcărilor

Pentru a obține o stare de solicitare simetrică cubul nu se va fixa, ci se va activa opțiunea **Use Soft Spring to Stabilize Model**, & 1.9.2.1; se va selecta opțiunea **Properties** din meniu contextual activat prin buton dreapta pe numele studiului „**Solicitare triaxială**” și se va activa această proprietate.

Forța Px se va aplica pe ambele fețe ale cubului perpendicular pe direcția X, procedura de aplicare fiind următoarea:

- Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
- Se selectează opțiunea **Load....** Se va activa fereastra **Loads**.
- Din lista **Load Type** se va selecta opțiunea **Force**.
- Din lista **Units** se va selecta opțiunea **SI**.
- Se va activa opțiunea **Normal**.
- În câmpul **Value** se introduce valoarea -20000.
- Se va selecta una din fețele perpendiculare pe direcția X prin click stânga mouse pe aceasta; identificatorul numeric al feței va apărea în zona **Select Geometry–Load Entity** a ferestrei **Loads**.
- Cu tasta **Ctrl** apăsată se va selecta fața opusă a cubului perpendiculară pe direcția X prin click stânga mouse pe aceasta; identificatorul numeric al feței va apărea în zona **Select Geometry–Load Entity** a ferestrei **Loads**.
- Butonul **OK** va închide procedura de aplicare a încărcării.

Se va repeta procedura pentru aplicare forței $Py = -30000$ N pe ambele fețe perpendiculare pe direcția Y.

Se va repeta procedura pentru aplicare forței $Pz = -40000$ N pe ambele fețe perpendiculare pe direcția Z.

h) Discretizarea în elemente finite

Se va parcurge procedura specificată în aplicația 3.1 paragraful h. ”. Se vor genera 6242 elemente finite cu 9567 noduri.

i) Calculul studiului de analiză statică

Se va parcurge procedura specificată în aplicația 3.1 paragraful i.

j) Vizualizarea și interpretarea rezultatelor

Vizualizarea tensiunii σ_x pentru cub, figura 3.8.2, implică parcurgerea procedurii de la pct. j aplicația 3.4, cu selecția opțiunii **SX: Normal Stress (X-dir)**.

Pentru a obține o valoare medie a tensiunii, se parcurg următoarele etape:

- Se puntează icoana **List results by entity** din trusa de instrumente **Result Tools** sau se selectează **List results by entity** din opțiunea **Tools** a meniului.
- Se va activa fereastra **List Selected**, figura 3.8.2.
- Se selectează una din fețele perpendiculare pe direcția X.
- Se puntează butonul **Update** din fereastra **List Selected**.
- Zona stânga a ferestrei va fi populată cu identificatorul numeric al nodurilor (coloana **Node**) și cu valorile tensiunii acestora (coloana **Sigma_X**), pentru toate nodurile ce aparțin feței selectate; de asemenea câmpul **Average** oferă media tensiunii pentru față selectată, egală cu 50, care coincide practic cu valoarea calculată analitic prin relația 3.8.1. Valoarea medie 50 este obținută de altfel pentru orice față a cubului.

Pentru valorile tensiunilor pe direcțiile Y și Z se obține aceeași coincidență a valorilor rezultate din analiza FEM cu cele teoretice, adică 75 respectiv 100 MPa.

Pentru a vizualiza variația lunecării pe direcția X, figura 3.8.3, procedura este următoarea:

- Click dreapta mouse pe intrarea **Strain – Plot** în zona **Visualizer**.
- Se selectează opțiunea **Edit Definition....** Se va activa fereastra **Strain Plot**.
- În zona **Display** se vor selecta următoarele opțiuni:
 - din lista **Components** se va selecta mărimea **EPSX: Normal Strain in X- direction**;
 - se va activa opțiunea de vizualizare **Fringe**, dacă nu este deja activă;
 - din lista **Fringe Type** se va selecta opțiunea **Filled, Tone**.
- Pentru zona **Settings** se vor impune opțiunile: dezactivare opțiune **Show deformed shape with scale factor**, din lista **Boundary Option** se va selecta opțiunea **Model**.
- Se va puncta butonul **OK**.

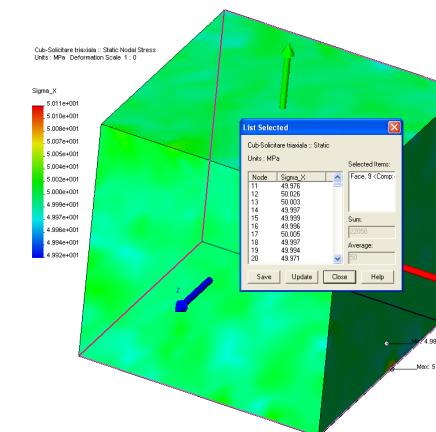


Figura 3.8.2

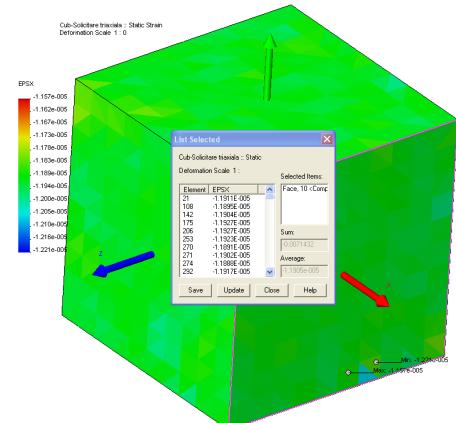


Figura 3.8.3

Valoare mediată a lunecării pe direcția X se obține prin icoana **List results by entity**, valoarea obținută fiind -1.1905×10^{-5} comparativ cu valoarea teoretică rezultată din relația 3.8.4 și egală cu -1.19×10^{-5} .

Prin proceduri similare se obține variația lunecării pe direcția Y respectiv valoarea mediată a lunecării pe direcția Y care este 1.4286×10^{-4} , comparativ cu valoarea teoretică rezultată din relația 3.8.5 și egală cu 1.43×10^{-4} .

Prin proceduri similare se obține variația lunecării pe direcția Z respectiv valoarea mediată a lunecării pe direcția Z care este 2.9762×10^{-4} , comparativ cu valoarea teoretică rezultată din relația 3.8.6 și egală cu 2.98×10^{-4} .

Aceleași rezultate se obțin și dacă se va dezactiva proprietatea **Use Soft Spring to Stabilize Model**, iar cubul se va fixa pe fețele opuse direcțiilor pozitive ale axelor, anulând deplasarea pe direcția respectivă, iar forțele se vor aplica pe fețele opuse. Exemplificând pentru direcția X: se va aplica o restrângere de tip **Prescribed** cu impunerea deplasării 0 pe fața opusă direcției pozitive a axei X, iar pe cealaltă față se va aplica încărcarea -20000 N.

3.9. Solicitarea unui capac simplu rezemat

a) Formularea problemei

Să se determine tensiunile și deplasarea unui capac diametru de $R = 300$ mm și grosime $h = 15$ mm, figura 3.9.1, simplu rezemat pe muchia 1 și supus pe față superioară unei presiuni $p = 61540$ N/m². Materialul capacului este fontă, cu modulul de elasticitate longitudinal $E = 6.61781 E+10$ N/m² și coeficientul lui Poisson $\nu = 0.27$.

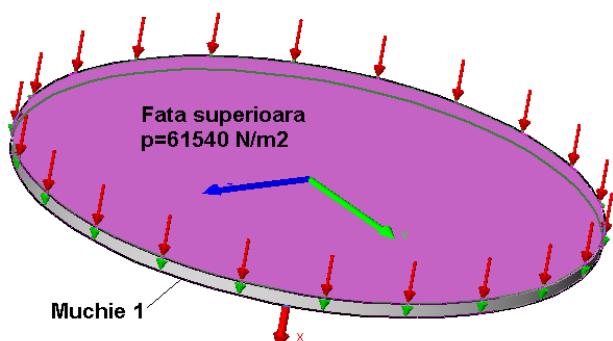


Figura 3.9.1

b) Obiectivele problemei

Obiectivele problemei sunt identice cu cele definite la aplicația 3.1 punctul b.

c) Considerații teoretice

Tensiunea maximă rezultă din relația:

$$\sigma_{\max} = \frac{3 \cdot p \cdot R^2}{8 \cdot h^2} (3 + \nu) = 30.185 \text{ MPa} \quad [3.9.1]$$

iar deplasarea maximă rezultă din relația:

$$V_{\max} = 0.738 \cdot \frac{p \cdot R^4}{E \cdot h^3} = 1.647 \text{ mm} \quad [3.9.2]$$

d) Importul geometriei în Cosmos Design Star

- Modelul capacului generat în Autodesk Inventor va fi importat în Design Star.
1. În Design Star, se selectează opțiunea **Open** din meniu **File**.
 2. În lista **Look in** a ferestrei **Open** se selectează locația directorului modelului 3D.
 3. În lista **Files of type** se selectează **Autodesk Inventor Files (*.ipt, *.iam)**.
 4. Dublu click stânga pe numele fișierului **3_9.ipt** va finaliza operația de import.

e) Crearea studiului de analiză „Presiune”

Se vor parcurge etapele specificate în aplicația 3.1 paragraful e, cu modificarea numelui studiului, care va fi „**Presiune**”.

f) Selectia materialului

Se vor parcurge etapele specificate în aplicația 3.1 paragraful f, selectându-se materialul **Gray Cast Iron** din grupa **Iron**, cu caracteristicile enunțate la punctul a.

g) Aplicarea restrângerilor și încărcărilor

- Capacul se va rezema pe muchia 1, deci se va anula translația pe direcția X:
1. Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
 2. Se selectează opțiunea **Restraint....** Se va activa fereastra **Restraint**.
 3. Din lista **Restrain Type** se va selecta opțiunea **Prescribed**.
 4. Din lista **Units** se va selecta opțiunea **mm**.
 5. Se va activa icoana direcțională X, iar în câmpul asociat se introduce valoarea 0.
 6. Se va selecta muchia 1 prin click stânga mouse pe aceasta; identificatorul numeric al muchiei va apărea în zona **Select Geometry - Restrain Entity**.
 7. Butonul **OK** va încheia procedura de aplicare a restrângerii. Muchia selectată ca sursă de aplicare a restrângerii va fi marcată prin săgeți direcționale de culoare verde, figura 3.9.1, iar în zona **Visualizer**, se va genera o nouă intrare **Restrain:1** subordonată intrării **Loads/BC**.

Pentru aplicarea presiunii $p=61540$ N/m², procedura este următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Load....** Se va activa fereastra **Loads**.
3. Din lista **Load Type** se va selecta opțiunea **Uniform Pressure**.
4. Din lista **Units** se va selecta opțiunea **SI**.
5. Se va activa opțiunea **Normal**.
6. În câmpul **Value** se introduce valoarea 61540.
7. Se va selecta fața superioară a capacului prin click stânga mouse pe aceasta; identificatorul numeric al feței va apărea în zona **Select Geometry—Load Entity** a ferestrei **Loads**.
8. Butonul **OK** va încheia procedura de aplicare a încărcării.

h) Discretizarea în elemente finite

Se va parcurge procedura specificată în aplicația 3.1 paragraful h. Se vor genera 8376 elemente finite cu 15891 noduri.

i) Calculul studiului de analiză statică

Se va parcurge procedura specificată în aplicația 3.1 paragraful i.

j) Vizualizarea și interpretarea rezultatelor

Vizualizarea tensiunii σ_Y pentru capac, figura 3.9.2, implică parcurgerea procedurii de la pct. j aplicația 3.4, cu selecția opțiunii **SY: Normal Stress (Y-dir)**.

Valoarea maximală rezultată din calcul este 30.2 MPa, față de valoarea 30.185 MPa calculată teoretic prin relația 3.9.1. Pentru față superioară preluarea mai multor puncte caracteristice pe direcția Z prin icoana **Probe** și punctarea butonului **Plot** oferă variația tensiunii pe direcție diametrală a capacului. Datorită simetriei tensiunile pe direcțiile Y și Z sunt identice.

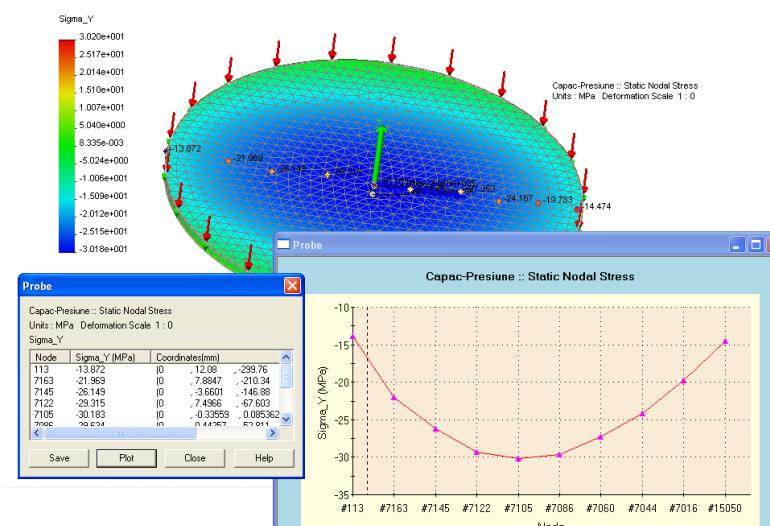


Figura 3.9.2

Vizualizarea deplasării pe direcția X, figura 3.9.3, oferă valoarea maximă calculată 1.613 mm, față de cea teoretică 1.647 mm rezultată din relația 3.9.2.

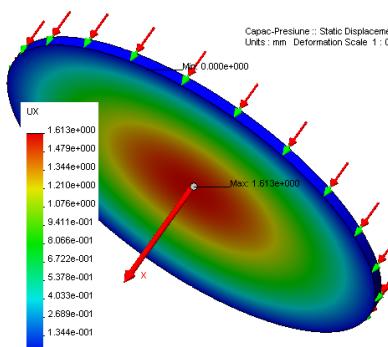


Figura 3.9.3

3.10. Analiza unei vane fluture biplane

a) Formularea problemei

Să se analizeze comportarea vanei fluture biplane din figura 3.10.1, încastrată pe suprafețele cilindrice și supusă unei presiuni distribuite pe discul circular, cu valoarea de $p = 1 \times 10^6$ N/m². Materialul vanei este oțel, cu modulul de elasticitate longitudinal $E = 2.1 \times 10^5$ MPa și coeficientul lui Poisson $v = 0.3$.

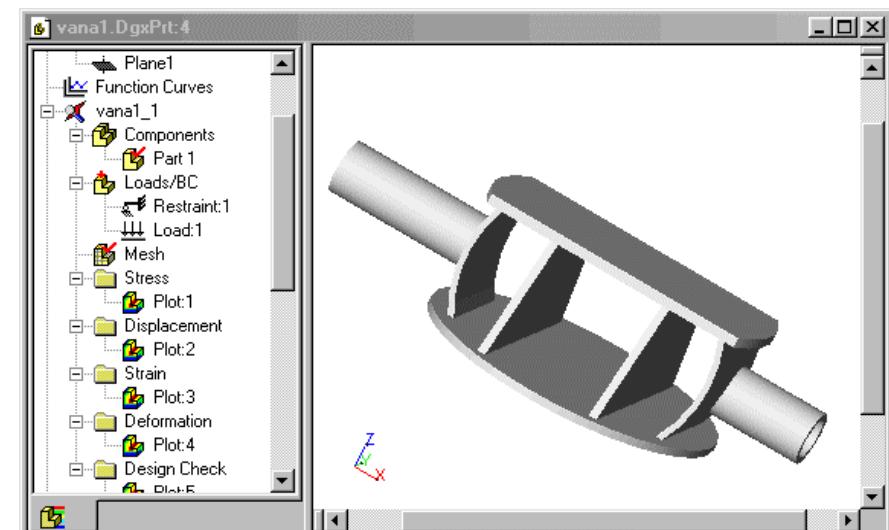


Figura 3.10.1

b) Obiectivele problemei

Obiectivele problemei sunt identice cu cele definite la aplicația 3.1 punctul b.

c) Importul geometriei în Cosmos Design Star

Modelul vanei generat în Autodesk Inventor va fi importat în Design Star.

- În Design Star, se selectează opțiunea **Open** din meniu **File**.
- În lista **Look in** a ferestrei **Open** se locația directorului modelului 3D.
- În lista **Files of type** se selecteză **Autodesk Inventor Files (*.ipt, *.iam)**.
- Dublu click stânga pe numele fișierului **Vana1.ipt** va finaliza operația de import.

Geometria vanei este definită dimensional în figura 3.10.2.

d) Crearea studiului de analiză „vana1_1”

Se vor parcurge etapele specificate în aplicația 3.1 paragraful e, cu modificarea numelui studiului, care va fi „**vana1_1**”.

e) Selectia materialului

Se vor parcurge etapele specificate în aplicația 3.1 paragraful f, selectându-se materialul **Alloy Steel**, cu caracteristicile enunțate la punctul a.

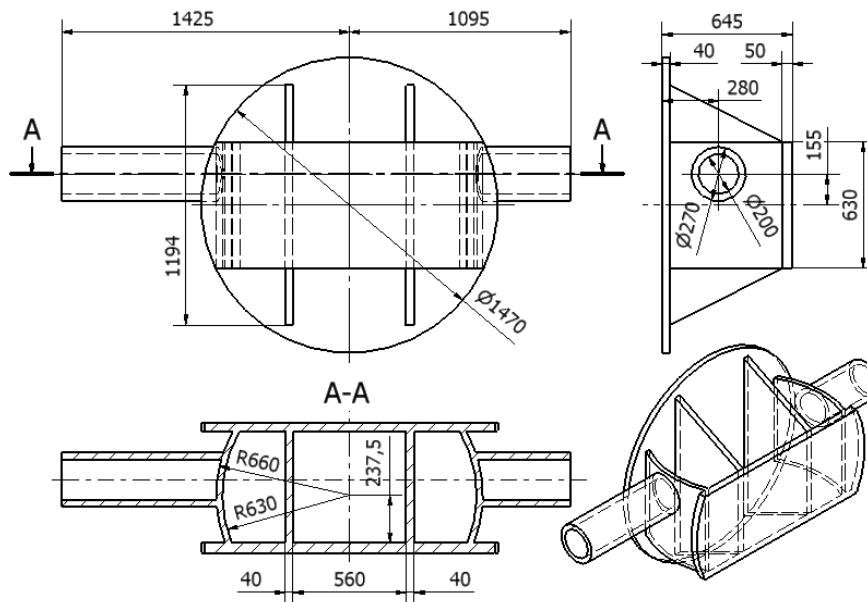


Figura 3.10.2

f) Aplicarea restrângerilor și încărcărilor

Vana se va rezema pe cele două suprafete cilindrice, evidențiate în figura 3.10.3, procedura fiind următoarea:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Restraint....** Se va activa fereastra **Restraint**.
3. Din lista **Restrain Type** se va selecta opțiunea **Fixed**.
4. Se vor selecta succesiv cele două suprafete prin click stânga mouse pe acestea, cu tasta **Ctrl** apăsată; identificatorul numeric al suprafetelor va apărea în zona **Select Geometry - Restrain Entity**.
5. Butonul **OK** va încheia procedura de aplicare a restrângerii. Suprafetele selectate ca sursă de aplicare a restrângerii vor fi marcate prin săgeți direcționale de culoare verde, figura 3.10.3, iar în zona **Visualizer**, se va genera o nouă intrare **Restrain:1** subordonată intrării **Loads/BC**.

Pentru aplicarea presiunii $p=1 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, se va parcurge procedura:

1. Click dreapta mouse pe intrarea **Loads/BC** în zona **Visualizer**.
2. Se selectează opțiunea **Load....** Se va activa fereastra **Loads**.
3. Din lista **Load Type** se va selecta opțiunea **Uniform Pressure**.
4. Din lista **Units** se va selecta opțiunea **SI**.
5. Se va activa opțiunea **Normal**.
6. În câmpul **Value** se introduce valoarea 1000000.
7. Se va selecta fața discului circular prin click stânga mouse pe aceasta; identificatorul numeric al feței va apărea în zona **Select Geometry–Load Entity** a ferestrei **Loads**.
8. Butonul **OK** va încheia procedura de aplicare a încărcării.

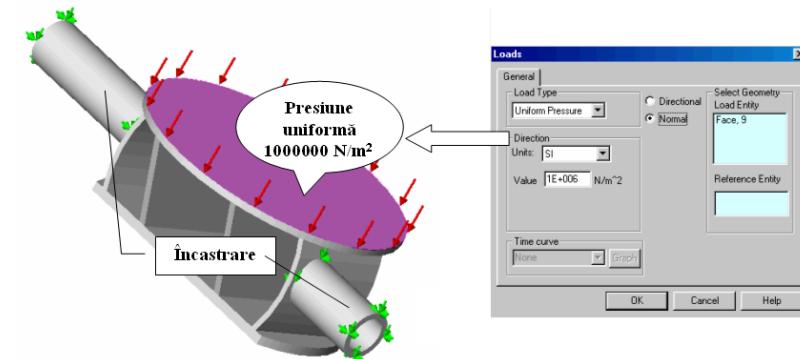


Figura 3.10.3

g) Discretizarea în elemente finite

Se va parcurge procedura specificată în aplicația 3.1 paragraful h. ”. Pentru modelul analizat s-au generat 10205 elemente finite cu 20366 noduri.

h) Calculul studiului de analiză statică

Se va parcurge procedura specificată în aplicația 3.1 paragraful i.

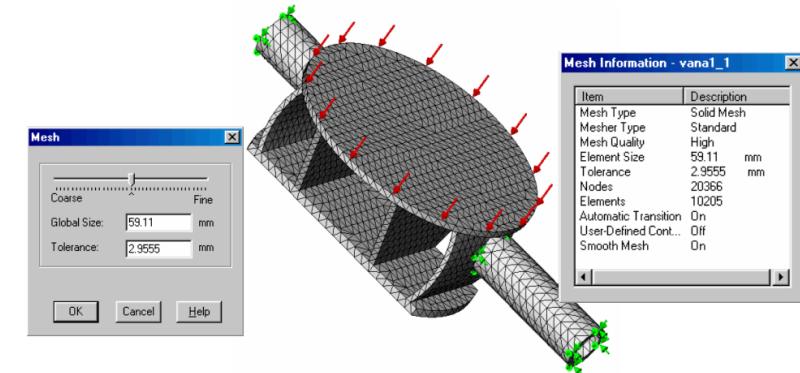


Figura 3.10.4

i) Vizualizarea și interpretarea rezultatelor

Harta de culori corespunzătoare deformațiilor este prezentată în fig. 3.10.5. Deplasarea resultantă maximă este 3.441 mm, iar zona de deplasare mai mare decât 2.7 mm este prezentată în fig. 3.10.6, din care se poate observa asimetria deplasărilor generată de dispunerea asimetrică a cilindrilor.

Variata de deplasări în lungul piesei este prezentată numeric și grafic în fig. 3.10.7. Zona deplasărilor maxime este poziționată pe porțiunea centrală a discului opus cilindrilor.

Harta de culori corespunzătoare tensiunii Von Mises și variația tensiunilor în lungul piesei este prezentată în fig. 3.10.8. Tensiunea maximă este 400 MPa.

Figura 3.10.9 prezintă zone de tensiuni cu valoare mai mare decât 135 MPa, 200 MPa respectiv 250 MPa, din care rezultă reducerea substanțială a zonei cu creșterea tensiunii și localizarea acestora la partea superioară a nervurilor laterale.

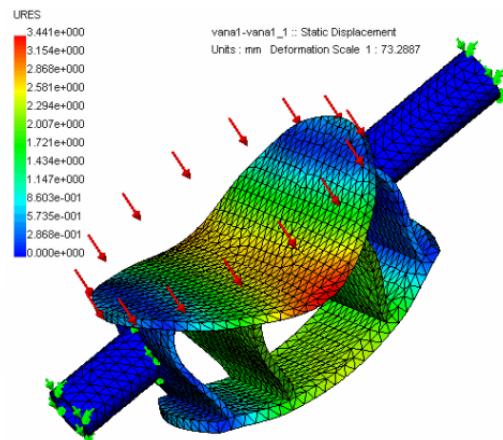


Figura 3.10.5

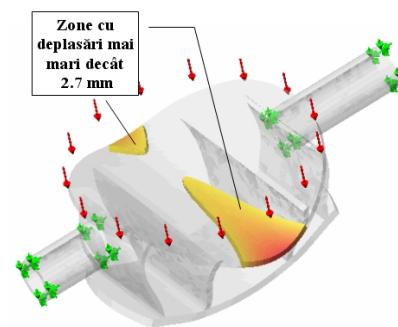


Figura 3.10.6

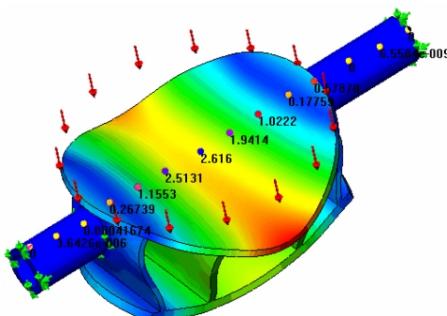
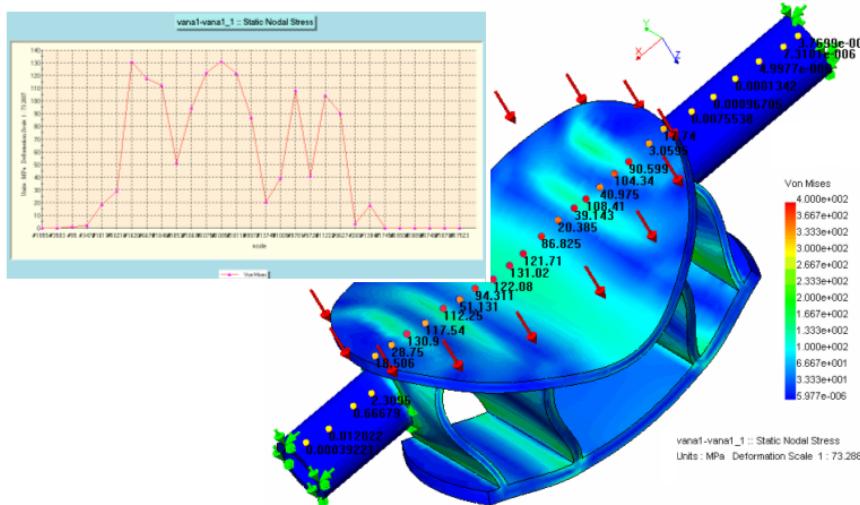


Figura 3.10.7



229

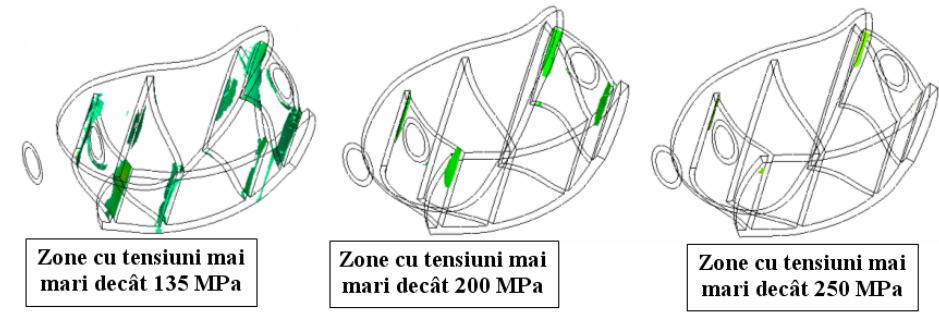


Figura 3.10.9

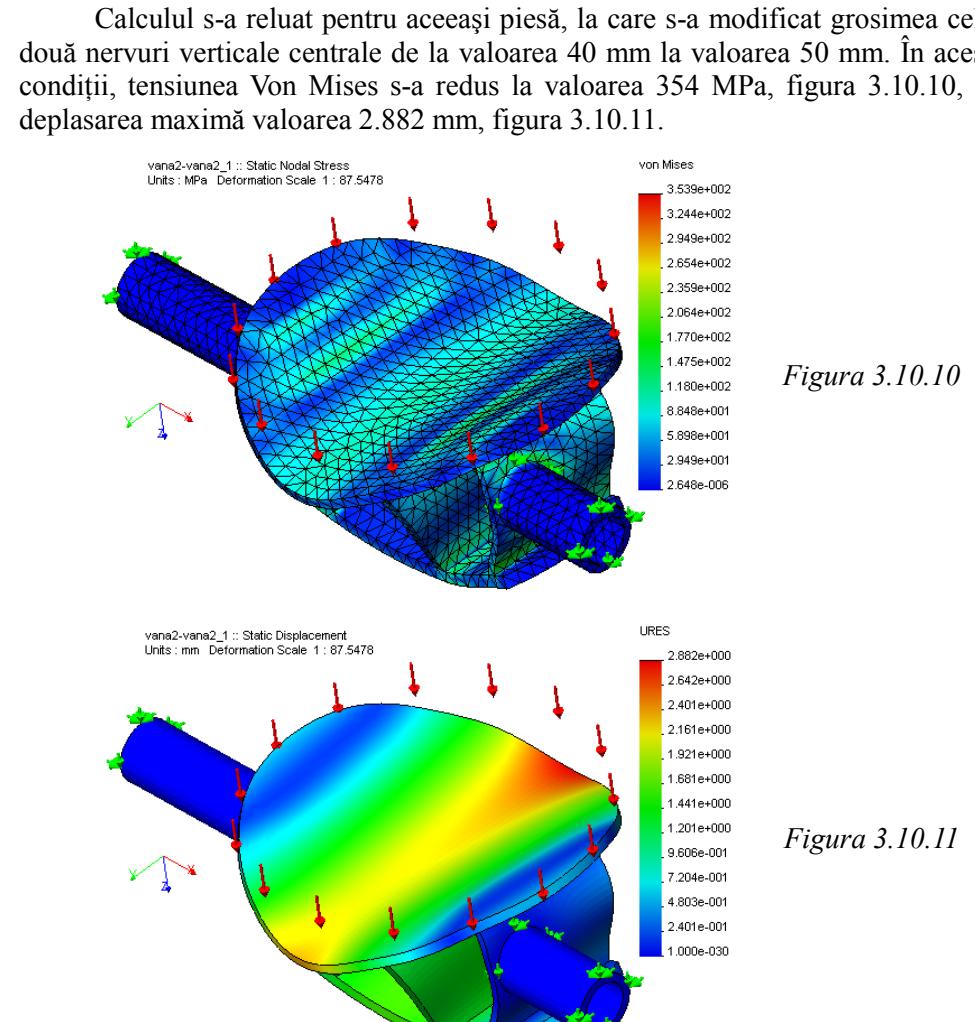


Figura 3.10.11

Figura 3.10.8

BIBLIOGRAFIE

1. Atanasiu, C., Dinu, G., Anghel, V. – **Elemente de rezistență materialelor**, Editura Printech, ISBN 973-652-297-0, Universitatea Politehnică București, 2001
2. Babeu, T., Merșăvină, L. – **Culegere de probleme de rezistență materialelor**, Universitatea Politehnica Timișoara, 1995
3. Bejan, M. – **Rezistență materialelor**, Editura Agir, București, 2004
4. Buzdugan, Gh. – **Rezistență materialelor**, Editura Tehnică, București, 1980, Ediția a XI-a revizuită
5. Curtu, I., Ciofoia, V., Kuchar, P., Cerbu, C., Botiș, M., Repanovici, A. – **Rezistență materialelor. Probleme**, Editura Infomarket, Brașov, 2001
6. Deutsch, I. – **Rezistență materialelor**, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1979, Ediția a II-a revizuită
7. Deutsch, I., Goia, I., Curtu, I., Neamțu, T., Sperchez, F. – **Probleme de rezistență materialelor**, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983
8. Dobre, I., Dumitru, O., Neguț, N. – **Probleme propuse pentru seminarul de rezistență materialelor**, Timișoara, 1977
9. Goia, I., Sperchez, F., Ciofoia, V., Radu, Gh., Ulea, M., Tielean, M. – **Rezistență materialelor. Culegere de probleme**, Brașov, 1990
10. Faur, N., Dumitru, I. – **Diferențe finite și elemente finite în rezistență materialelor**, Editura Mirton, Timișoara, 1997
11. Iliescu, N., Jiga, G., Hadăr, A. – **Teste grilă de rezistență materialelor**, București, 2000
12. Mănescu, T.Şt. – **Contribuții la calculul de rezistență al vanei fluture biplane**, Editura Mirton, Timișoara, 1999
13. Mănescu, T.Şt., Ardelean, A. – **Mecanică tehnică în 300 de probleme rezolvate**, Timișoara, 1991
14. Mănescu, T.Şt., Ghițiu, A., Ciobă, I. – **Rezistență materialelor în 300 de probleme rezolvate**, Reșița, 1992
15. Năstășescu, V., Bârsan, Gh. – **Rezistență materialelor. Probleme.**, Editura Academiei Tehnice Militare, București, 1997
16. Nedelcu, D. - **Microsoft Excel. Concepțe teoretice și aplicații**, Editura Orizonturi Universitare Timișoara
17. Nedelcu, D. – **Modelare parametrică prin Autodesk Inventor**, Editura Orizonturi Universitare Timișoara
18. Nedelcu, D. - **Cosmos/Design Star, analiza funcțională a structurilor**, T & T – Tehnică și Tehnologie, Nr. 3/2002

19. Nedelcu, D., Mănescu, T., Campian, C.V. - **Finite Element Through COSMOS M/ Design STAR**, FME Transactions, Volume 32, Number 1, 2004, University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, YU ISSN 1451-2092
20. Roșca, V., Ilieciu, D. – **Rezistență materialelor**, Editura Scorilo, Craiova, 1999
21. Structural Research/Analysis Corp – **Cosmos Design Star. Product Information**, 2003
22. Structural Research/Analysis Corp – **Cosmos Design Star. Basic User's Guide**, 2003
23. Structural Research/Analysis Corp – **Cosmos Design Star. Installation & Licensing Guide**, 2003
24. Structural Research/Analysis Corp – **Cosmos Design Star. Tutorials**, 2003
25. Structural Research/Analysis Corp – **What is Aspect ratio check**, Articol Internet
26. Structural Research/Analysis Corp – **What is Static Analysis**, Articol Internet
27. Structural Research/Analysis Corp – **What version of Inventor is required for associativity with COSMOSDesignSTAR**, Articol Internet
28. Structural Research/Analysis Corp – **Understanding the information displayed in the Mass Properties dialog box**, Articol Internet
29. Structural Research/Analysis Corp – **Apply the moment to my model**, Articol Internet
30. Structural Research/Analysis Corp – **What are the capabilities of nonlinear analysis in COSMOSDesignSTAR**, Articol Internet
31. Structural Research / Analysis Corp – **TransitionalMesh in COSMOS**, Articol Internet
32. Structural Research/Analysis Corp - **What are shell elements and why should I use them**, Articol Internet
33. Structural Research/Analysis Corp – **How and when do I use symmetry and anti-symmetry boundary conditions**, Articol Internet
34. Structural Research/Analysis Corp – **When and what type of gap elements should I use in COSMOS**, Articol Internet
35. Structural Research/Analysis Corp – **How do I add my own material to the COSMOS Material library file**, Articol Internet
36. Structural Research/Analysis Corp – **What is the buckling factor (load factor) for buckling analysis**, Articol Internet
37. Structural Research/Analysis Corp – **What's the difference between node values and element values**, Articol Internet
38. Structural Research/Analysis Corp - **How to choose a solver**, Articol Internet
39. Tripa, D. – **Mecanica ruperii cu aplicație la conducte**, Editura Mirton, Timișoara, 1998
40. Tudose, I., Atanasiu, C., Iliescu, N. – **Rezistență materialelor**, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1981
41. Voinea, R. ș.a. – **Introducere în mecanica solidului și aplicații în inginerie**, Editura Academiei, București, 1988