

Colecția "STUDENT"

METODA ELEMENTULUI FINIT

Aplicații practice

Materialul cuprins face o descriere amănunțită asupra părții de aplicații practice în domeniul metodelor de prelucrare prin element finit pe partea de inginerie mecanică. Lucrarea de față este destinată studenților de la ciclul de licență dar, în același timp, ea poate reprezenta un punct de inițiere în modelare numerică, cu metoda elementului finit, pentru inginerii care activează în domeniul mecanic.

Referent științific: Conf. dr. ing. Francisc POPESCU

Aplicațiile practice au o prezentare detaliată și sugestivă cuprinzând toți pașii necesari unei analize cu metoda elementului finit: descrierea aplicației, realizarea geometriei domeniului de calcul, definirea condițiilor la limită, rularea aplicației și analiza rezultatelor obținute. Aplicațiile se realizează în programul de simulare Ansys prezentându-se etapele simulării. Analiza termo-mecanică a unei plăci cu circuite integrate reprezintă o aplicație inter-disciplinară unde sunt implicate două module de simulare distincte.

Referent științific: Conf. dr. ing. Ioan LAZA

DORIN LELEA
ADRIAN – EUGEN CIOABLĂ

METODA ELEMENTULUI FINIT

Aplicații practice

Colecția "STUDENT"

EDITURA POLITEHNICA
TIMIȘOARA - 2018

Copyright © Editura Politehnica, 2018

Nicio parte din această lucrare nu poate fi reprodusă, stocată sau transmisă prin indiferent ce formă, fără acordul prealabil scris al Editurii Politehnica.

EDITURA POLITEHNICA

Bd. Vasile Pârvan nr. 2b
300223 Timișoara, România

Tel./Fax. 0256/404.677

E-mail: editura@upt.ro

Consilier editorial: Prof. dr. ing. Sabin IONEL

Redactor: Claudia MIHALI

Bun de imprimat: 23.04.2018

ISBN 978-606-35-0205-7

CONTINUT

1	Analiza statica a unei placi 3D	6
2	Analiza statica a unei structuri de tip grindă	15
3	Analiza termică a unei bare fără surse interne de căldură	23
4	Analiza termică a unei bare cu sursă internă de căldură	32
5	Analiza statica a unui element de tip bridă	42
6	Analiza statică a unei conducte curbate sub presiune	50
7	Analiza statică a unui panou publicitar	59
8	Analiza statică a unui recipient sub presiune	70
9	Analiza mixtă termică – statică a unei plăci cu o componentă electronică	82
	Bibliografie	90

1 ANALIZA STATICĂ A UNEI PLĂCI 3D

1.1. Tema propusă

În lucrarea de laborator se prezintă o analiză statică a unei plăci 3D. Placa este încastrată într-un capăt și expusă unei forțe în celălalt capăt. Analiza se va realiza cu programul comercial de modelare cu elemente finite *Ansys*, modulul *Static structural*. De asemenea geometria modelului este concepută în *Design modeler*, modulul integrant al programului.

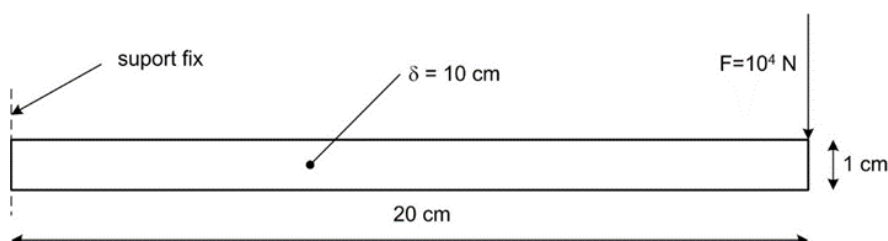


Figura 1.1. Geometria plăcii

Aplicația își propune determinarea valorilor maxime ale tensiunii echivalente *Von Mises*, și respectiv a deformației totale, produse de forța exterioară (fig. 1.1). Structura analizată este realizată din oțel, cu următoarele caracteristici mecanice: modulul de elasticitate longitudinal $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$; coeficientul de contracție transversală (*Poisson*) $\nu = 0.3$; densitatea $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$.

1.2. Crearea proiectului

Pentru a iniția programul de analiză structurală, se face dublu-clic pe modulul *Static structural* (fig. 1.2) după care apare în spațiul destinat proiectului un tabel cu pașii care trebuie parcurși, și anume:

- *Engineering data* se referă la baza de date cu proprietățile materialului;
- *Design modeler* reprezintă programul de grafică a softului *Ansys*;
- *Model* reprezintă efectiv programul de simulare în care este inclus și modulul de generare a grilei;
- *Set-up* reprezintă etapa referitoare la definirea condițiilor la limită;
- *Solution* reprezintă faza de soluționare;
- *Results* reprezintă programul de postprocesare a rezultatelor.

Trebuie menționat că fiecare fază finalizată cu succes este bifată, iar la următoarea etapă figurează semnul întrebării. Lansarea fiecărui modul se face

Analiza statica a unei placi 3D

cu dublu clic pe celula respectivă. Modificarea materialului se realizează prin clic+stânga pe *Engineering data* după care se deschide baza de date cu proprietățile materialelor.

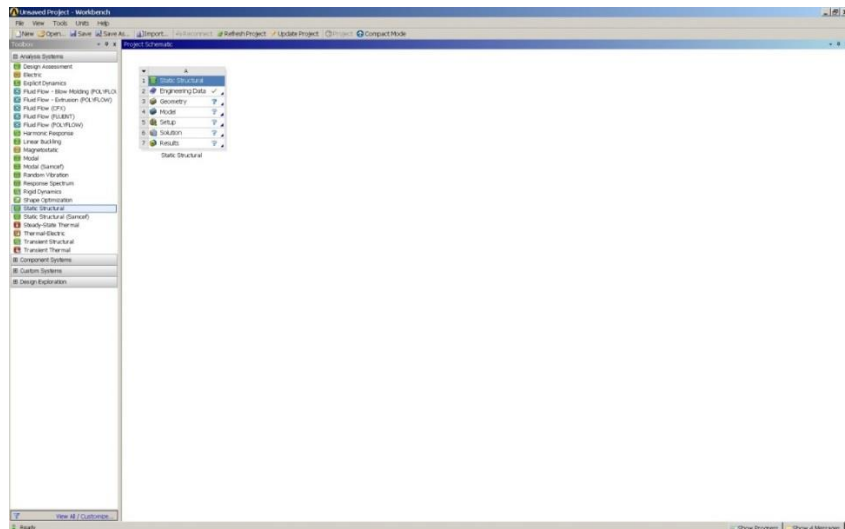


Figura 1.2. Etapele proiectului

1.3 Realizarea desenului

Pentru a realiza desenul plăcii, se deschide *Design modeler* prin dublu clic pe celula cu același nume. Prima fereastră care apare se referă la alegerea unităților de măsură. Se alege *mm* după care apare foaia de lucru a programului compusă din trei părți.

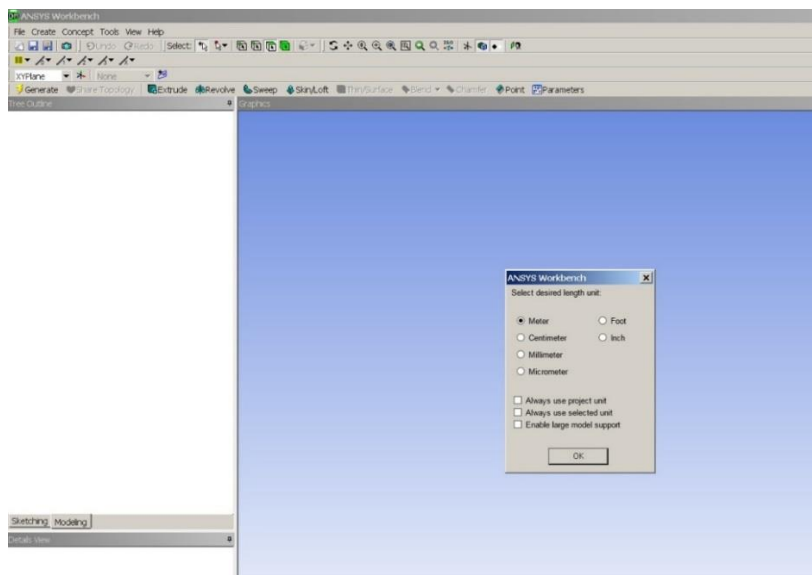


Figura 1.3. Unitățile de măsură

În partea centrală se află foaia de desen, în stânga-sus avem arborele desenului cu cele trei planuri, iar în partea stânga-jos regăsim detalii referitoare la desenul creat.

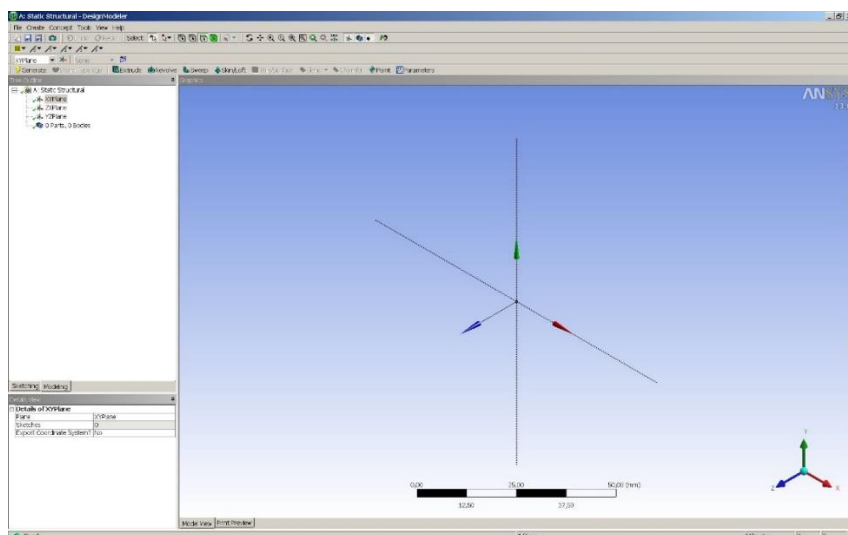


Figura 1.4. Alegerea planului

Se alege un plan în care se realizează schița (ex. *XYPlane*) și se deschide meniul *Sketching tools*.

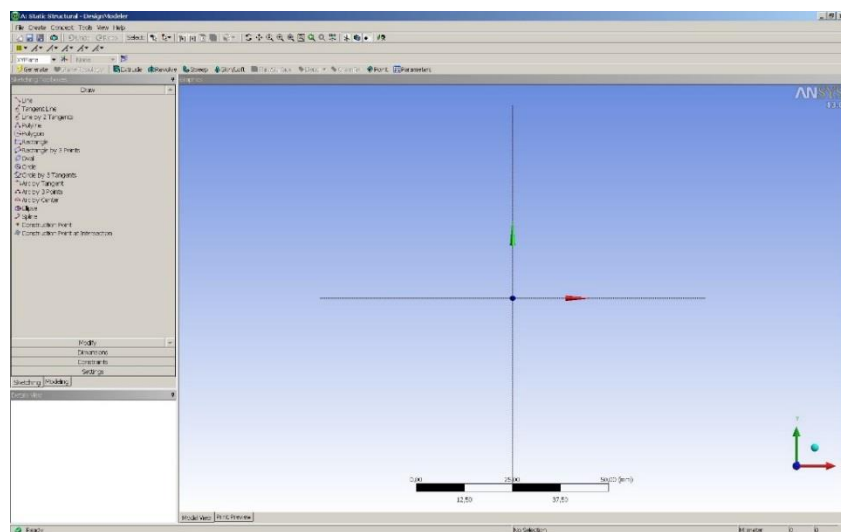


Figura 1.5. Planul XY

Din submeniul *Draw* se selectează dreptunghiul și se desenează schița. Mai departe, se selectează submeniul *Dimensions* și se definesc cotele

Analiza statica a unei placi 3D

schitei, după care se introduc valorile pentru V1 și H2 la detaliile desenului (*Details view*). Pentru a facilita realizarea schiței se activează grila la *Settings – Grid*.

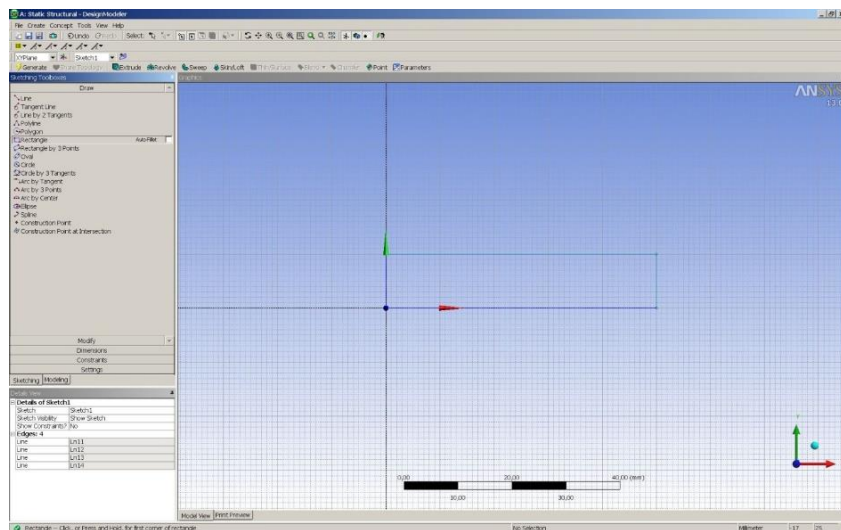


Figura 1.6. Activarea grilei

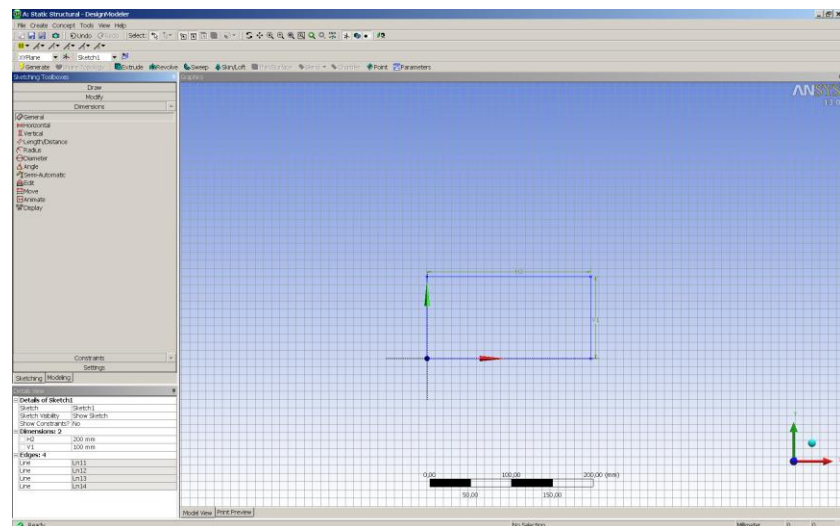


Figura 1.7. Generarea dreptunghiului

Crearea geometriei 3D se realizează prin extrudarea schiței – *Extrude*; După aceea se definește grosimea plăcii la Detaliile desenului – FD1, *Depth*. La sfârșit se apasă butonul *Generate* cu care se generează obiectul 3D.

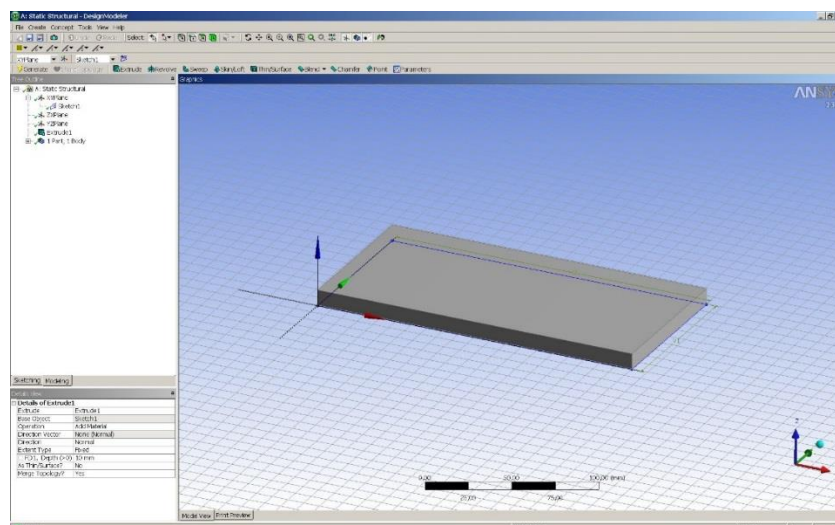


Figura 1.8. Generarea obiectului

1.4 Modelarea analizei statice

După realizarea desenului se revine la pagina proiectului și se observă că celula referitoare la geometrie este bifată astfel încât se trece la următorul pas și anume definirea condițiilor la limită și discretizarea domeniului - *Model*.

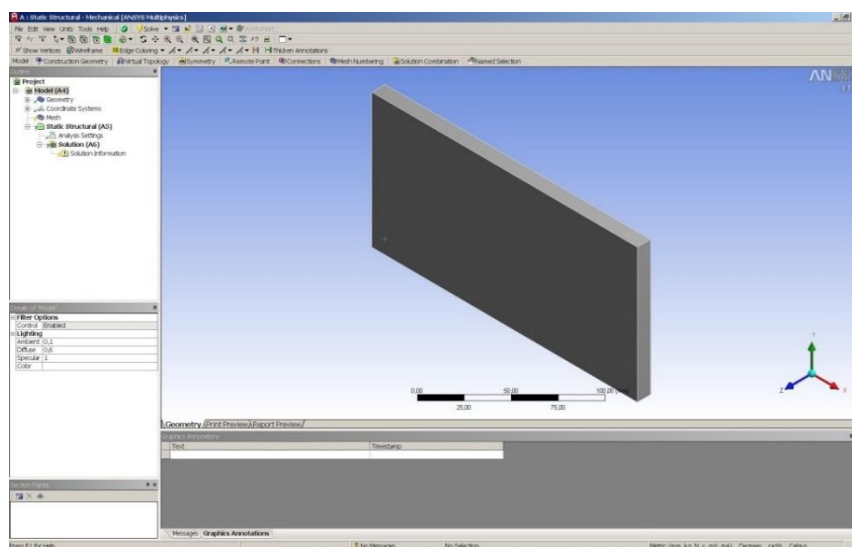


Figura 1.9. Inițierea analizei statice

Pe prima pagină a modulului de simulare se disting trei domenii și anume: în partea centrală se află elementul care face obiectul simulării, în partea stânga-sus regăsim arborele procesului de modelare iar în partea

Analiza statica a unei placi 3D

stânga-jos detaliile modelării. Mai mult, în arborele proiectului avem trei segmente: *Model* (A4) care conține partea de geometrie inclusiv modulul de discretizare; *Static structural* (A5) cu care se definesc condițiile la limită și *Solution* (A6) cu care se realizează postprocesarea rezultatelor.

În prima fază se generează grila cu elemente finite prin clic stânga mouse – *Generate Mesh*.

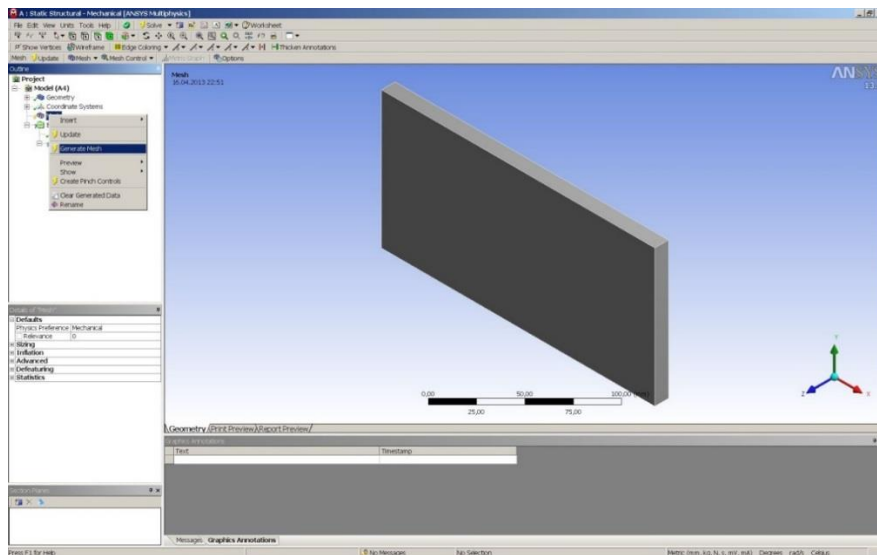


Figura 1.10. Generarea grilei

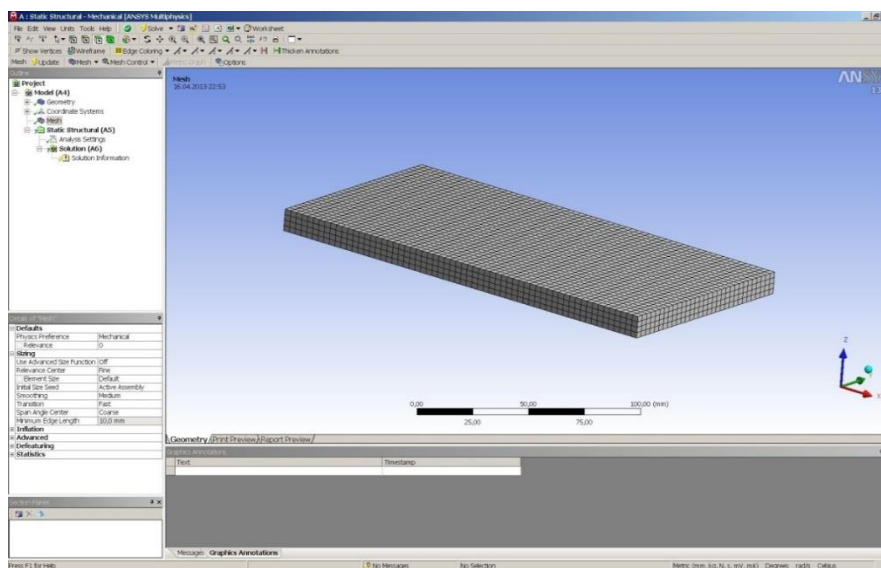


Figura 1.11. Domeniul discretizat

Următorul pas se referă la încărcarea modelului și anume: se bifează opțiunea *Static structural* (A5) după care se deschid trei opțiuni pentru condiții la limită la secțiunea *Environment: Inertial, Loads* și *Supports*.

Având în vedere că avem doar două condiții la limită și anume: suport fix respectiv forță, se folosesc opțiunile *Loads* (pentru forță) și *Supports* (pentru suportul fix). Procedura este următoarea:

- Suportul fix: se selectează suprafața (clic stânga mouse), după care urmează definirea suportului fix (clic dreapta mouse – *Insert* – *Fixed support*). Pentru finalizarea condiției la limită în *Details* se bifează *Face 1* (la opțiunea *Geometry*) pentru a deschide butonul *Apply* care trebuie bifat și cu care se fixează suportul fix.
- Forța: se selectează suprafața opusă (clic stânga mouse), după care urmează definirea forței (clic dreapta mouse – *Insert* – *Force*). La meniul *Details* se fixează forța prin bifarea *Face 1* (la opțiunea *Geometry*) prin care se deschide butonul *Apply* care trebuie bifat. De asemenea pentru a orienta forța în direcția Z-negativ, trebuie modificată definirea forței de la *Defined by Vector* la *Defined by Components*. La Z-component trebuie trecută valoarea de 10000 N.

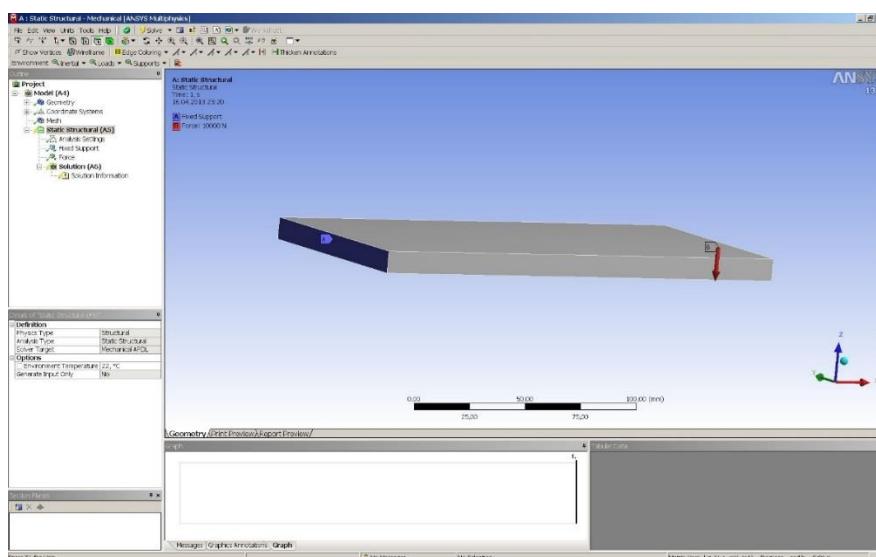


Figura 1.12. Condițiile la limită

Următorul pas îl reprezintă definirea parametrilor pe care dorim ca programul să îi calculeze. Se bifează *Solution* (A6) după care se deschide un alt meniu la opțiunea solution: *Deformation, Strain, Stress, Energy*. Având în vedere că s-a propus urmărirea deformațiilor totale și a tensiunii echivalente după criteriul Von – Mises, se selectează cei doi parametri. Opțional, meniul respectiv se deschide și prin *clic dreapta* – *Solution* (A6) – *Insert*.

Analiza statica a unei placi 3D

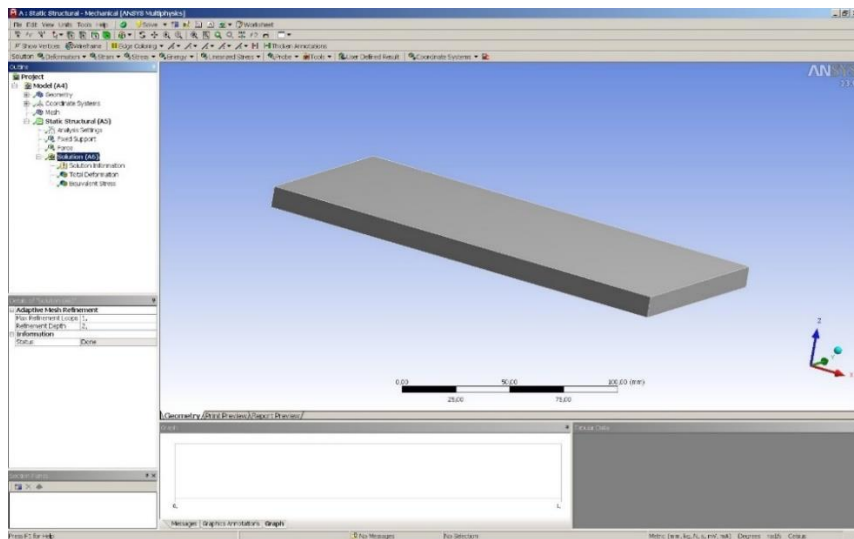


Figura 1.13. Definirea parametrilor monitorizați

După discretizarea domeniului și definirea condițiilor la limită se trece la soluționarea modelului prin comanda *Solve*.

1.5. Rezultate

În figura 1.14 se prezintă distribuția deformațiilor totale din interiorul obiectului.

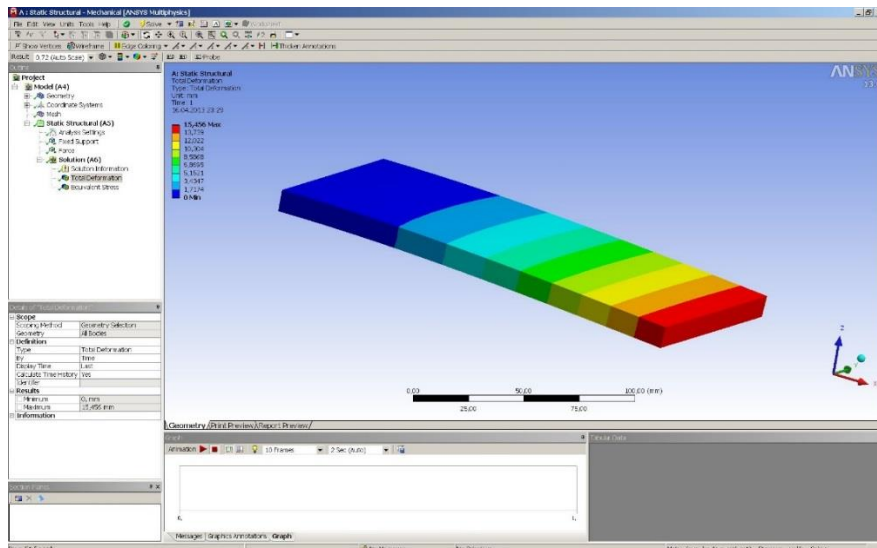


Figura 1.14. Deformațiile totale

Așa cum era de așteptat, cele mai mari deformări sunt observate în apropierea punctului de acționare a forței. Deformarea maximă este de 15.456 mm.

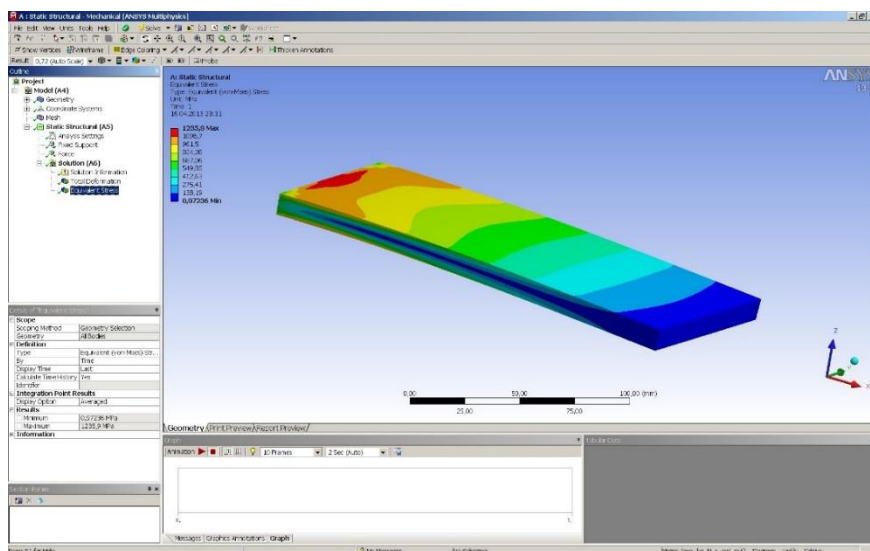


Figura 1.15. Tensiunea echivalentă

În figura 1.15 se prezintă distribuția tensiunilor echivalente. Se observă că tensiunea maximă nu depășește proprietățile materialului. Totodată valori mai mari sunt observate în zona suportului fix.

2 ANALIZA STATICĂ A UNEI STRUCTURI DE TIP GRINDĂ

2.1. Tema propusă

În lucrarea de laborator se prezintă o analiză statică a unei grinzi. Grinda este încastrată într-un capăt și expusă unei forțe în celălalt capăt. Analiza se va realiza cu programul comercial de modelare cu elemente finite *Ansys*, modulul *Static structural*. De asemenea geometria modelului este concepută în *Design modeler*, modulul integrant al programului.

Aplicația își propune determinarea valorilor maxime ale tensiunii echivalente *Von Mises*, și respectiv a deformației totale, produse de forța exterioară (fig. 2.1). Structura analizată este realizată din oțel, cu următoarele caracteristici mecanice: modulul de elasticitate longitudinal $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$; coeficientul de contracție transversală (*Poisson*) $\nu = 0.3$; densitatea $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$.

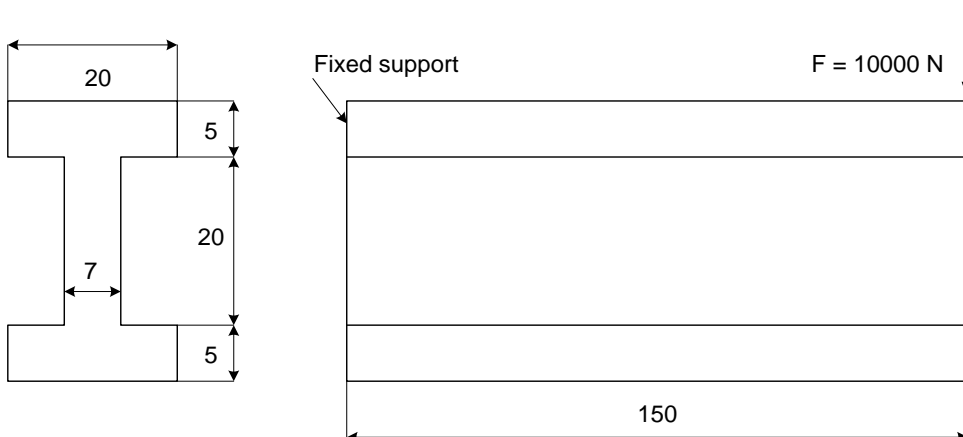


Figura 2.1. Geometria plăcii

2.2. Crearea proiectului

Pentru a iniția programul de analiză structurală se face dublu-clic pe modulul *Static structural* (fig. 2.2) după care apare în spațiul destinat proiectului un tabel cu pașii care trebuie parcurși, și anume:

- *Engineering data* se referă la baza de date cu proprietățile materialului;
- *Design modeler* reprezintă programul de grafică a softului *Ansys*;
- *Model* reprezintă efectiv programul de simulare în care este inclus și modulul de generare a grilei;
- *Set-up* reprezintă etapa referitoare la definirea condițiilor la limită;

- *Solution* reprezintă faza de soluționare;
- *Results* reprezintă programul de postprocesare a rezultatelor.

Trebuie menționat că fiecare fază finalizată cu succes este bifată, iar la următoarea etapă figurează semnul întrebării. Lansarea fiecărui modul se face cu dublu-clic pe celula respectivă. Modificarea materialului se realizează prin clic+stânga pe *Engineering data* după care se deschide baza de date cu proprietățile materialelor.

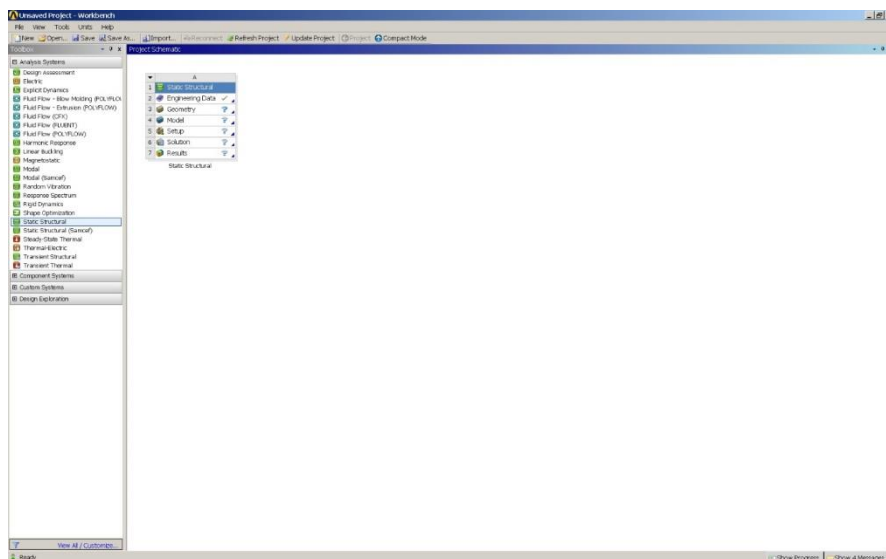


Figura 2.2. Etapele proiectului

2.3. Realizarea desenului

Pentru a realiza desenul grinzii, se deschide *Design modeler* prin dublu+clic pe celula cu același nume. Prima fereastră care apare se referă la alegerea unităților de măsură. Se alege *cm*, după care apare foaia de lucru a programului compusă din trei părți.

Analiza statica a unei structuri de tip grindă

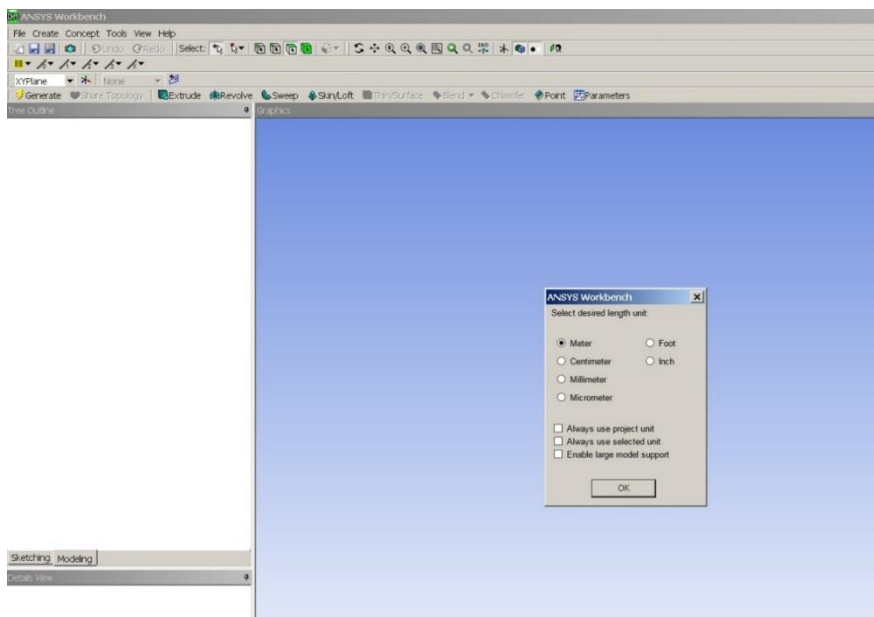


Figura 2.3. Unitățile de măsură

În partea centrală se află foaia de desen, în stânga-sus avem arborele desenului cu cele trei planuri, iar în partea stânga-jos regăsim detalii referitoare la desenul creat.

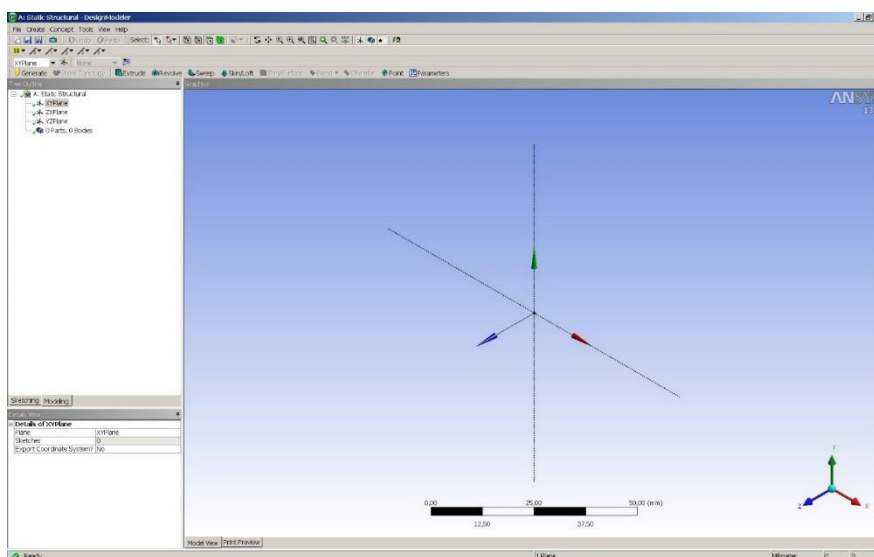
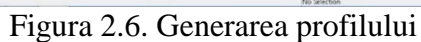


Figura 2.4. Alegerea planului

Se alege un plan în care se realizează schița (ex. *XYPlane*) și se deschide meniul *Sketching tools*.



Din submeniul *Draw* se selectează opțiunea multi-linie după care se creează profilul grinzii (fig. 2.6). Mai departe, se selectează submeniul *Dimensions* și se definesc cotele schiței, după care se introduc valorile la detaliile desenului (*Details view*). Pentru a facilita realizarea schiței se activează grila la *Settings – Grid*.



Analiza statica a unei structuri de tip grindă

Crearea geometriei 3D se realizează prin extrudarea schiței – *Extrude*, după care se definește lungimea grinzii la Detaliile desenului – *FD1, Depth*. La sfârșit se apasă butonul *Generate* cu care se generează obiectul 3D.

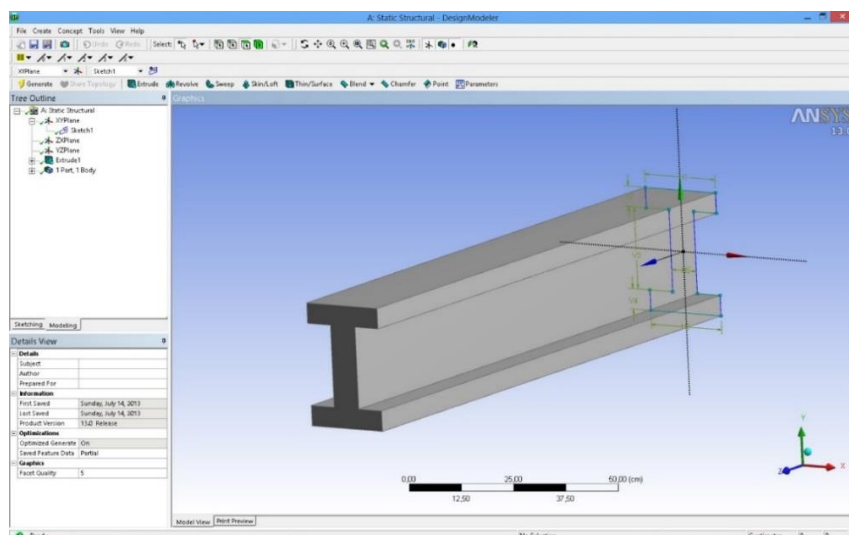


Figura 2.7. Generarea obiectului

2.4. Modelarea analizei statice

După realizarea desenului se revine la pagina proiectului și se observă că celula referitoare la geometrie este bifată astfel încât se trece la următorul pas și anume definirea condițiilor la limită și discretizarea domeniului - *Model*.

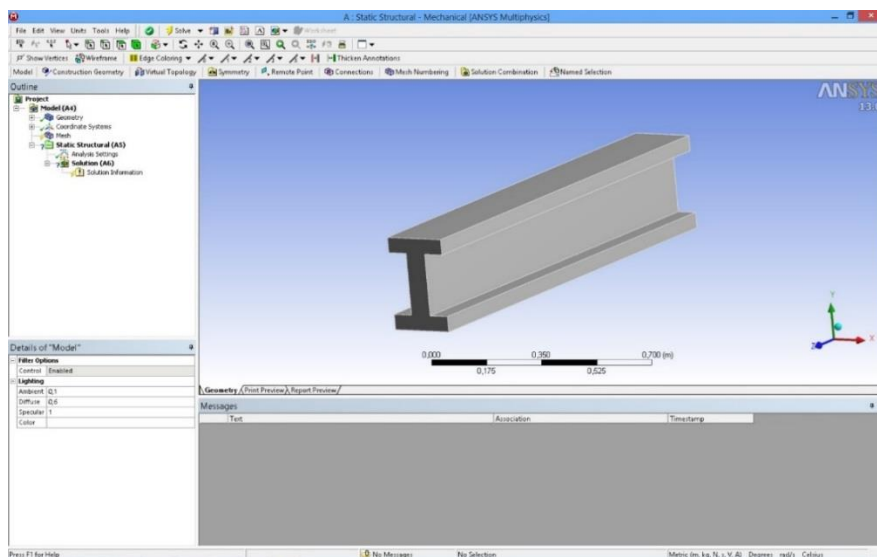


Figura 2.8. Inițierea analizei statice

Pe prima pagină a modulului de simulare se disting trei domenii și anume: în partea centrală se află elementul care face obiectul simulării, în partea stânga-sus regăsim arborele procesului de modelare iar în partea stânga-jos detaliile modelării. Mai mult, în arborele proiectului avem trei segmente: *Model* (A4) care conține partea de geometrie inclusiv modulul de discretizare; *Static structural* (A5) cu care se definesc condițiile la limită și *Solution* (A6) cu care se realizează postprocesarea rezultatelor.

În prima fază se generează grila cu elemente finite prin clic-stânga – *Generate Mesh*.

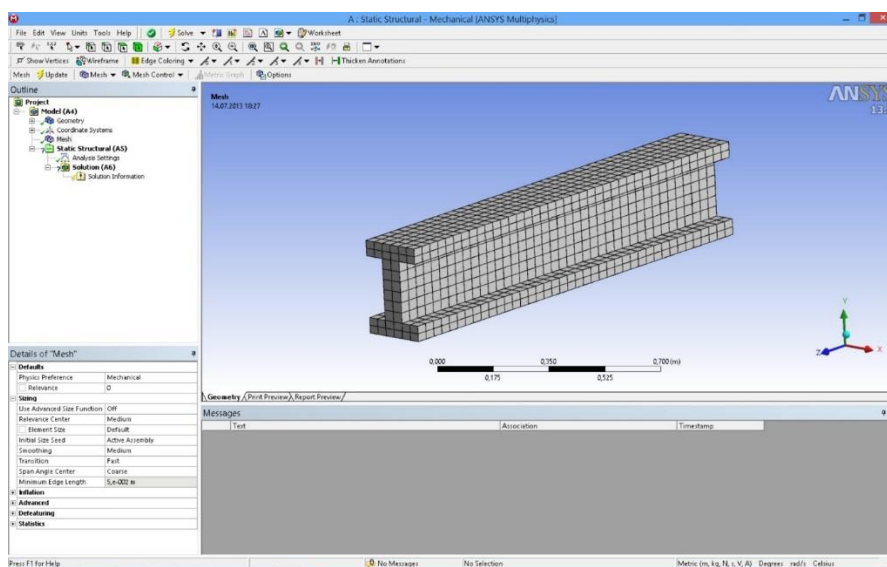


Figura 2.9. Generarea grilei

Următorul pas se referă la încărcarea modelului, și anume: se bifează opțiunea *Static structural* (A5) după care se deschid trei opțiuni pentru condiții la limită la secțiunea *Environment: Inertial, Loads* și *Supports*.

Având în vedere că avem doar două condiții la limită și anume: suport fix respectiv forță, se folosesc opțiunile *Loads* (pentru forță) și *Supports* (pentru suportul fix). Procedura este următoarea:

- Suportul fix: se selectează suprafața (clic+stânga), după care urmează definirea suportului fix (clic+dreapta – *Insert – Fixed support*). Pentru finalizarea condiției la limită, în *Details* se bifează *Face 1* (la opțiunea *Geometry*) pentru a deschide butonul *Apply* care trebuie bifat și cu care se fixează suportul fix.
- Forța: se selectează suprafața opusă (clic+stânga), după care urmează definirea forței (clic+dreapta – *Insert – Forță*). La meniul *Details* se fixează forța prin bifarea *Face 1* (la opțiunea *Geometry*) prin care se deschide butonul *Apply* care trebuie bifat. De asemenea, pentru a

Analiza statica a unei structuri de tip grindă

orienta forța în direcția Z-negativ, trebuie modificată definirea forței de la *Defined by Vector* la *Defined by Components*. La Z-component trebuie trecuta valoarea de 10000 N.

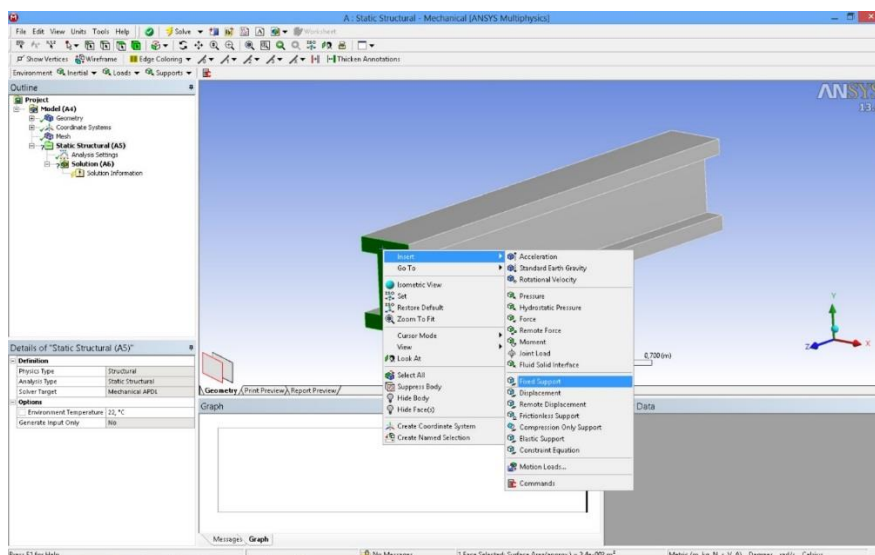


Figura 2.10. Condițiile la limită

2.5. Rezultate

Următorul pas îl reprezintă definirea parametrilor pe care dorim ca programul să îi calculeze. Se bifează *Solution (A6)* după care se deschide un alt meniu la opțiunea *Solution: Deformation, Strain, Stress, Energy*. Având în vedere că s-a propus urmărirea deformațiilor totale și tensiunea echivalentă după criteriul Von – Mises, se selectează cei doi parametri. Opțional, meniul respectiv se deschide și prin *clic+dreapta – Solution (A6) – Insert*.

După discretizarea domeniului și definirea condițiilor la limită, se trece la soluționarea modelului prin comanda *Solve*.

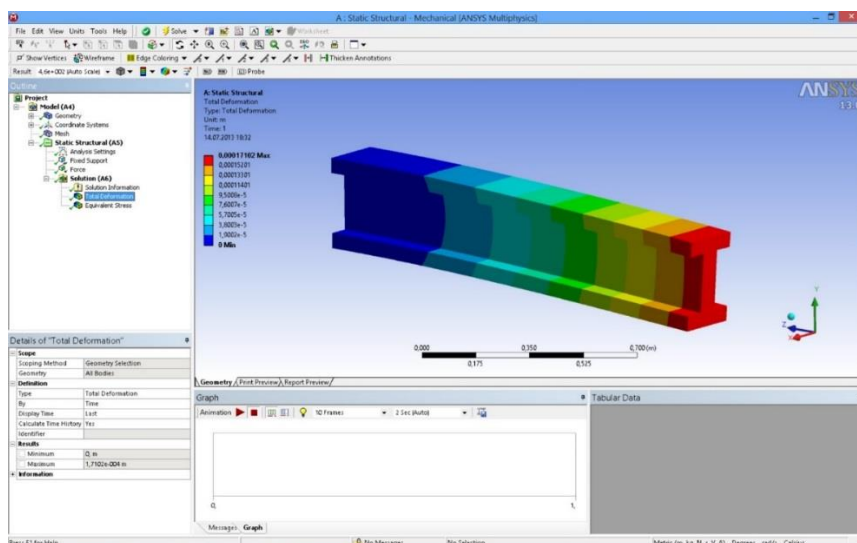


Figura 2.11. Deformațiile totale

În figura 2.11 se prezintă distribuția deformațiilor totale din interiorul obiectului. Așa cum era de așteptat, cele mai mari deformări sunt observate în apropierea punctului de acționare a forței. Deformarea maximă este de 0.17 mm.

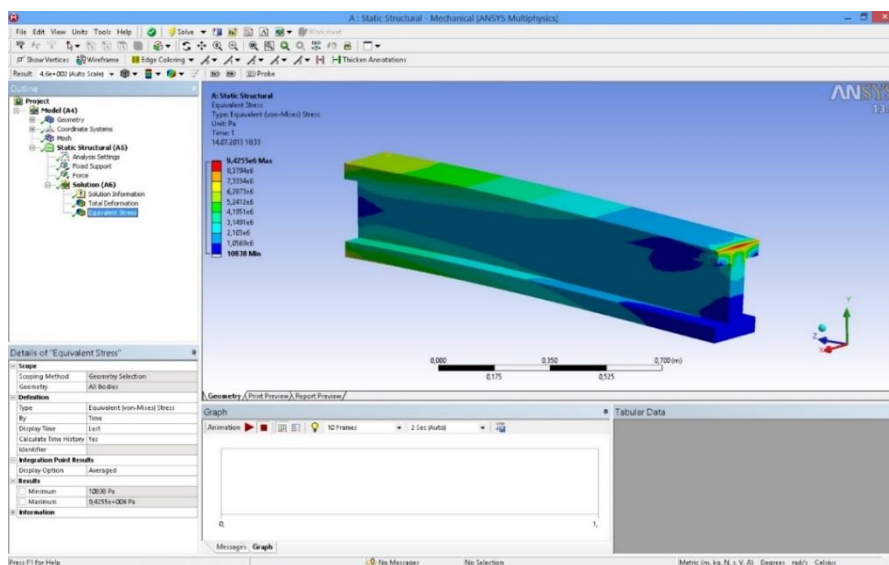


Figura 2.12. Tensiunea echivalentă

În figura 2.12 se prezintă distribuția tensiunilor echivalente. Se observă că tensiunea maximă nu depășește proprietățile materialului. Totodată cele mai mari tensiuni sunt observate în zona suportului fix și a punctului de acționare a forței, având valoarea de $9.42 \cdot 10^6$ Pa.

3 ANALIZA TERMICĂ A UNEI BARE FĂRĂ SURSE INTERNE DE CĂLDURĂ

3.1. Prezentarea temei

În lucrarea de laborator se prezintă o analiză termică a unei bare 3D. Schița barei se prezintă în fig. 3.1, având patru pereți la temperatură constantă și doi pereți adiabatici. Analiza se va realiza cu programul comercial de modelare cu elemente finite *Ansys*, modulul *Fluent*. De asemenea geometria modelului este concepută în *Design modeler*, modulul integrant al programului.

Aplicația își propune determinarea câmpului de temperatură în interiorul elementului cu metoda elementului finit, având ca material de bază aluminiu cu următoarele proprietăți: $\rho = 2719 \text{ kg/m}^3$, $c_p = 871 \text{ J/kg K}$, $\lambda = 202.4 \text{ W/m K}$.

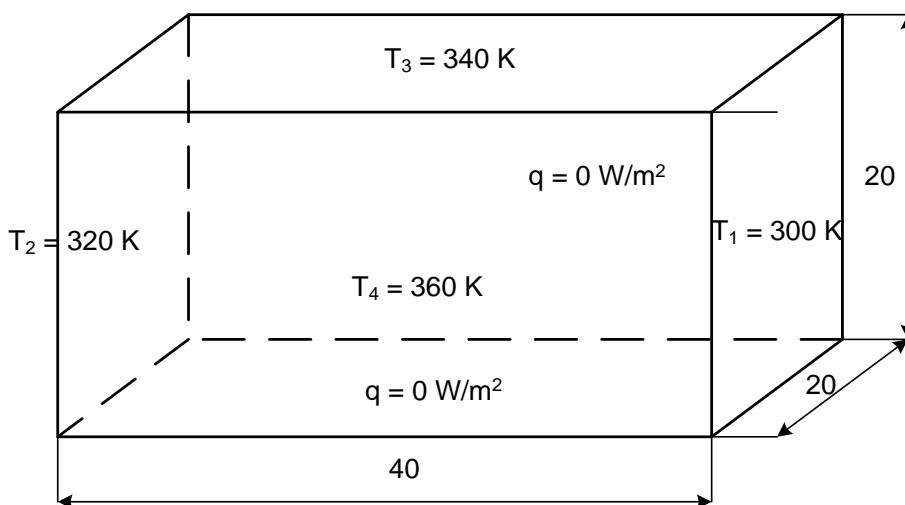


Figura 3.1. Geometria barei cu condiții la limită

3.2. Crearea proiectului

Pentru a iniția programul de analiză structurală se face dublu-clic pe modulul *Fluid Flow (Fluent)* (fig. 3.2) după care apare în spațiul destinat proiectului un tabel cu pașii care trebuie parcurși, și anume:

- *Geometry - Design modeler* reprezintă programul de grafică a softului *Ansys*;
- *Mesh* reprezintă programul de discretizare;
- *Set-up* reprezintă programul de simulare *Fluent*;
- *Solution* reprezintă faza de soluționare;

- *Results* reprezintă programul de postprocesare a rezultatelor.

Trebuie menționat că fiecare fază finalizată cu succes este bifată, în timp ce pentru următoarea etapă figurează semnul întrebării. Lansarea fiecărui modul se face cu dublu-clic pe celula respectivă. Modificarea materialului se realizează prin clic+stânga pe *Engineering data* după care se deschide baza de date cu proprietățile materialelor.

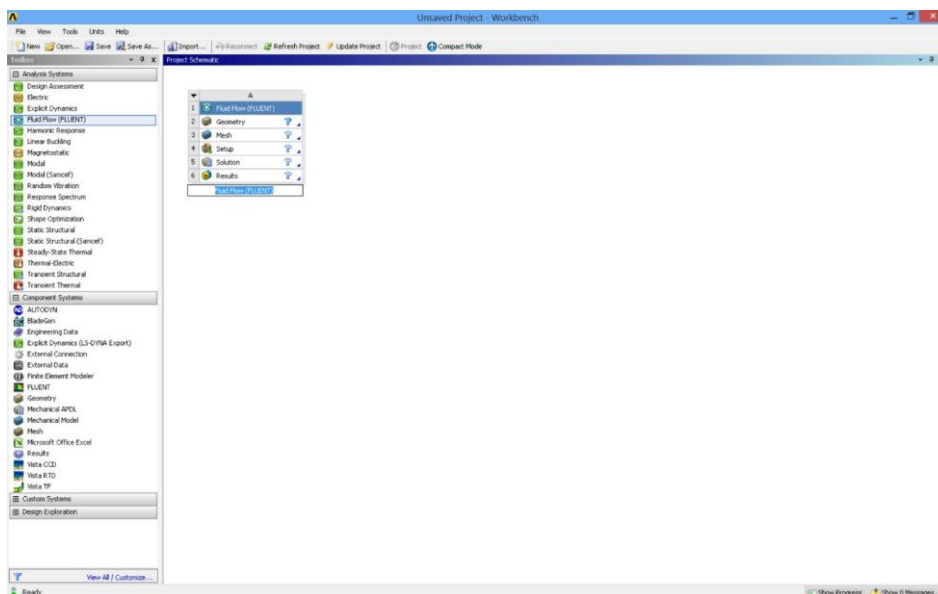


Figura 3.2. Etapele proiectului

3.3. Realizarea desenului

Pentru a realiza desenul plăcii, se deschide *Design modeler* prin dublu-clic pe celula cu denumirea *Geometry*. Prima fereastră care apare se referă la alegerea unităților de măsură. Se alege *cm* după care apare foaia de lucru a programului compusă din trei părți.

Analiza termică a unei bare fără surse interne de căldură

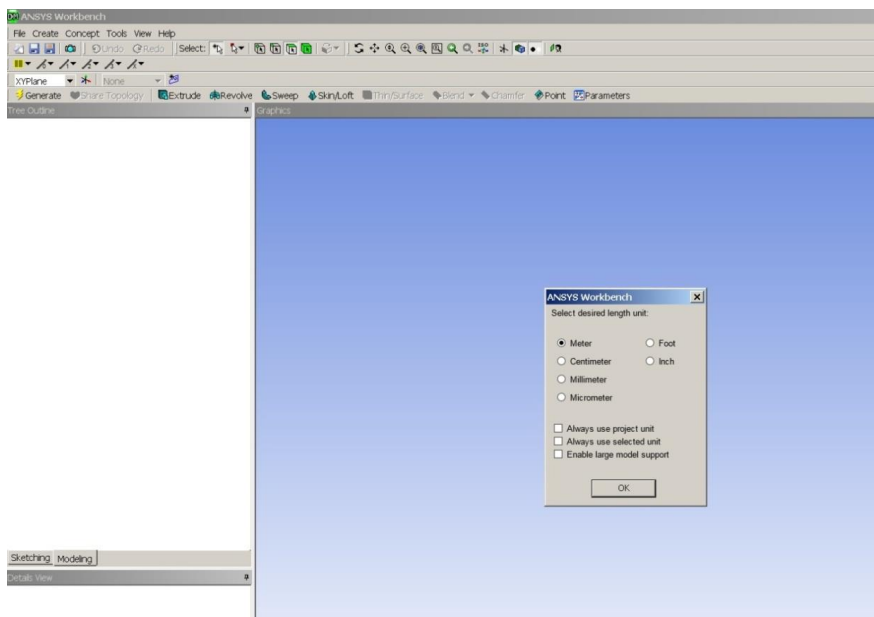


Figura 3.3. Unitățile de măsură

În partea centrală se află foaia de desen, în stânga-sus avem arborele desenului cu cele trei planuri, iar în partea stânga-jos regăsim detalii referitoare la desenul creat.

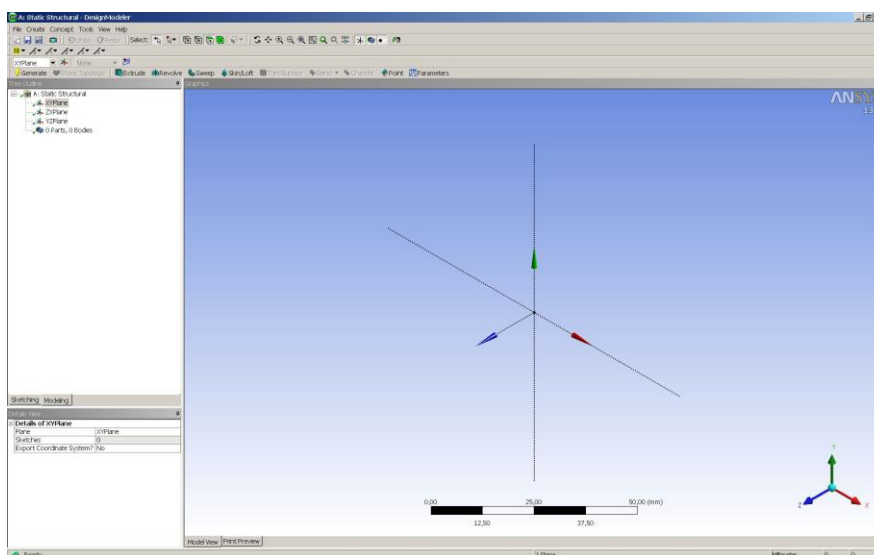


Figura 3.4. Alegerea planului

Se alege un plan în care se realizează schița (ex. *XYPlane*) și se deschide meniul *Sketching tools*.

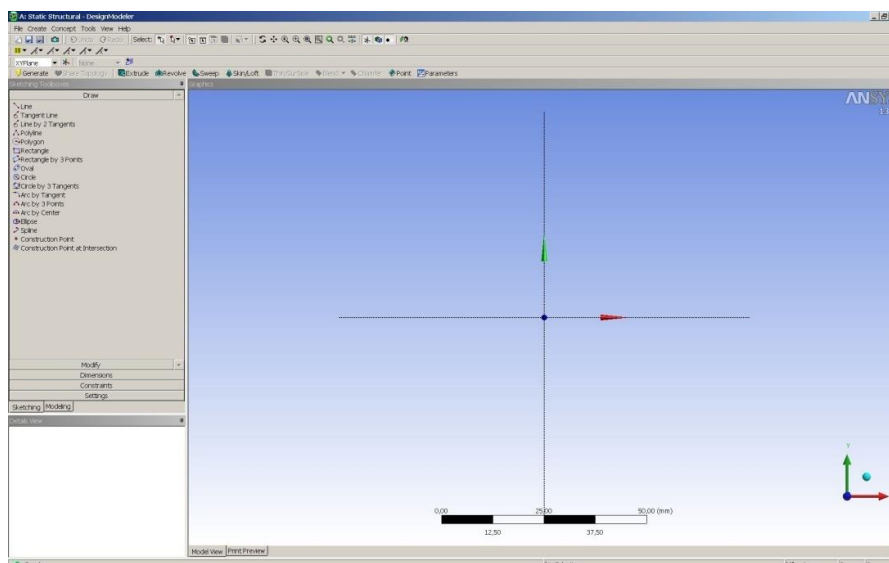


Figura 3.5. Planul XY

Din submeniul *Draw* se selectează dreptunghiul și se desenează schița. Mai departe, se selectează submeniul *Dimensions* și se definesc cotele schiței, după care se introduc valorile pentru V1 și H2 la detaliile desenului (*Details view*). Pentru a facilita realizarea schiței se activează grila la *Settings – Grid*.

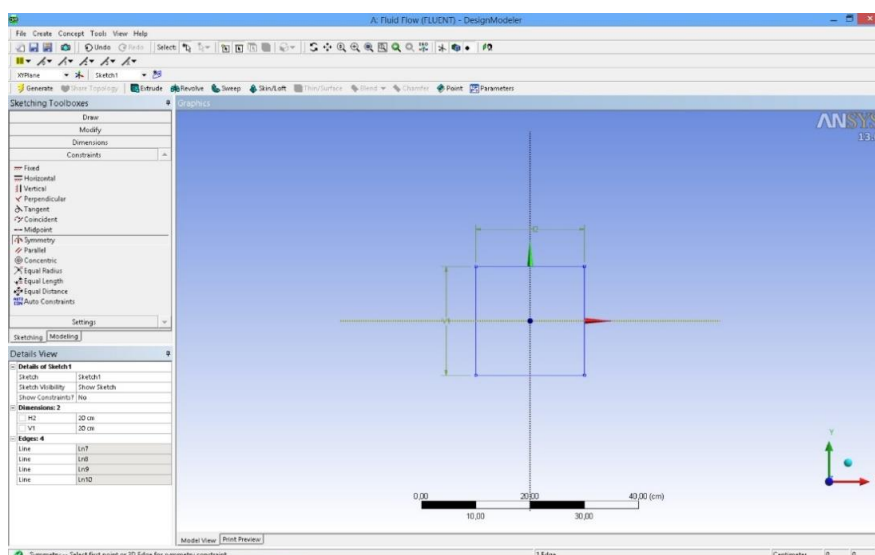


Figura 3.6. Generarea dreptunghiului

Analiza termică a unei bare fără surse interne de căldură

Crearea geometriei 3D se realizează prin extrudarea schiței - *Extrude*. Apoi se definește grosimea plăcii la Detaliile desenului – FD1, *Depth*. La sfârșit se apasă butonul *Generate* cu care se generează obiectul 3D.

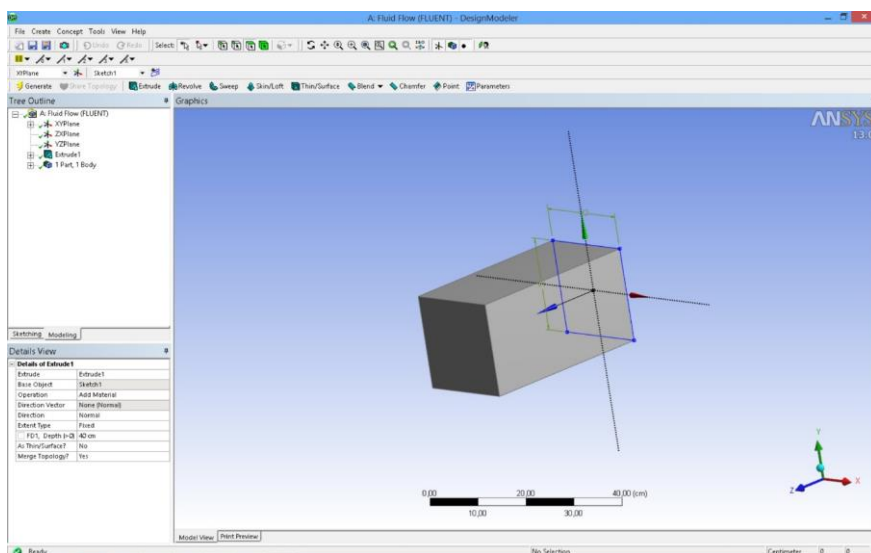


Figura 3.7. Generarea obiectului

3.4. Discretizarea domeniului cu elemente finite

După realizarea desenului se revine la pagina proiectului și se observă că celula referitoare la geometrie este bifată astfel încât se trece la următorul pas și anume discretizarea domeniului și definirea condițiilor la limită - *Mesh*.

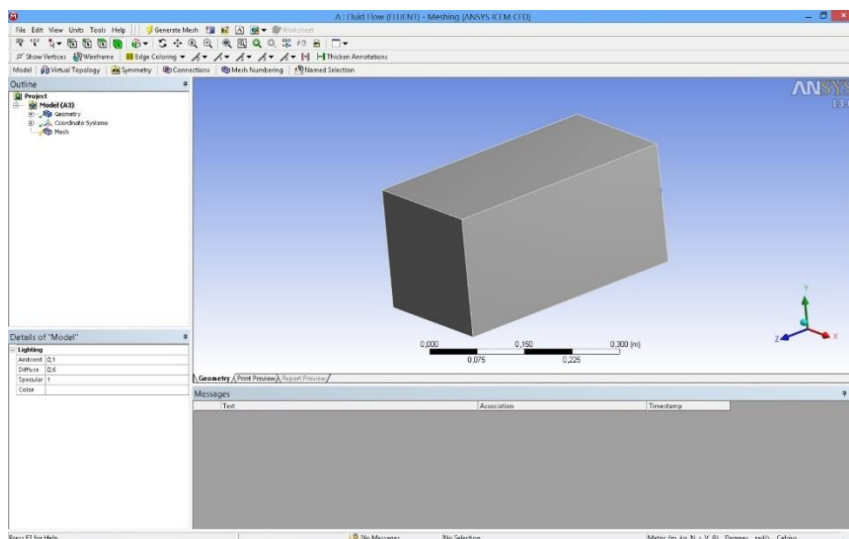


Figura 3.8. Inițierea discretizării

Pe prima pagină a modulului de discretizare se disting trei domenii și anume: în partea centrală se află obiectul care face obiectul discretizării, în partea stânga-sus regăsim arborele procesului de discretizare iar în partea stânga-jos, opțiunile de discretizare.

În prima fază se generează grila cu elemente finite prin clic-stânga – *Generate Mesh*.

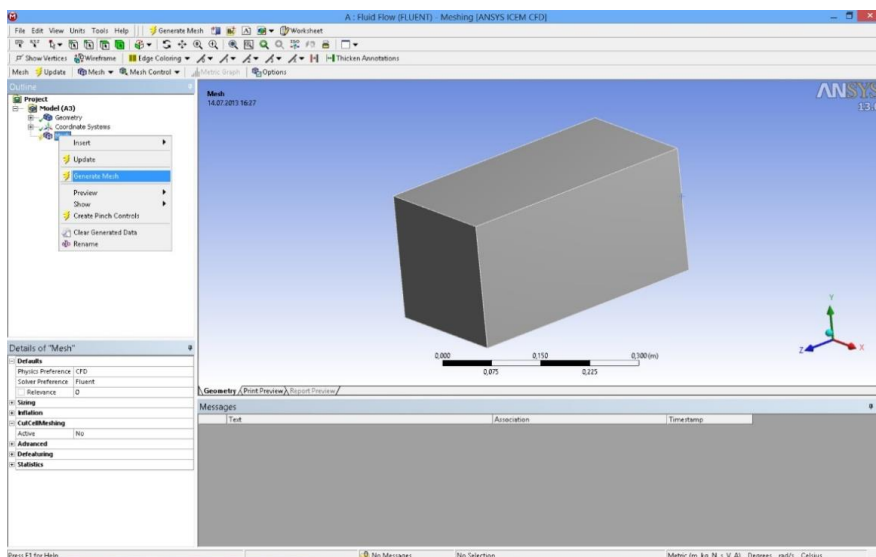


Figura 3.9. Generarea grilei

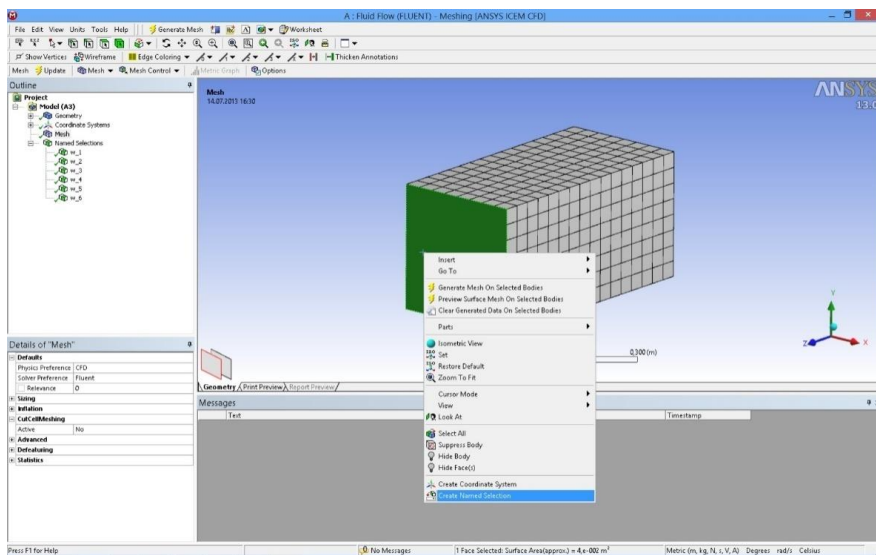


Figura 3.10. Definirea condițiilor la limită

Analiza termică a unei bare fără surse interne de căldură

Următorul pas se referă la definirea condițiilor la limită. Se procedează în felul următor: se selectează suprafața (clic+stânga) după care se selectează opțiunea *Create Named Selection* prin (clic+dreapta) (fig. 3.10). Aceeași procedură se repetă pentru restul suprafețelor. La sfârșit se bifează *Update Mesh* și se revine la pagina proiectului. În continuare se selectează *Setup* prin care se deschide programul de simulare *Fluent*.

În prima fază apare fereastra cu opțiunile inițiale (fig. 3.11), unde se selectează *Dimensions 3D* și *Options Double precision*, după care se intră în programul de simulare (fig. 3.12)

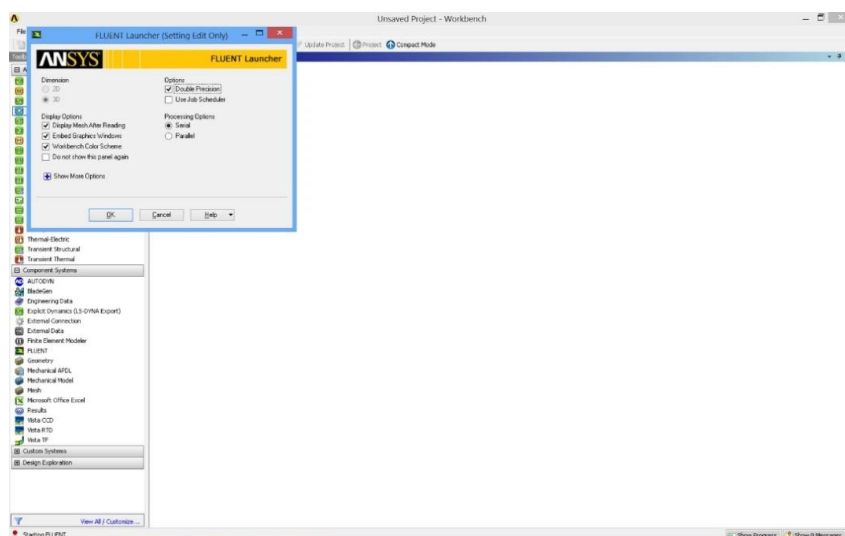


Figura 3.11. Opțiunile inițiale ale *Fluent*ului

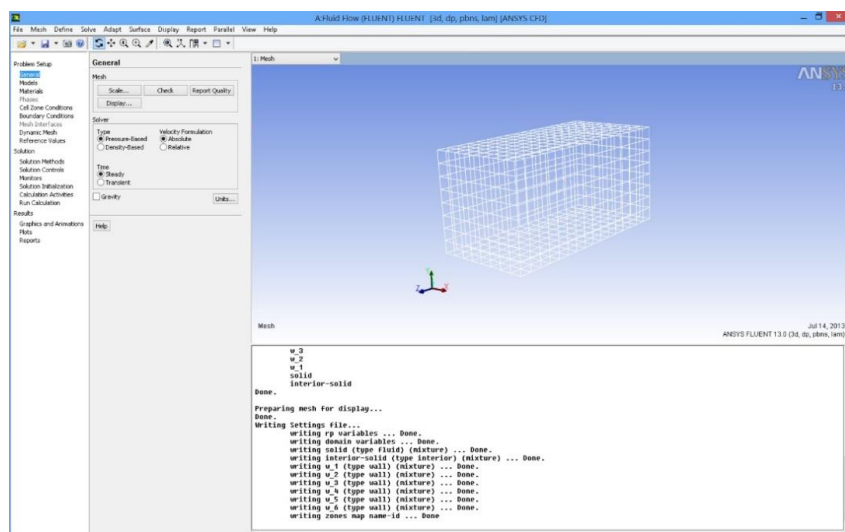


Figura 3.12. Pagina de început a programului *Fluent*

Având în vedere că se simulează câmpul de temperatură, se selectează ecuația de conservare a energiei prin *Models – Energy*. De asemenea se debifează ecuația de curgere prin *Solution Controls – Flow*. În continuare la Boundary conditions se definesc valorile pentru temperaturile suprafețelor (fig. 3.13).

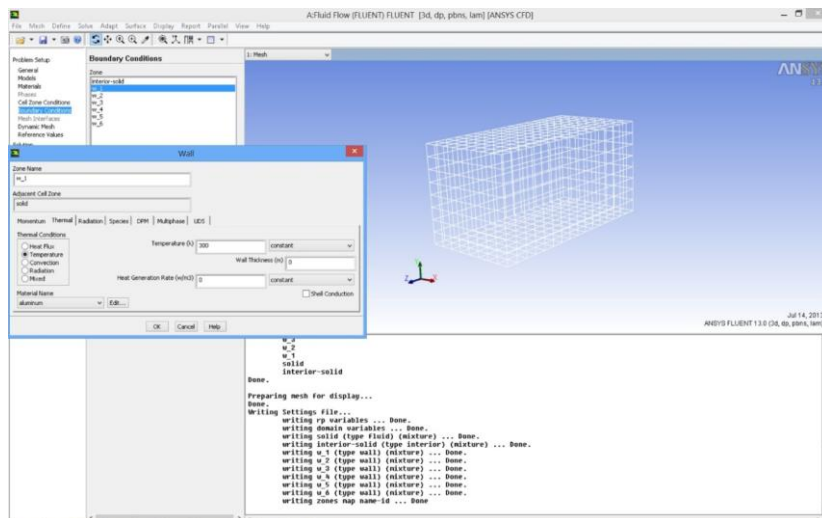


Figura 3.13. Introducerea valorilor pentru condiții la limită

3.5. Rezultate

Următorul pas îl reprezintă inițializarea soluționării la *Solution initialization – Standard initialization*, după care rularea programului se realizează prin comanda *Run calculation – Calculate*. După obținerea soluției convergente se trece la vizualizarea rezultatelor. Vizualizarea se realizează cu comanda *Graphics and Animation – Contours* respectiv *Sweep Surface*.

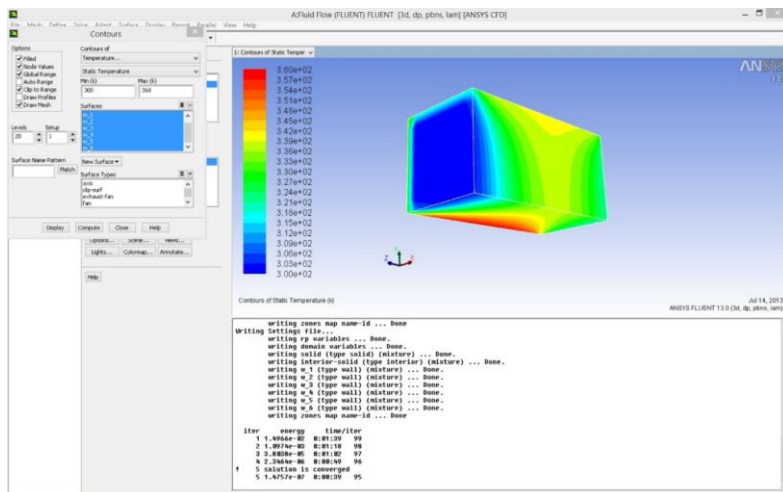


Figura 3.14. Câmpul de temperatură

În fig. 3.14 se prezintă distribuția câmpului de temperatură pe anvelopa obiectului. Așa cum era de așteptat, distribuția este neuniformă datorită condițiilor la limită mixte.

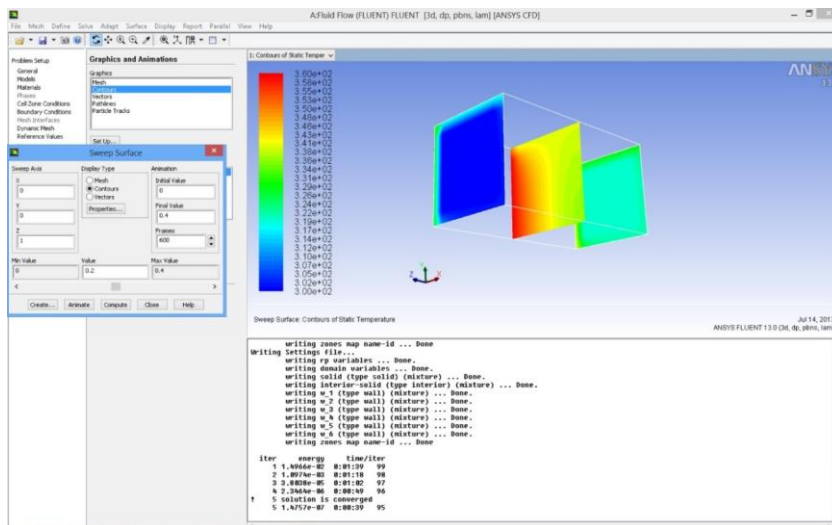


Figura 3.15. Câmpul de temperatură – secțiuni

Aceeași observație rezultă și din fig. 3.15 pentru cele trei secțiuni.

4 ANALIZA TERMICĂ A UNEI BARE CU SURSĂ INTERNĂ DE CĂLDURĂ

4.1. Tema propusă

În lucrarea de laborator se prezintă o analiză termică a unei bare 3D. Schița barei se prezintă în fig. 4.1, având patru pereți la temperatură constantă și doi pereți adiabatici. Analiza se va realiza cu programul comercial de modelare cu elemente finite *Ansys*, modulul *Fluent*. De asemenea geometria modelului este concepută în *Design modeler*, modulul integrant al programului.

Aplicația își propune determinarea câmpului de temperatură în interiorul elementului cu metoda elementului finit, având ca material de bază aluminiu cu următoarele proprietăți: $\rho = 2719 \text{ kg/m}^3$, $c_p = 871 \text{ J/kg K}$, $\lambda = 202.4 \text{ W/m K}$. Se ia în considerare o sursă internă de energie sub forma densității volumice a fluxului de căldură, $q_v = 1 \cdot 10^6 \text{ W/m}^3$.

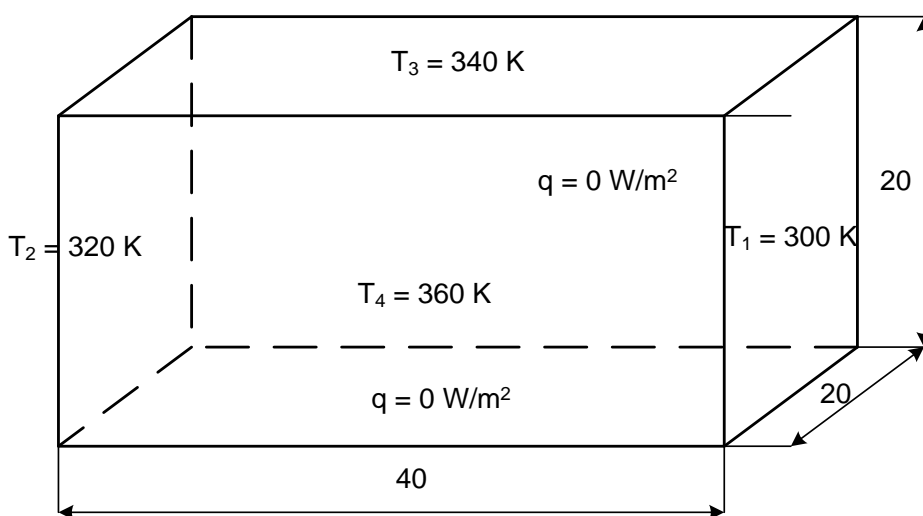


Figura 4.1. Geometria barei cu condiții la limită

4.2. Crearea proiectului

Pentru a iniția programul de analiza structurală se face dublu-clic pe modulul *Fluid Flow (Fluent)* (fig. 4.2) după care apare în spațiul destinat proiectului un tabel cu pașii care trebuie parcurși, și anume:

- *Geometry - Design modeler* reprezintă programul de grafică a softului *Ansys*;
- *Mesh* reprezintă programul de discretizare;

Analiza termică a unei bare cu sursă internă de căldură

- *Set-up* reprezintă programul de simulare *Fluent*;
- *Solution* reprezintă faza de soluționare;
- *Results* reprezintă programul de postprocesare a rezultatelor.

Trebuie menționat că fiecare fază finalizată cu succes este bifată, în timp ce pentru următoarea etapă figurează semnul întrebării. Lansarea fiecărui modul se face cu dublu-clic pe celula respectivă. Modificarea materialului se realizează prin clic+stânga pe *Engineering data* după care se deschide baza de date cu proprietățile materialelor.

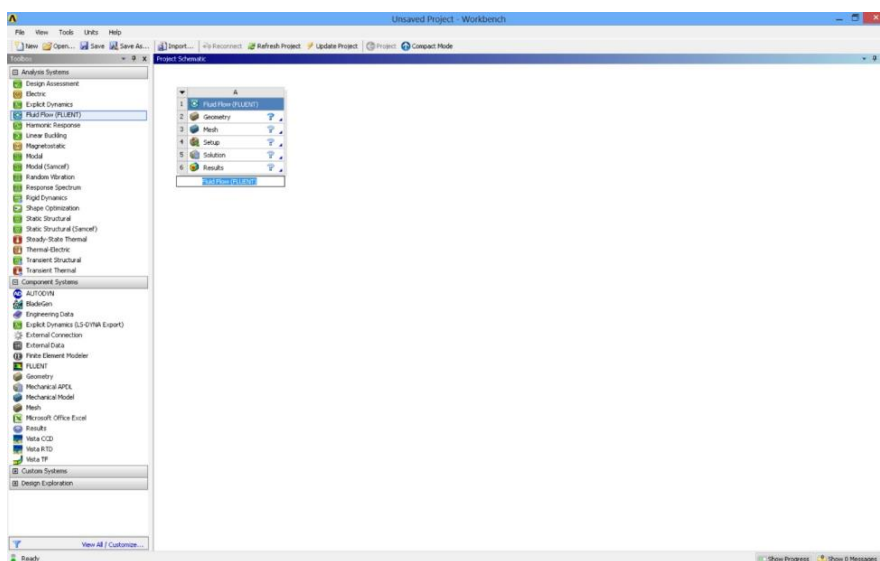


Figura 4.2. Etapele proiectului

4.3. Realizarea desenului

Pentru a realiza desenul plăcii, se deschide *Design modeler* prin dublu-clic pe celula cu denumirea *Geometry*. Prima fereastră care apare se referă la alegerea unităților de măsură. Se alege *cm* după care apare foaia de lucru a programului compusă din trei părți.

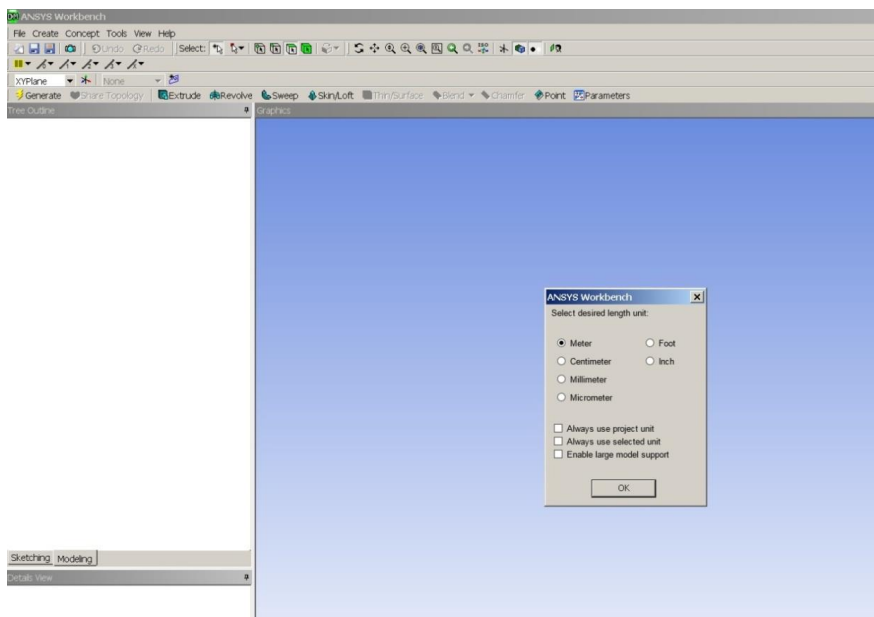


Figura 4.3. Unitățile de măsură

În partea centrală se află foaia de desen, în stânga-sus avem arborele desenului cu cele trei planuri, iar în partea stânga-jos regăsim detalii referitoare la desenul creat.

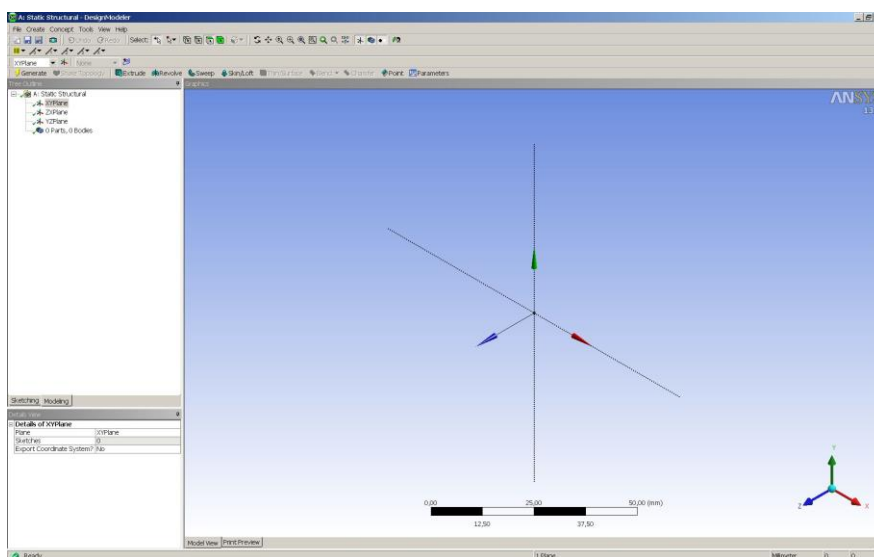


Figura 4.4. Alegerea planului

Se alege un plan în care se realizează schița (ex. *XYPlane*) și se deschide meniul *Sketching tools*.

Analiza termică a unei bare cu sursă internă de căldură

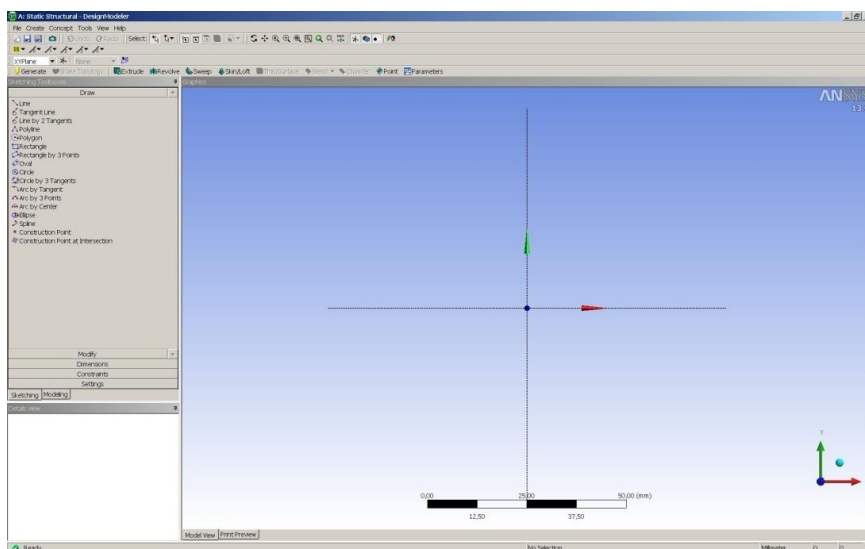


Figura 4.5. Planul XY

Din submeniul *Draw* se selectează dreptunghiul și se desenează schița. Mai departe, se selectează submeniul *Dimensions* și se definesc cotele schiței, după care se introduc valorile pentru V1 și H2 la detaliile desenului (*Details view*). Pentru a facilita realizarea schiței se activează grila la *Settings* – *Grid*.

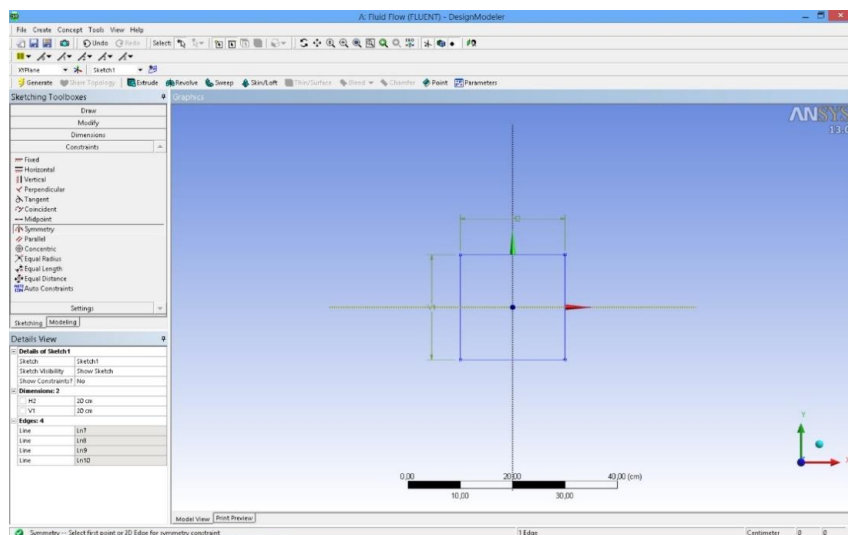


Figura 4.6. Generarea dreptunghiului

Crearea geometriei 3D se realizează prin extrudarea schiței - *Extrude*. Apoi se definește grosimea plăcii la Detaliile desenului – FD1, *Depth*. La sfârșit se apasă butonul *Generate* cu care se generează obiectul 3D.

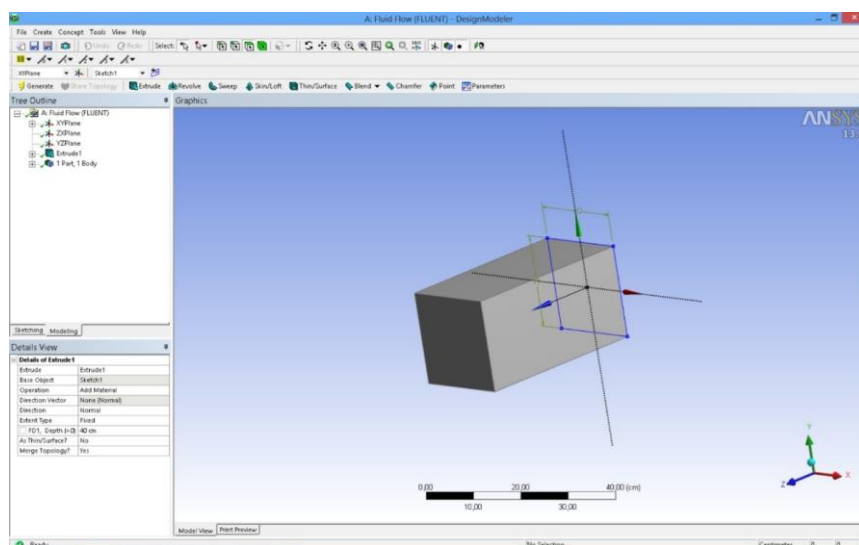


Figura 4.7. Generarea obiectului

4.4. Discretizarea domeniului cu elemente finite

După realizarea desenului se revine la pagina proiectului și se observă că celula referitoare la geometrie este bifată astfel încât se trece la următorul pas și anume discretizarea domeniului și definirea condițiilor la limită - *Mesh*.

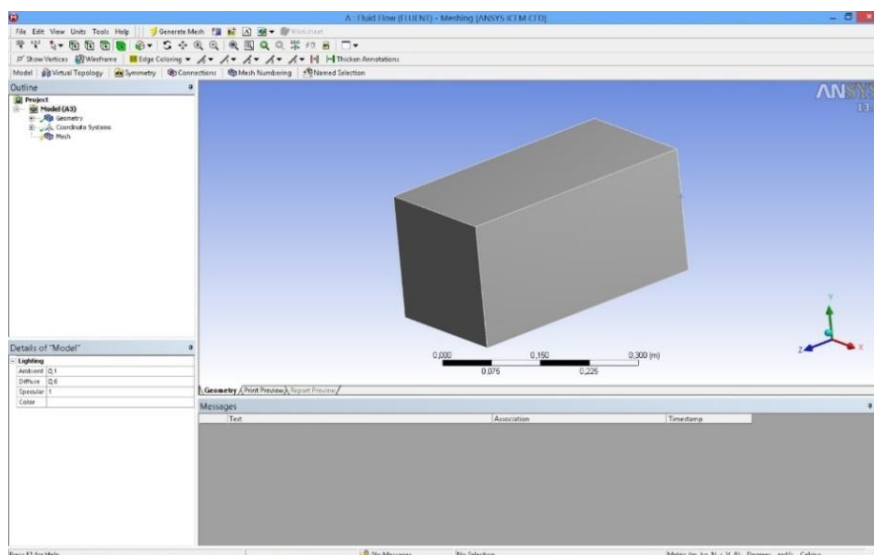


Figura 4.8. Inițierea discretizării

Pe prima pagină a modulului de discretizare se disting trei domenii și anume: în partea centrală se află obiectul care face obiectul discretizării, în

Analiza termică a unei bare cu sursă internă de căldură

partea stânga-sus regăsim arborele procesului de discretizare iar în partea stânga-jos, opțiunile de discretizare.

În prima fază se generează grila cu elemente finite prin clic-stânga – *Generate Mesh*.

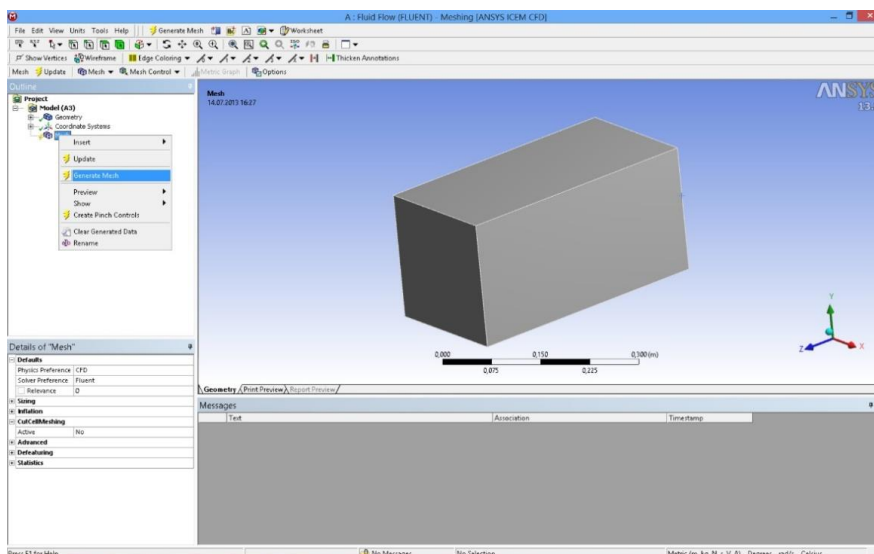


Figura 4.9. Generarea grilei

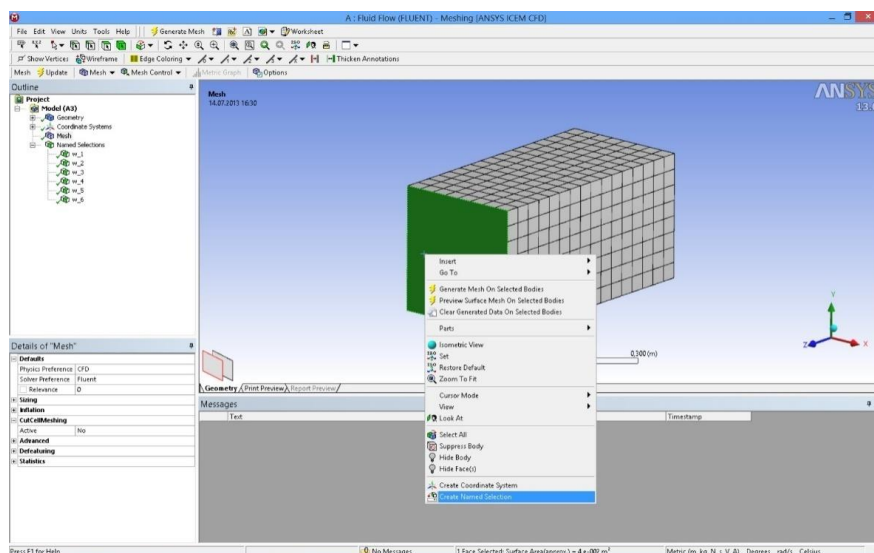


Figura 4.10. Definirea condițiilor la limită

Următorul pas se referă la definirea condițiilor la limită. Se procedează în felul următor: se selectează suprafața (clic+stanga) după care se selectează opțiunea *Create Named Selection* prin (clic+dreapta) (fig. 4.10).

Aceeași procedură se repetă pentru restul suprafețelor. La sfârșit se bifează *Update Mesh* și se revine la pagina proiectului. În continuare se selectează *Setup* prin care se deschide programul de simulare *Fluent*.

În prima fază apare fereastra cu opțiunile inițiale (fig. 4.11), unde se selectează *Dimensions 3D* și *Options Double precision*, după care se intră în programul de simulare (fig. 4.12).

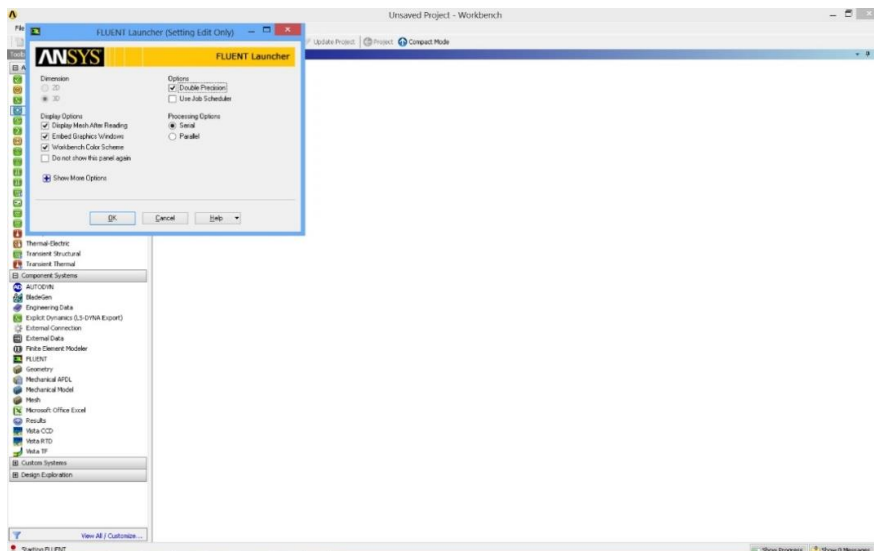


Figura 4.11. Opțiunile inițiale ale *Fluent*ului

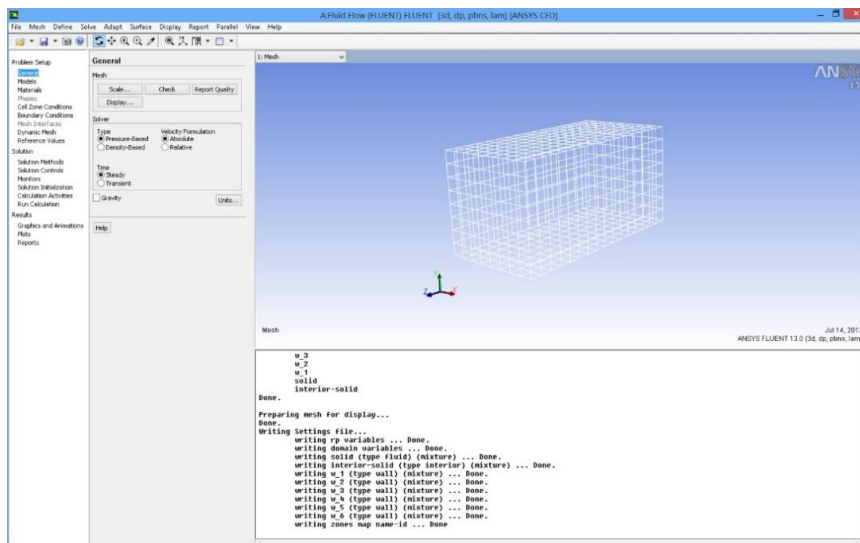


Figura 4.12. Pagina de început a programului *Fluent*

Având în vedere că se simulează câmpul de temperatură, se selectează ecuația de conservare a energiei prin *Models – Energy*. De asemenea se debifează ecuația de curgere prin *Solution Controls – Flow*. În continuare la Boundary conditions se definesc valorile temperaturilor suprafețelor (fig. 4.13).

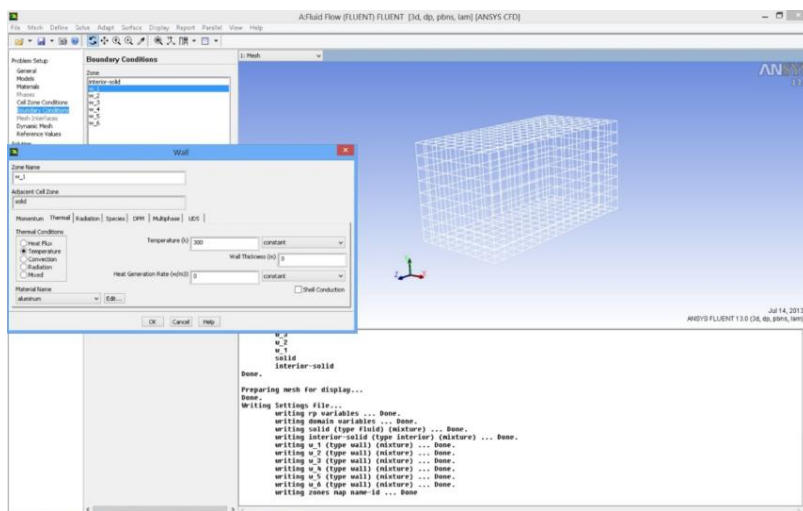


Figura 4.13. Introducerea valorilor pentru condiții la limită

Sursa internă de căldură se definește în felul următor: la meniul *Cell zone Conditions* se bifează *Edit*, cu care se intră în meniul referitor la proprietățile solidului; se bifează *Source terms* după care cu butonul *Edit* se activează fereastra prin care se definește numărul de surse interne de căldură (în cazul nostru o singură sursă). Sursa internă de căldură este constantă și are valoarea de $1 \cdot 10^6 \text{ W/m}^3$. La final se bifează OK cu care se revine la meniul inițial al proiectului.

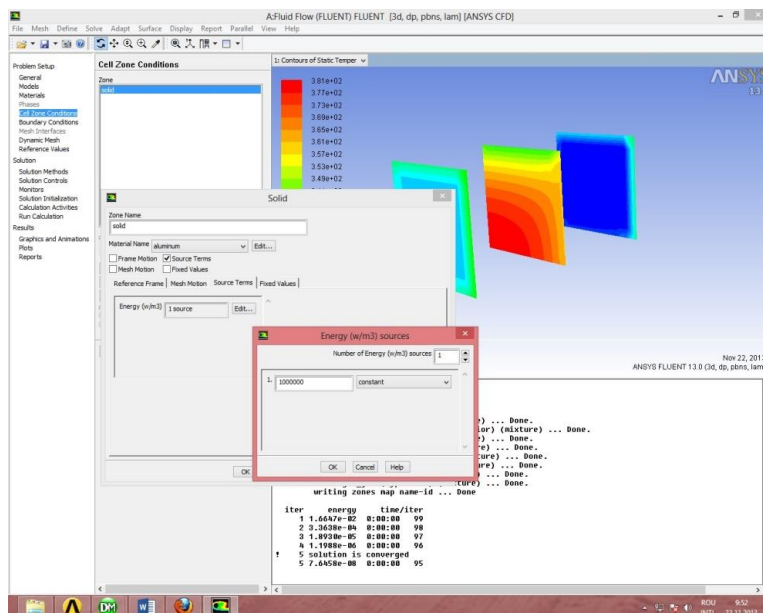


Figura 4.14. Definirea sursei interne de căldură

4.5. Rezultate

Următorul pas îl reprezintă inițializarea soluționării la *Solution initialization* – *Standard initialization*, după care rularea programului se realizează prin comanda *Run calculation* - *Calculate*. După obținerea soluției convergente se trece la vizualizarea rezultatelor.

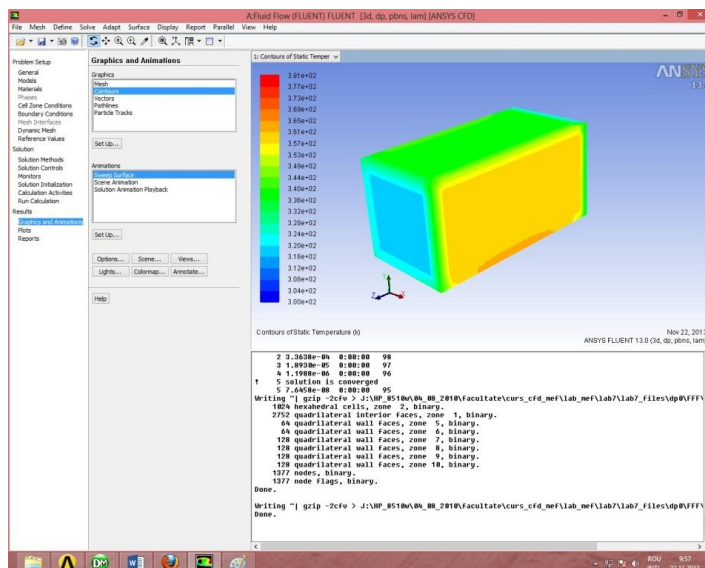


Figura 4.15. Câmpul de temperatură

Analiza termică a unei bare cu sursă internă de căldură

Vizualizarea se realizează cu comanda *Graphics and Animation – Contours* respectiv *Sweep Surface*.

În fig. 4.15 se prezintă distribuția câmpului de temperatură pe anvelopa obiectului.

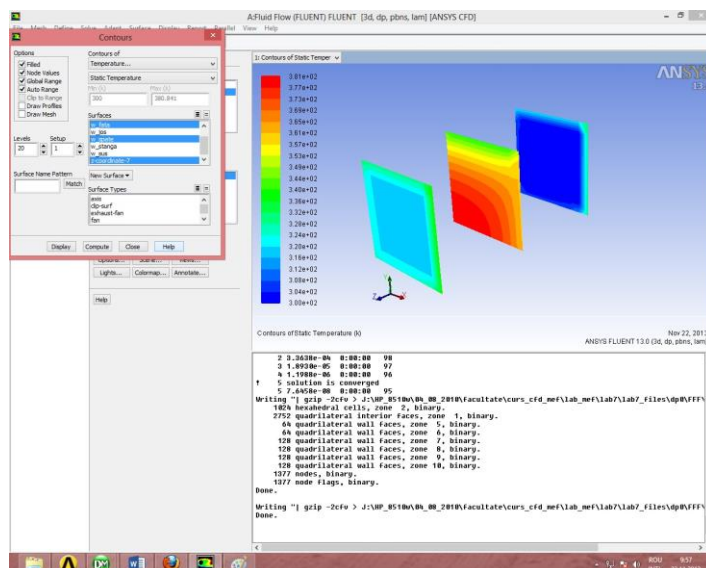


Figura 4.16. Câmpul de temperatură – secțiuni

Așa cum era de așteptat, distribuția este neuniformă datorită condițiilor la limită mixte. Aceeași observație rezultă și din fig. 4.16 pentru cele trei secțiuni.

5 ANALIZA STATICĂ A UNUI ELEMENT DE TIP BRIDĂ

5.1. Prezentarea temei

În lucrarea de laborator se prezintă o analiză statică a unei bride. Piesa este fixată prin două găuri iar asupra sa acționează o forță $F = 1000$ N. Analiza se va realiza cu programul comercial de modelare cu elemente finite *Ansys*, modulul *Static structural*. De asemenea geometria modelului este concepută în *Design modeler*, modulul integrant al programului.

Aplicația își propune determinarea valorilor maxime ale tensiunii echivalente *Von Mises* și a deformației totale (fig. 5.1). Unitatea de măsură din desen este *mm*. Brida analizată este realizată din oțel, cu următoarele caracteristici mecanice: modulul de elasticitate longitudinal $E = 2 \cdot 10^{11}$ N/m²; coeficientul de contracție transversală (*Poisson*) $\nu = 0.3$; densitatea $\rho = 7850$ kg/m³.

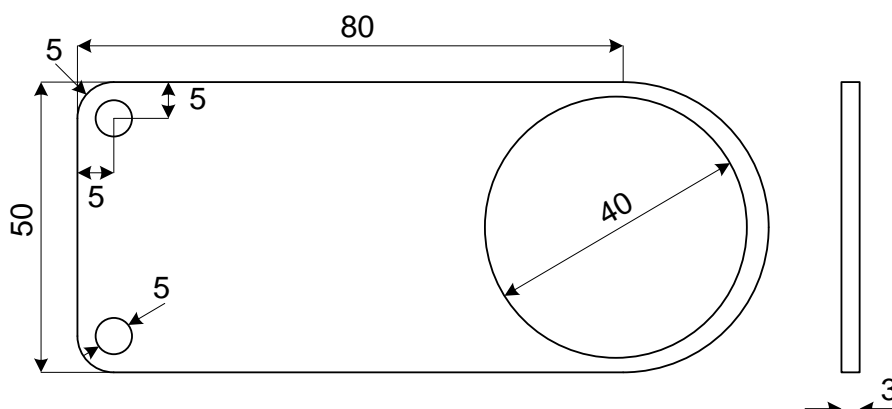


Figura 5.1. Schița bridei

5.2. Crearea proiectului

Pentru a iniția programul de analiză structurală, se face dublu+clic pe modulul *Static structural* (fig. 5.2) după care apare în spațiul destinat proiectului un tabel cu pașii care trebuie parcurși, și anume:

- *Engineering data* se referă la baza de date cu proprietățile materialului;
- *Design modeler* reprezintă programul de grafică a softului *Ansys*;
- *Model* reprezintă efectiv programul de simulare în care este inclus și modulul de generare a grilei;
- *Set-up* se referă la etapa referitoare la definirea condițiilor la limită;
- *Solution* reprezintă faza de soluționare;
- *Results* reprezintă programul de postprocesare a rezultatelor.

Analiza statica a unui element de tip bridă

Trebuie menționat că fiecare fază finalizată cu succes este bifată, iar la următoarea etapă figurează semnul întrebării. Lansarea fiecărui modul se face cu dublu-clic pe celula respectivă. Modificarea materialului se realizează prin clic+stânga pe *Engineering data* după care se deschide baza de date cu proprietățile materialelor.

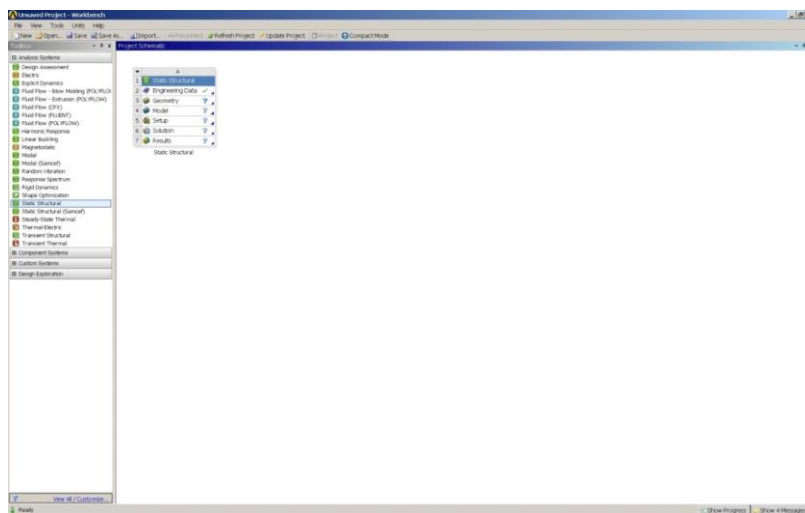


Figura 5.2. Proiectul de simulare

5.3. Realizarea desenului

Pentru a realiza desenul plăcii, se deschide *Design modeler* prin dublu-clic pe celula cu același nume. Prima fereastră care apare, se referă la alegerea unităților de măsură (fig. 5.3). Se alege *cm* după care apare foaia de lucru a programului compusă din trei părți.

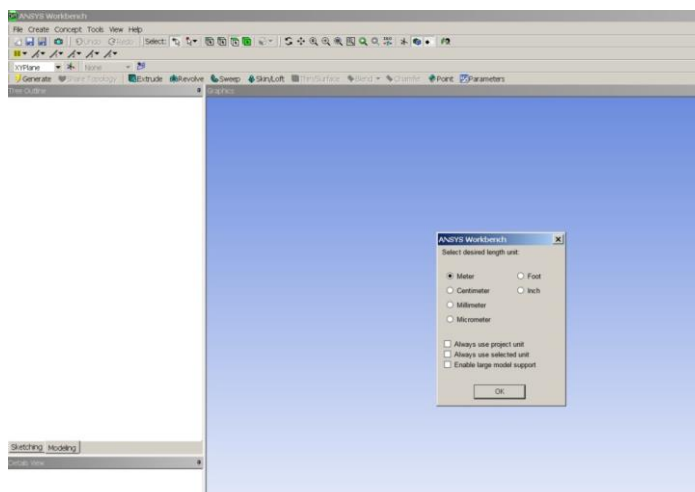


Figura 5.3. Unități de măsură

În partea centrală se află foaia de desen, în stânga sus avem arborele desenului cu cele trei planuri, iar în partea stângă jos regăsim detalii referitoare la desenul creat.

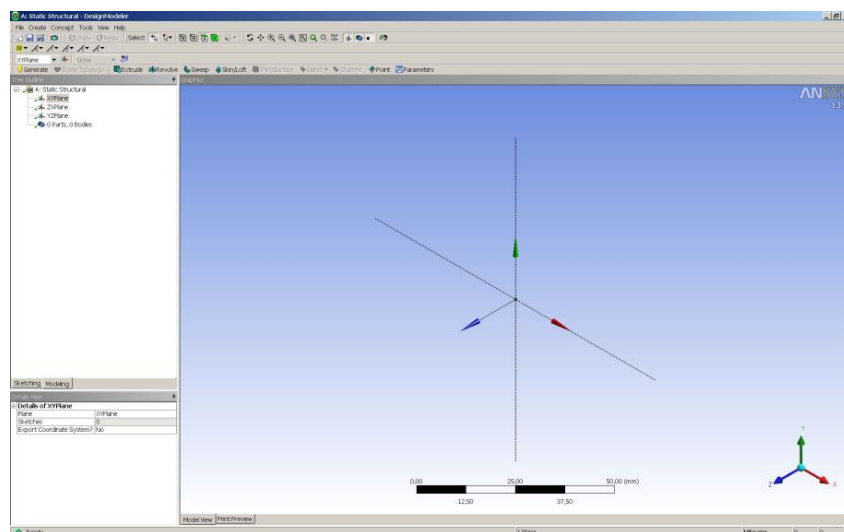


Figura 5.4. Planul X-Y

Se alege un plan în care se realizează schița (ex. *XYPlane*) și se deschide meniul *Sketching tools*.

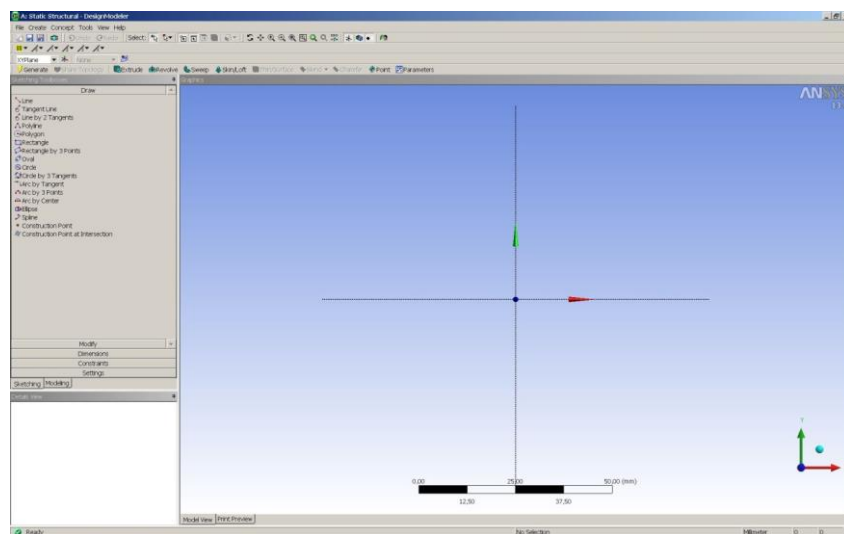


Figura 5.5. Planul X-Y pentru realizarea schiței

Analiza statica a unui element de tip bridă

Brida se realizează printr-o opțiune 3D, *Extrude*. Pentru opțiunea respectivă, este nevoie de schiță (planul *XYPlane*, fig. 5.6). Dimensiunile schiței sunt trecute în *Details of Sketch*.

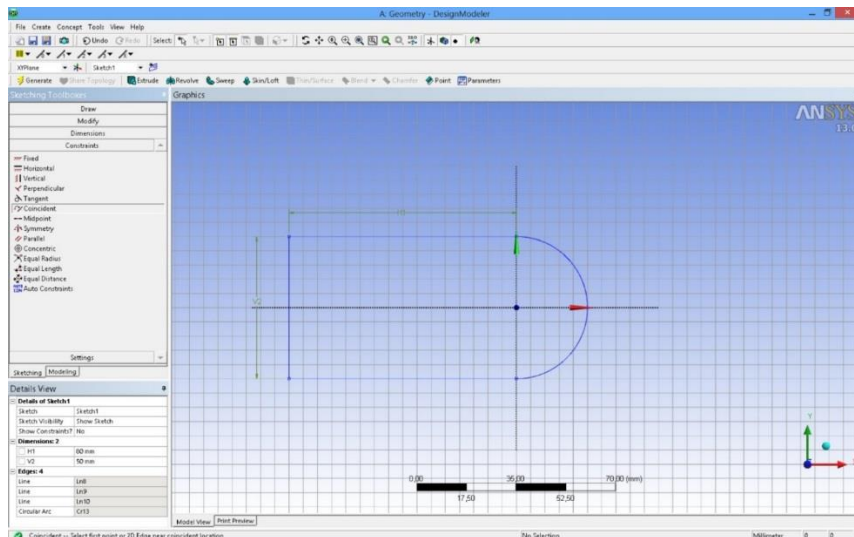


Figura 5.6. Schița bridei

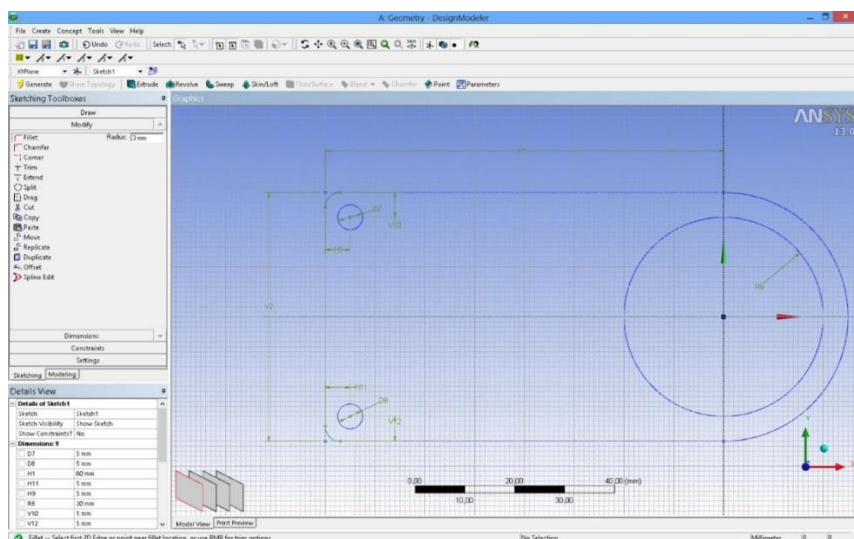


Figura 5.7. Extrudarea schiței

După crearea dreptunghiului și a semicercului de $D_i = 50$ mm, precum și rotunjirea colțurilor cu $r_1 = 5$ mm, se creează două găuri de $d_i = 5$ mm și o gaură mai mare de $D_{i1} = 40$ mm (fig. 5.7).

Așa cum s-a menționat mai devreme, crearea geometriei 3D se realizează prin opțiunea *Extrude* (fig. 5.8) având o grosime de $\delta = 3$ mm.

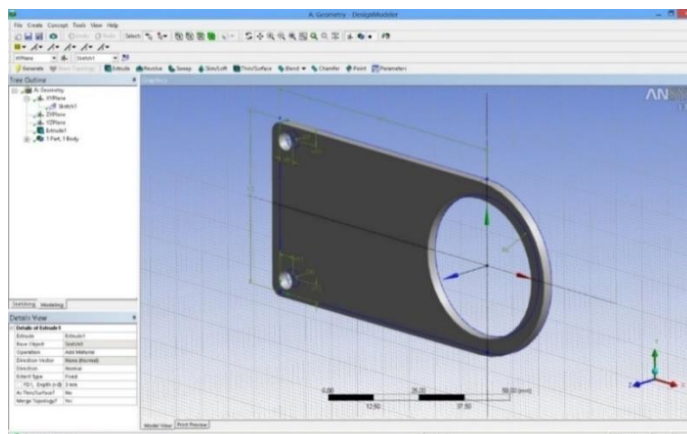


Figura 5.8. Extrudarea schiței

5.4. Modelarea analizei statice

După realizarea desenului, se revine la pagina proiectului și se observă că celula referitoare la geometrie este bifată astfel încât se trece la următorul pas și anume definirea condițiilor la limită și discretizarea domeniului - *Model*.

Pe prima pagină a modului de simulare se disting trei domenii și anume: în partea centrală se află brida care face obiectul simulării, în partea stângă sus regăsim arborele procesului de modelare, iar în partea stângă jos detaliile modelării. Mai mult, în arborele proiectului avem trei segmente: *Model* (A4) care conține partea de geometrie inclusiv modulul de discretizare; *Static structural* (A5) cu care se definesc condițiile la limită și *Solution* (A6) cu care se realizează postprocesarea rezultatelor (fig. 5.9).

În prima fază se generează grila cu elemente finite prin clic+stânga - *Mesh - Generate Mesh* (fig. 5.10).

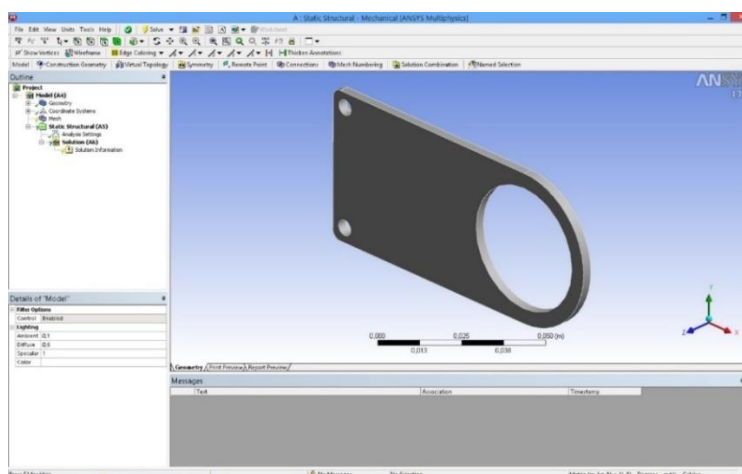


Figura 5.9. Pagina de lucru a programului de modelare

Analiza statica a unui element de tip bridă

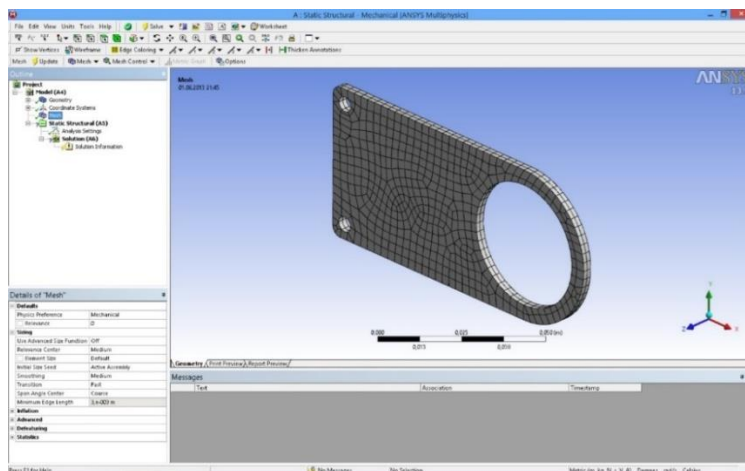


Figura 5.10. Discretizarea domeniului

Următorul pas se referă la încărcarea modelului, și anume: se bifează opțiunea *Static structural* (A5) după care se definesc suporturile fixe.

Având în vedere că avem doar două condiții la limită și anume: suport fix respectiv forță, se folosesc opțiunile *Loads* (pentru forță) și *Supports* (pentru suportul fix). Procedura este următoarea:

- Suportul fix (fig. 5.11): se selectează suprafețele interioare ale găurilor (clic+stânga), după care urmează definirea suportului fix (clic+dreapta – *Insert* – *Fixed support*). Pentru finalizarea condiției la limită, în *Details* se bifează *Face 1* (la opțiunea *Geometry*) pentru a deschide butonul *Apply* care trebuie bifat și cu care se fixează suporturile fixe.
- Forța (fig. 5.12): se selectează suprafața interioară a găurii mai mare (clic+stânga), după care urmează definirea valorii pentru forță (clic+dreapta – *Insert* – *Force*) de $F = 1000$ N.

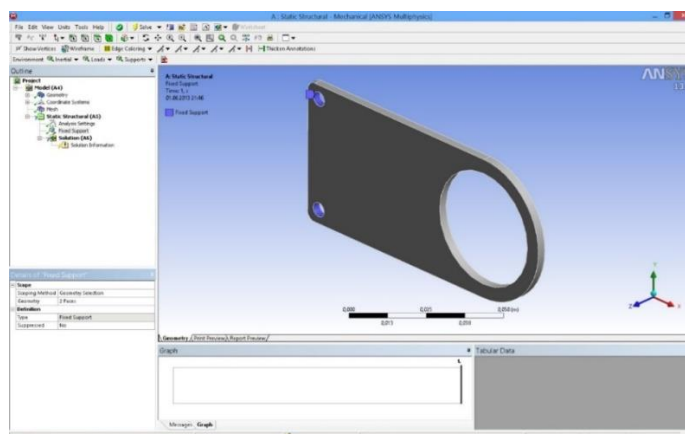


Figura 5.11. Definirea suportului fix

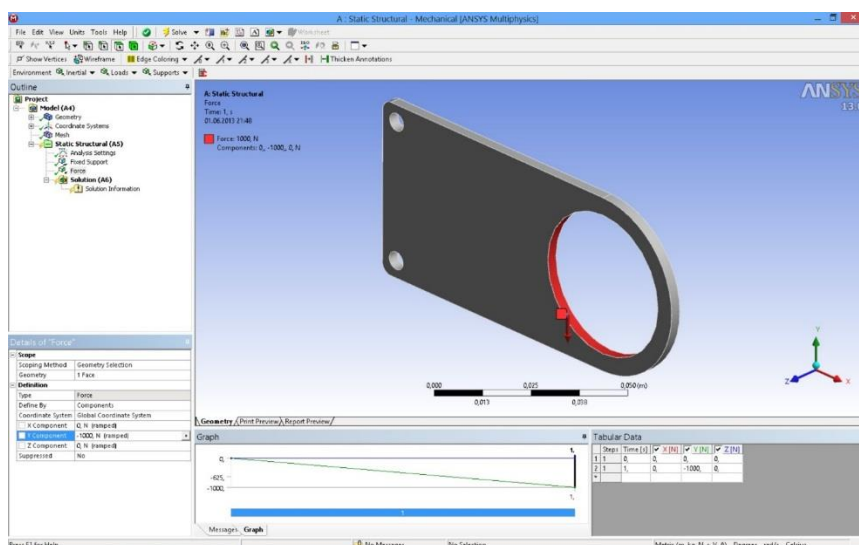


Figura 5.12. Definirea forței

Următorul pas îl reprezintă definirea parametrilor pe care dorim ca programul să îi calculeze. Se bifează *Solution (A6)* după care se deschide un alt meniu la opțiunea *Solution* (fig. 5.13): *Deformation*, *Strain*, *Stress*, *Energy*. Având în vedere că s-a propus monitorizarea deformațiilor totale și a tensiunii echivalente după criteriul Von – Mises, se selectează cei doi parametri. Opțional, meniul respectiv se deschide și prin *clic+dreapta* – *Solution (A6)* – *Insert*.

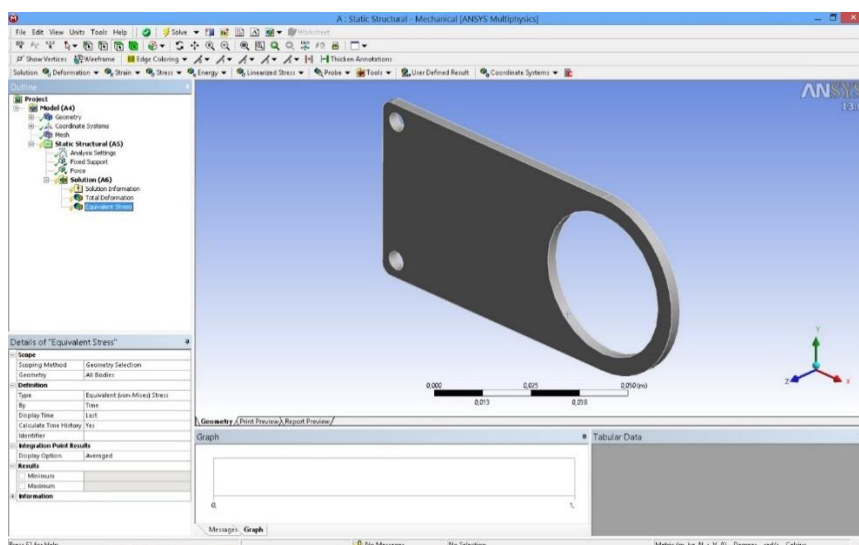


Figura 5.13. Definirea parametrilor de simulare

5.5. Rezultate

În figura 5.14 se prezintă distribuția deformațiilor totale din peretele bridei. Cele mai mari deformații sunt observate în partea superioară a panoului, deformația maximă fiind de $1.25 \cdot 10^{-4}$ m.

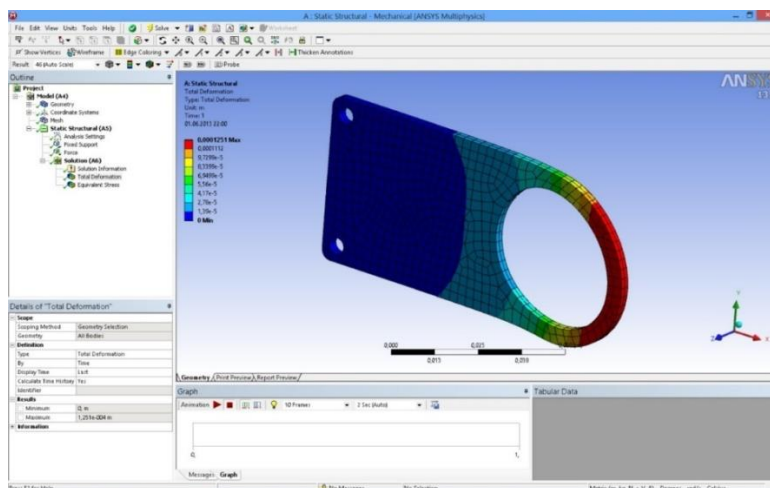


Figura 5.14. Deformațiile totale

În figura 5.15 se prezintă distribuția tensiunilor echivalente. Se observă că tensiunea maximă nu depășește proprietățile materialului.

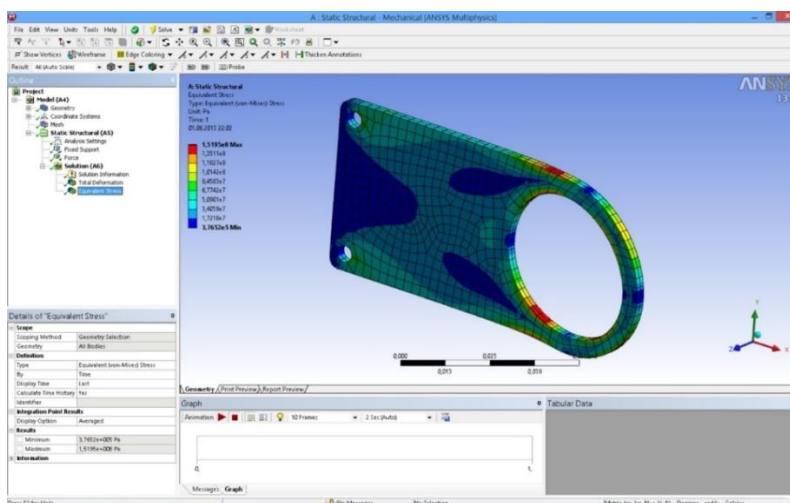


Figura 5.15. Tensiunea echivalentă

Totodată cele mai mari tensiuni sunt observate în porțiunea mai subțire a peretelui. Tensiunea maximă este de $1.51 \cdot 10^8$ Pa.

6 ANALIZA STATICĂ A UNEI CONDUCTE CURBATE SUB PRESIUNE

6.1. Tema propusă

În lucrarea de laborator se prezintă o analiză statică a unei conducte curbate sub presiune. Conducta are două suporturi fixe pe porțiunile drepte. Analiza se va realiza cu programul comercial de modelare cu elemente finite *Ansys*, modulul *Static structural*. De asemenea geometria modelului este concepută în *Design modeler*, modulul integrant al programului.

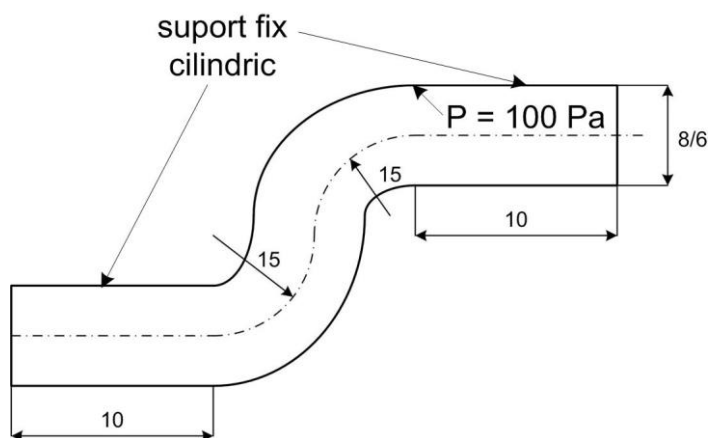


Figura 6.1. Geometria conductei

Aplicația își propune determinarea valorilor maxime ale tensiunii echivalente *Von Mises* respectiv a deformației totale, produse de presiunea interioară din conductă (fig. 6.1). Unitatea de măsură din desen este *cm*. Conducta analizată este realizată din oțel, cu următoarele caracteristici mecanice: modulul de elasticitate longitudinal $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$; coeficientul de contracție transversală (*Poisson*) $\nu = 0,3$; densitatea $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$.

6.2 Crearea proiectului

Pentru a iniția programul de analiză structurală se face dublu clic pe modulul *Static structural* (fig. 6.2) după care apare în spațiul destinat proiectului un tabel cu pașii care trebuie parcurși:

- *Engineering data* se referă la baza de date cu proprietățile materialului;
- *Design modeler* reprezintă programul de grafică a softului *Ansys*;

Analiza statică a unei conducte curbate sub presiune

- *Model* reprezintă efectiv programul de simulare în care este inclus și modulul de generare a grilei;
- *Set-up* se referă la etapa corespunzătoare definirii condițiilor la limită;
- *Solution* reprezintă faza de soluționare;
- *Results* reprezintă programul de postprocesare a rezultatelor.

Trebuie menționat că fiecare fază finalizată cu succes este bifată, în timp ce la următoarea etapă figurează semnul întrebării. Lansarea fiecărui modul se face cu dublu clic pe celula respectivă. Modificarea materialului se realizează prin clic stânga pe *Engineering data* după care se deschide baza de date cu proprietățile materialelor.

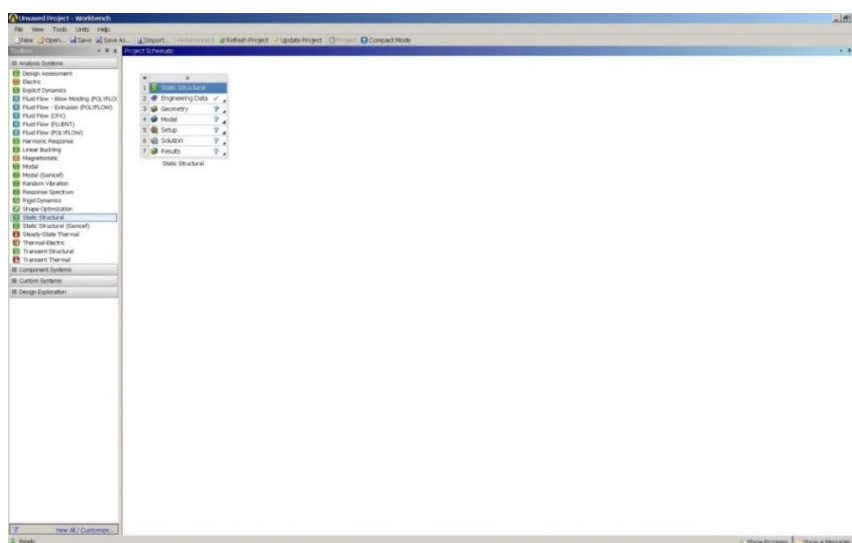


Figura 6.2 Etapele proiectului

6.3 Realizarea desenului

Pentru a realiza desenul conductei, se deschide *Design modeler* prin dublu clic pe celula cu același nume. Prima fereastră care apare se referă la alegerea unităților de măsură (fig. 6.3). Se alege *mm* ca unitate de măsură, după care apare foaia de lucru a programului, compusă din trei părți.

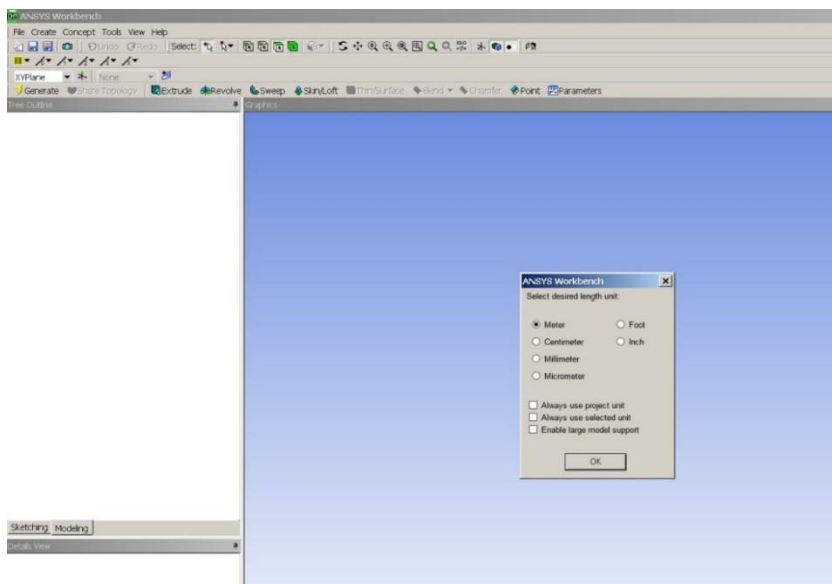


Figura 6.3. Unități de măsură

În partea centrală se află foaia de desen, în stânga sus avem arborele desenului cu cele trei planuri, iar în partea stânga jos regăsim detalii referitoare la desenul creat.

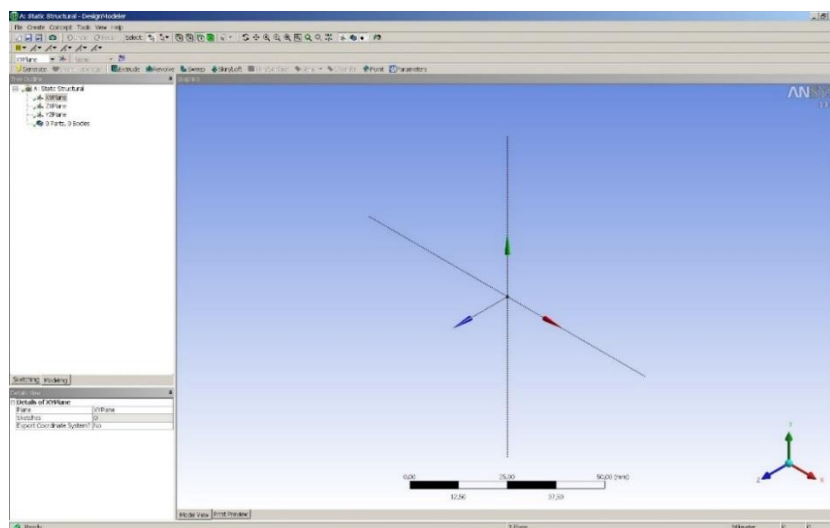


Figura 6.4. Alegerea planului

Se alege un plan în care se realizează schița (ex. *XYPlane*) și se deschide meniu *Sketching tools*.

Analiza statică a unei conducte curbate sub presiune

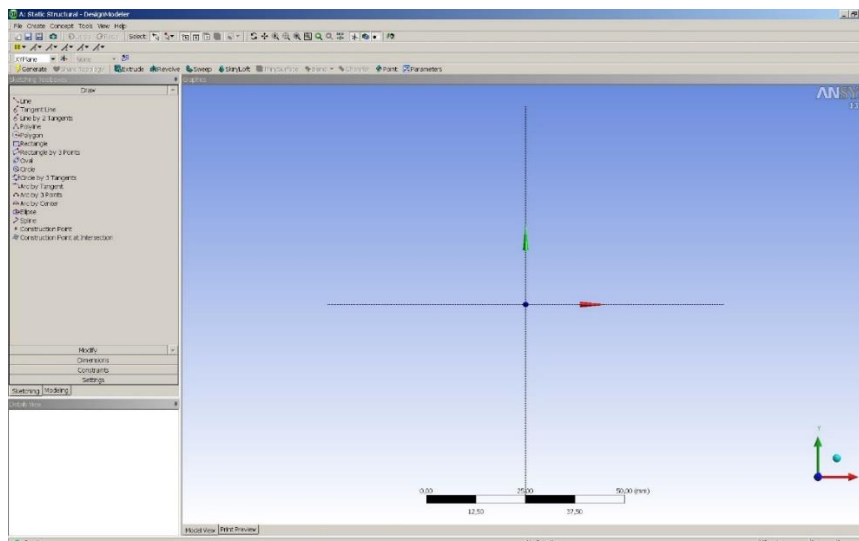


Figura 6.5. Planul XY

Conducta se realizează printr-o comandă 3D, *Sweep*. Pentru opțiunea respectivă, este nevoie de un profil (două cercuri concentrice în planul *YZPlane*, fig. 6.6) și un traseu după care se generează conducta (*multiline* compusă din două linii drepte și două cercuri în planul *XYPlane*, fig. 6.7). Dimensiunile schițelor sunt trecute în *Details of Sketch*.

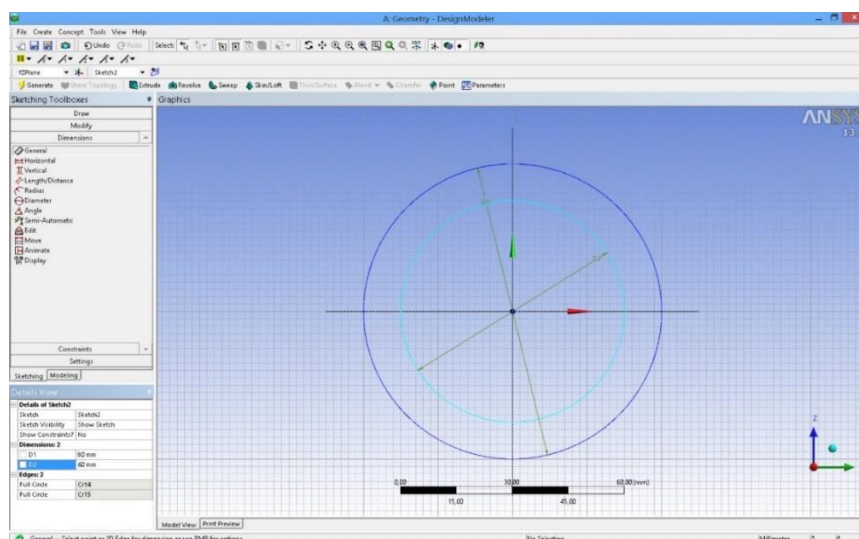


Figura 6.6. Profilul conductei

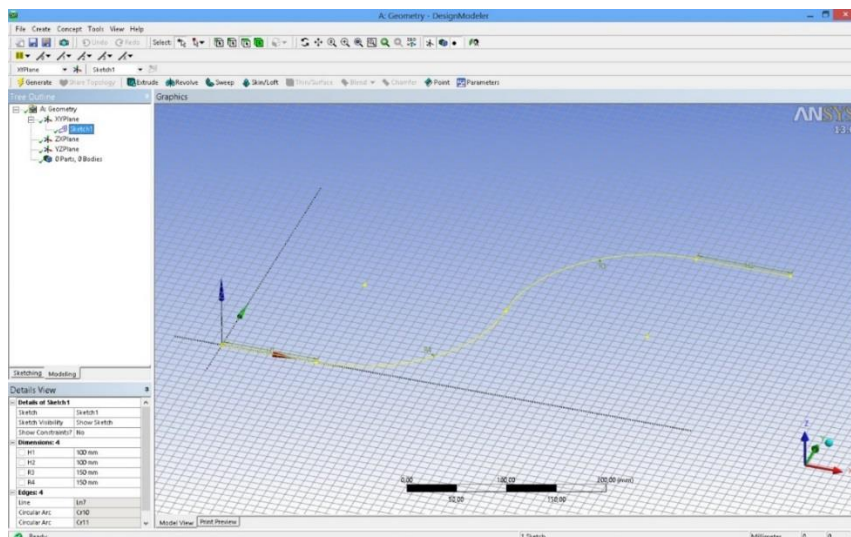


Figura 6.7. Traseul conductei

Așa cum s-a menționat mai devreme, crearea geometriei 3D se realizează prin opțiunea *Sweep*. Se selectează profilul, apoi traseul și se generează conducta cu butonul *Generate* (fig. 6.8).

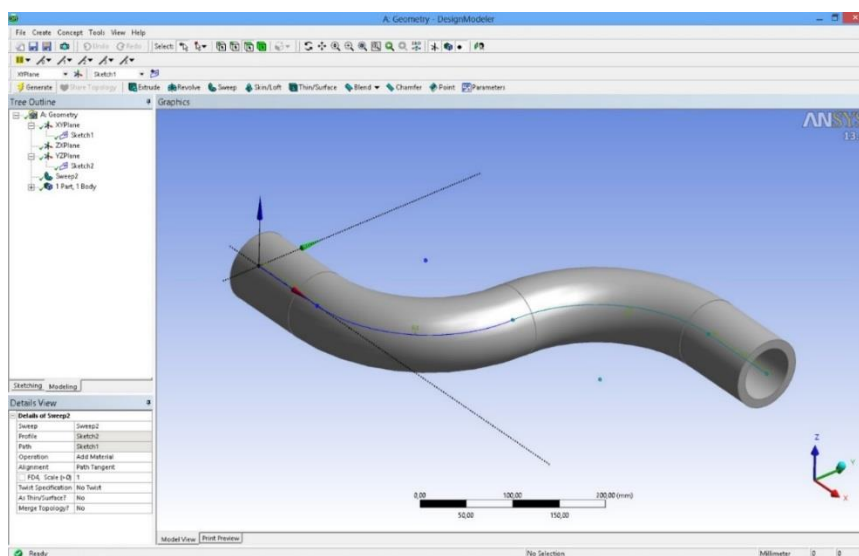


Figura 6.8. Generarea conductei

6.4 Modelarea analizei statice

După realizarea desenului se revine la pagina proiectului și se observă că celula referitoare la geometrie este bifată astfel încât se trece la următorul pas și anume definirea condițiilor la limită și discretizarea domeniului - *Model*.

Pe prima pagină a modulului de simulare se disting trei domenii și anume: în partea centrală se află conducta care face obiectul simulării, în partea stânga sus regăsim arborele procesului de modelare iar în partea stânga jos detaliile modelării. Mai mult, în arborele proiectului avem trei segmente: *Model* (A4) care conține partea de geometrie inclusiv modulul de discretizare; *Static structural* (A5) cu care se definesc condițiile la limită și *Solution* (A6) cu care se realizează postprocesarea rezultatelor (fig. 6.9).

În prima fază se generează grila cu elemente finite prin clic stânga mouse - *Mesh - Generate Mesh* (fig. 6.10).

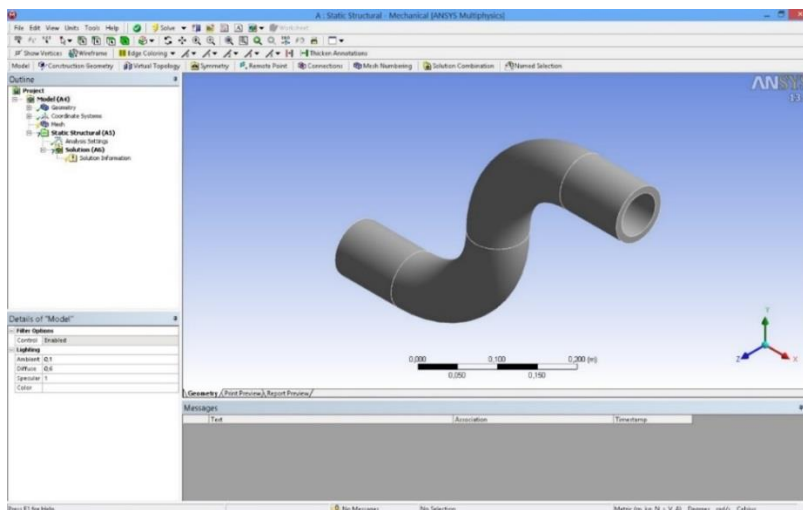


Figura 6.9. Inițierea simulării

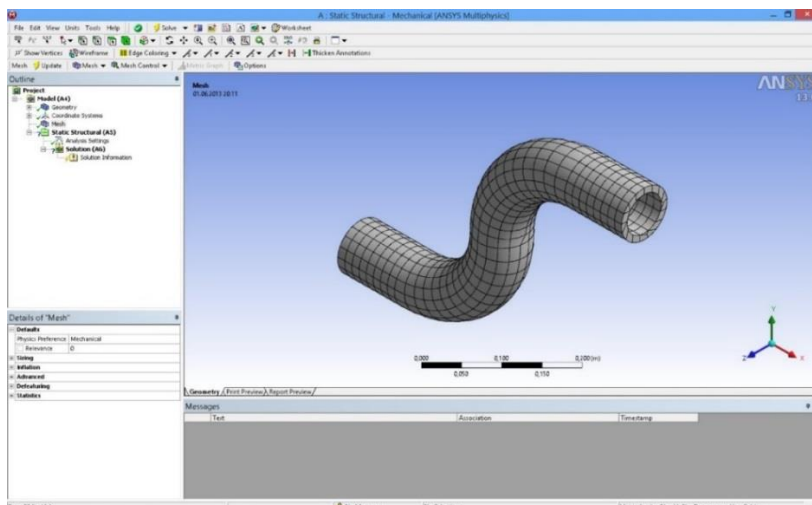


Figura 6.10. Generarea grilei

Următorul pas se referă la încărcarea modelului, și anume: se bifează opțiunea *Static structural* (A5) după care se deschid trei opțiuni pentru condiții la limită la secțiunea *Environment: Inertial, Loads* și *Supports*.

Având în vedere că avem doar două condiții la limită și anume: suportul fix, respectiv presiunea, se folosesc opțiunile *Loads* (pentru presiune) și *Supports* (pentru suportul fix). Procedura este următoarea:

- Suportul fix (fig. 6.11): se selectează suprafața (clic stânga mouse), după care urmează definirea suportului fix (clic dreapta mouse – *Insert – Fixed support*). Pentru finalizarea condiției la limită în *Details* se bifează *Face 1* (la opțiunea *Geometry*) pentru a deschide butonul *Apply* care trebuie bifat și cu care se fixează suporturile fixe.
- Presiunea (fig. 6.12): se selectează suprafața interioară a conductei (clic stânga mouse), după care urmează definirea presiunii (clic dreapta mouse – *Insert – Pressure*). La meniu *Details* se fixează presiunea prin bifarea *Face 1* (la opțiunea *Geometry*) prin care se deschide butonul *Apply* care trebuie bifat. Valoarea presiunii este de 1000 Pa.

Analiza statică a unei conducte curbate sub presiune

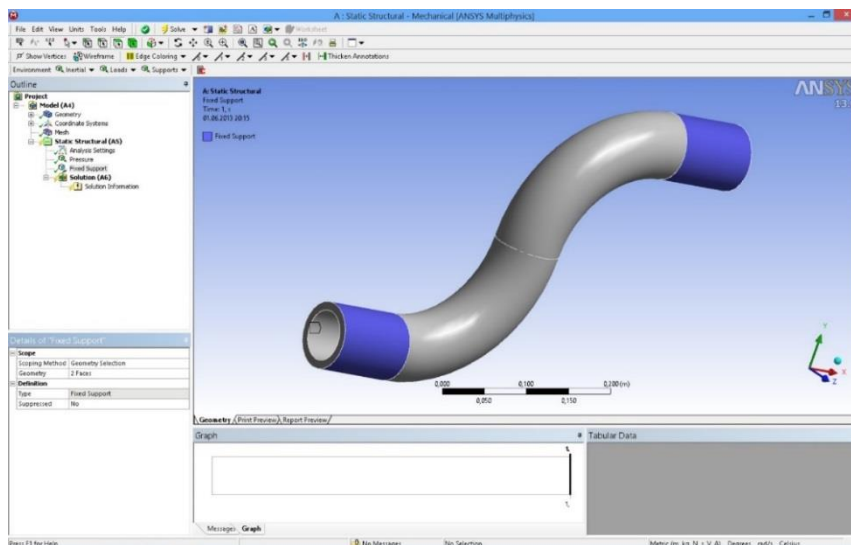


Figura 6.11. Definirea suportului fix

Următorul pas îl reprezintă definirea parametrilor pe care dorim ca programul să îi calculeze. Se bifează *Solution (A6)* după care se deschide un alt meniu la opțiunea *Solution: Deformation, Strain, Stress, Energy*. Având în vedere că s-a propus urmărirea deformațiilor totale și a tensiunii echivalente după criteriul Von – Mises, se selectează cei doi parametri. Opțional meniul respectiv se deschide și prin *clic dreapta – Solution (A6) – Insert*.

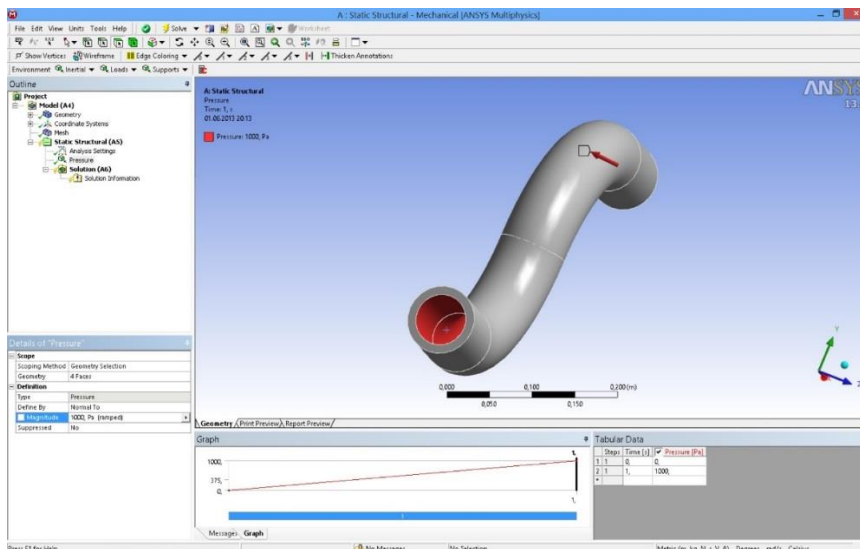


Figura 6.12. Definirea presiunii interioare

După discretizarea domeniului și definirea condițiilor la limită, se trece la soluționarea modelului prin comanda *Solve*.

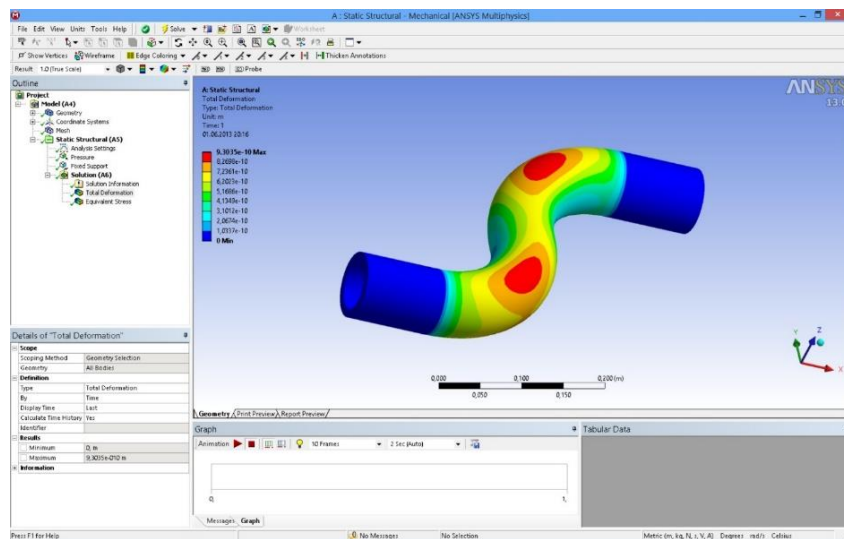


Figura 6.13. Deformațiile totale

6.5. Rezultate

În figura 6.13 se prezintă distribuția deformațiilor totale din peretele conductei. Cele mai mari deformări sunt observate în curburile conductei, deformația maximă fiind de $9.3 \cdot 10^{-10}$ m. În figura 6.14 se prezintă distribuția tensiunilor echivalente.

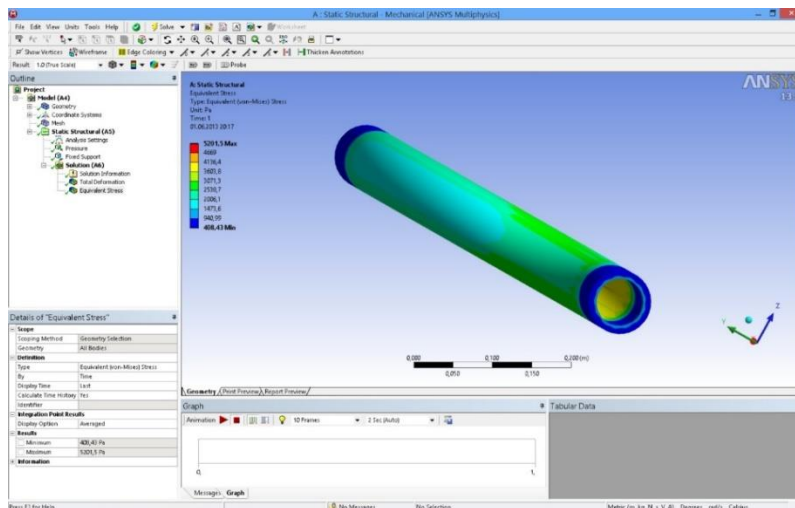


Figura 6.14. Tensiunea echivalentă

Se observă că tensiunea maximă nu depășește proprietățile materialului. Totodată, cele mai mari tensiuni sunt observate pe partea interioară a peretelui conductei. Tensiunea maximă este de 5201.5 Pa.

7 ANALIZA STATICĂ A UNUI PANOU PUBLICITAR

7.1. Prezentarea temei

În lucrarea de laborator se prezintă o analiză statică a unui panou publicitar montat pe un suport. Panoul are un support fix la baza suportului circular, iar panoul acționează asupra acestuia prin accelerația gravitațională. Analiza se va realiza cu programul comercial de modelare cu elemente finite *Ansys*, modulul *Static structural*. De asemenea geometria modelului este concepută în *Design modeler*, modulul integrant al programului.

Aplicația își propune determinarea valorilor maxime ale tensiunii echivalente *Von Mises* și a deformației totale (fig. 7.1). Unitatea de măsură din desen este *m*. Panoul analizat este realizat din oțel, cu următoarele caracteristici mecanice: modulul de elasticitate longitudinal $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$; coeficientul de contracție transversală (*Poisson*) $\nu = 0.3$; densitatea $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$.

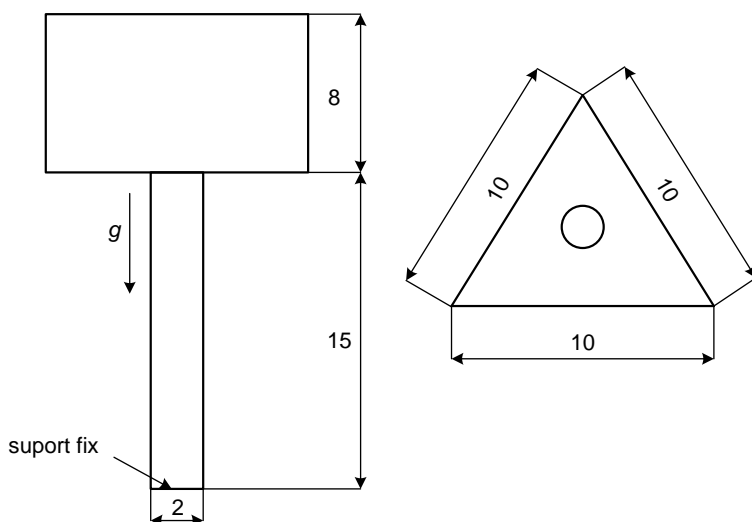


Figura 7.1. Schița panoului

7.2. Crearea proiectului

Pentru a iniția programul de analiză structurală se face dublu-clic pe modulul *Static structural* (fig. 7.2) după care apare în spațiul destinat proiectului un tabel cu pașii care trebuie parcurși, și anume:

- *Engineering data* se referă la baza de date cu proprietățile materialelor;
- *Design modeler* reprezintă programul de grafică a softului *Ansys*;

- *Model* reprezintă efectiv programul de simulare în care este inclus și modulul de generare a grilei;
- *Set-up* reprezintă etapa referitoare la definirea condițiilor la limită;
- *Solution* reprezintă faza de soluționare;
- *Results* reprezintă programul de postprocesare a rezultatelor.

Trebuie menționat că fiecare fază finalizată cu succes este bifată, iar la următoarea etapă figurează semnul întrebării. Lansarea fiecărui modul se face cu dublu-clic pe celula respectivă. Modificarea materialului se realizează prin clic+stânga pe *Engineering data* după care se deschide baza de date cu proprietățile materialelor.

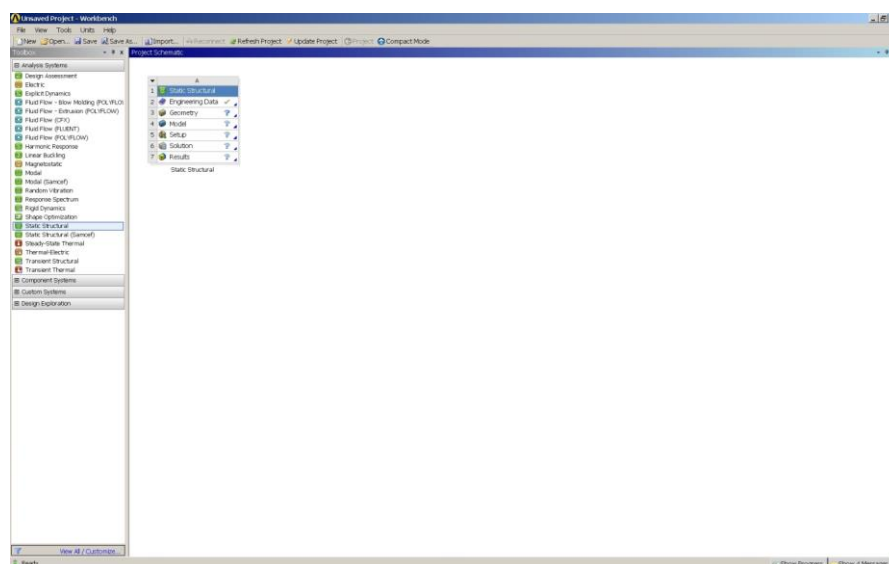


Figura 7.2. Etapele proiectului

7.3. Realizarea desenului

Pentru a realiza desenul grinzii, se deschide *Design modeler* prin dublu-clic pe celula cu același nume. Prima fereastră care apare se referă la alegerea unităților de măsură. Se alege *mm*, după care apare foaia de lucru a programului compusă din trei părți.

Analiza statică a unui panou publicitar

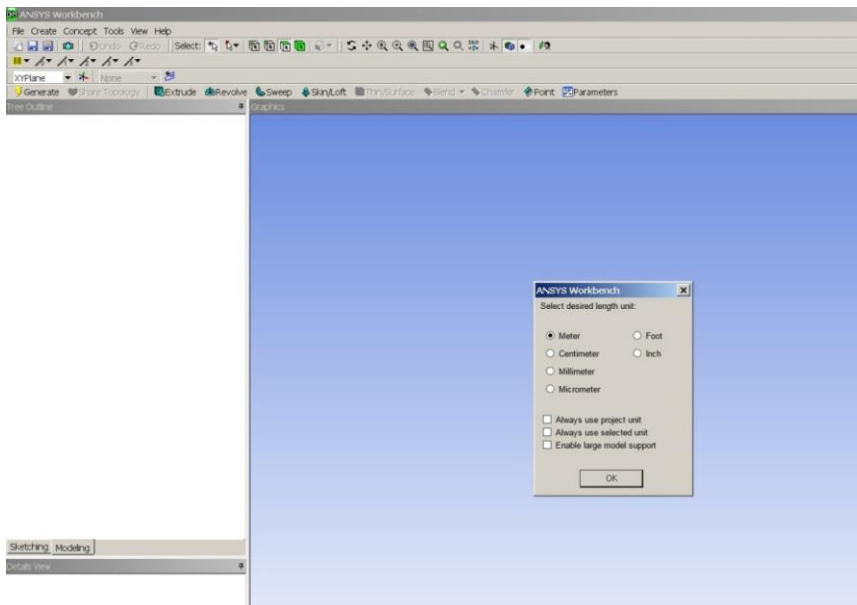


Figura 7.3. Unitățile de măsură

În partea centrală se află foaia de desen, în stânga-sus avem arborele desenului cu cele trei planuri, iar în partea stânga-jos regăsim detalii referitoare la desenul creat.

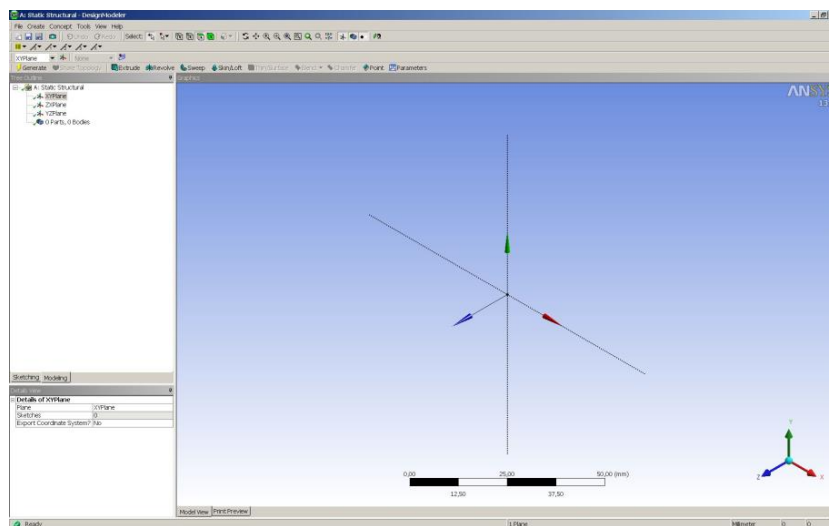


Figura 7.4. Alegerea planului

Se alege un plan în care se realizează schița (ex. *XYPlane*) și se deschide meniul *Sketching tools*.

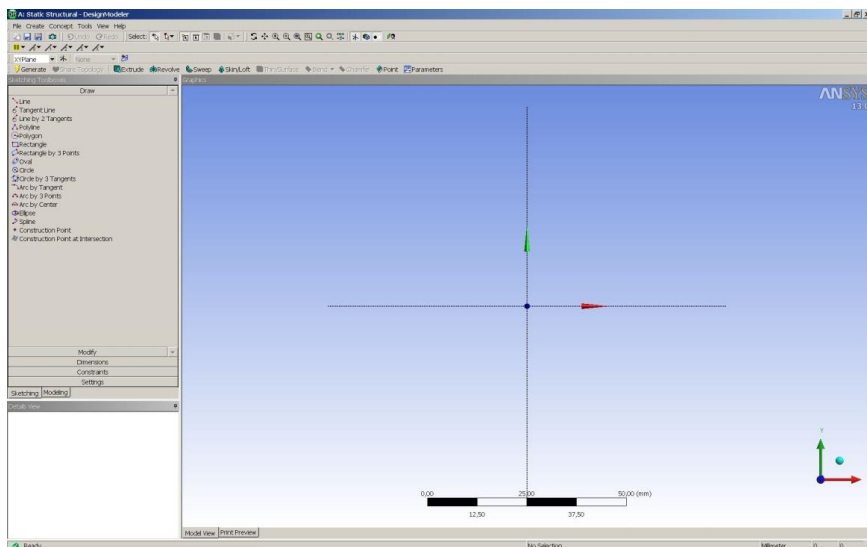


Figura 7.5. Planul XY

Panoul se realizează printr-o opțiune 3D, *Extrude*. Pentru opțiunea respectivă, este nevoie de un profil (triunghi în planul *XYPlane*, fig. 7.6). Dimensiunile schiței sunt trecute în *Details of Sketch*.

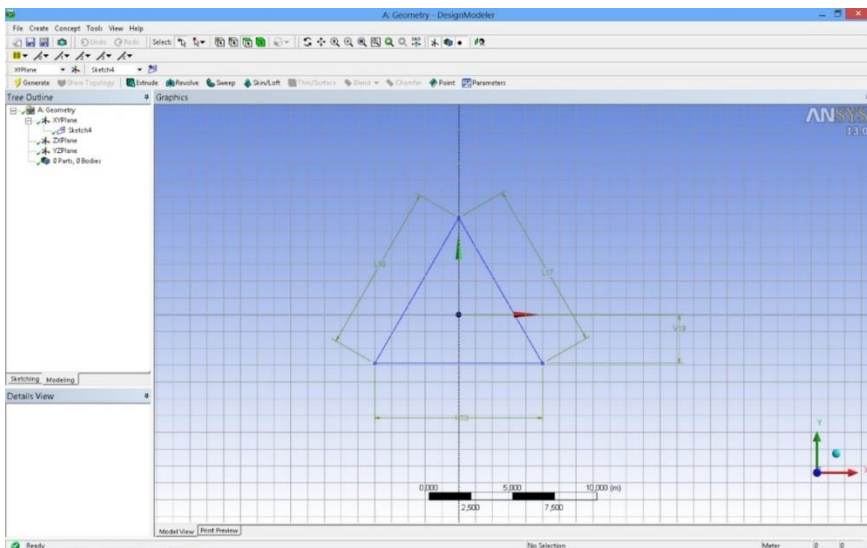


Figura 7.6. Schița panoului

Analiza statică a unui panou publicitar

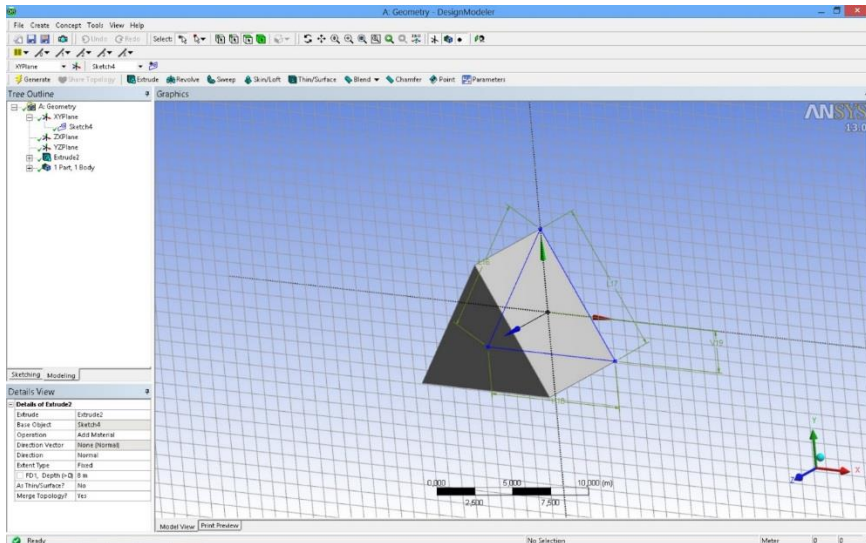


Figura 7.7. Extrudarea schiței

Așa cum s-a menționat mai devreme, crearea geometriei 3D se realizează prin opțiunea *Extrude* (fig. 7.7).

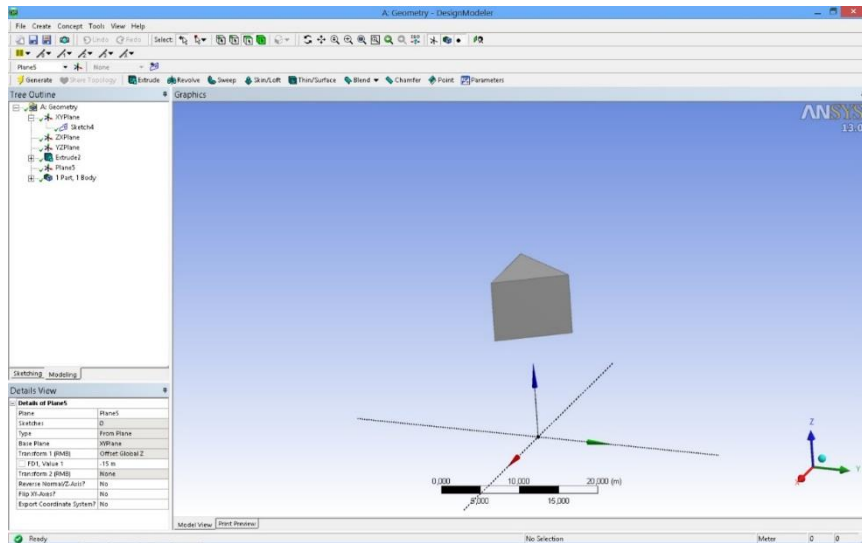


Figura 7.8. Crearea planului Plane 5

Pentru a realiza suportul se creează un plan la o distanță de 15 m (fig. 7.8), unde se desenează un cerc (fig. 7.9). Suportul se creează prin extrudarea cercului (fig. 7.10).

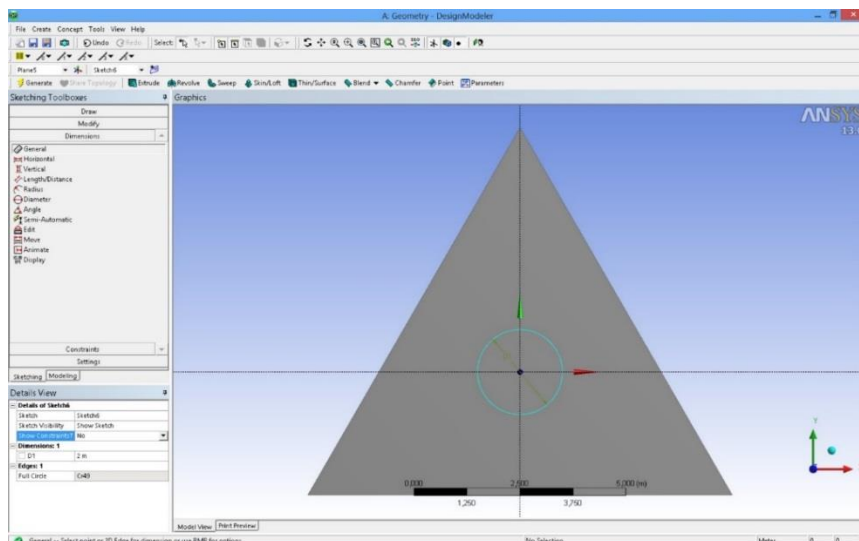


Figura 7.9. Crearea schiței pentru suport

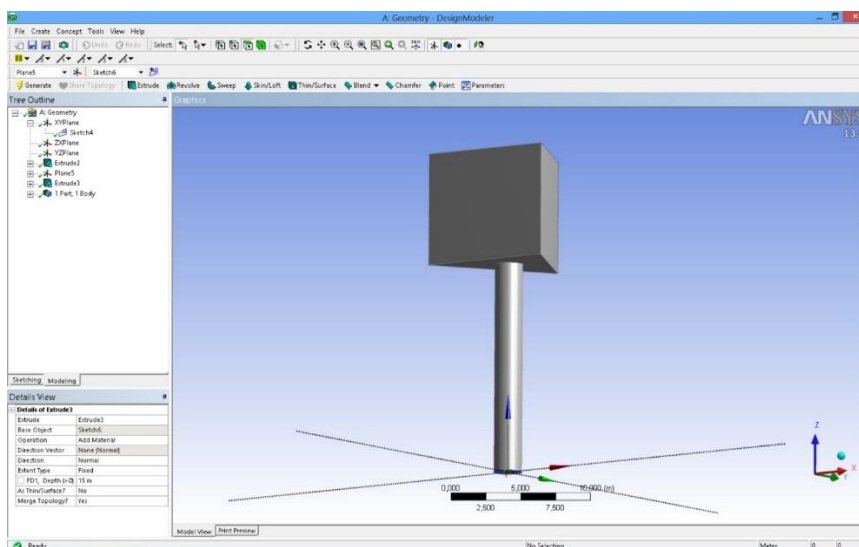


Figura 7.10. Extrudarea suportului

7.4. Modelarea analizei statice

După realizarea desenului, se revine la pagina proiectului și se observă că celula referitoare la geometrie este bifată astfel încât se trece la următorul pas și anume definirea condițiilor la limită și discretizarea domeniului - *Model*.

Pe prima pagină a modulului de simulare se disting trei domenii și anume: în partea centrală se află panoul care face obiectul simulării, în partea stângă sus regăsim arborele procesului de modelare iar în partea stângă jos, detaliile modelării. În arborele proiectului există trei segmente: *Model* (A4)

Analiza statică a unui panou publicitar

care conține partea de geometrie, inclusiv modulul de discretizare; *Static structural* (A5) cu care se definesc condițiile la limită și *Solution* (A6) cu care se realizează postprocesarea rezultatelor (fig. 7.9).

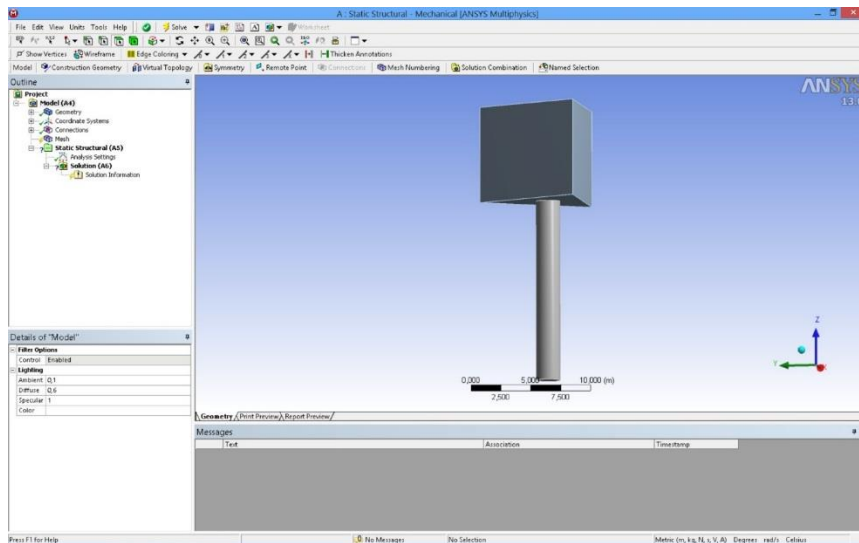


Figura 7.11. Pagina de lucru a programului de modelare

În prima fază se generează grila cu elemente finite prin clic+stânga - *Mesh - Generate Mesh* (fig. 7.10, 7.11).

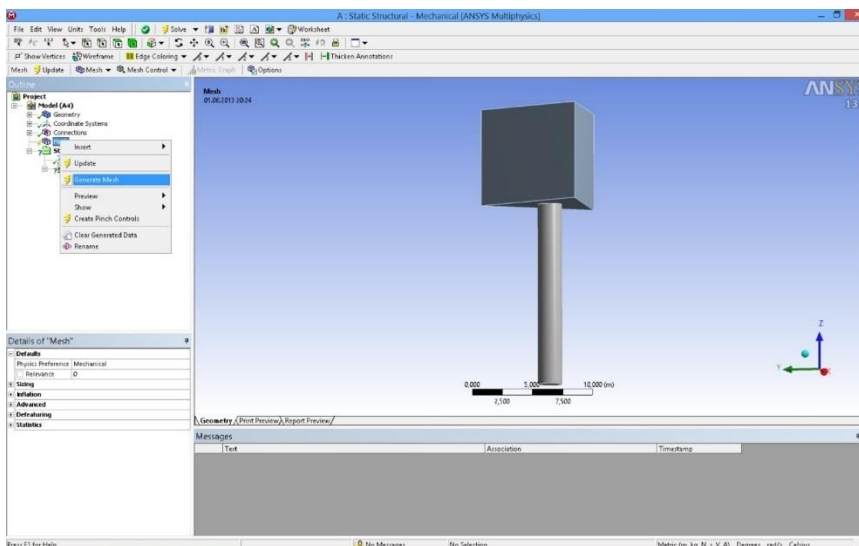


Figura 7.12. Discretizarea domeniului

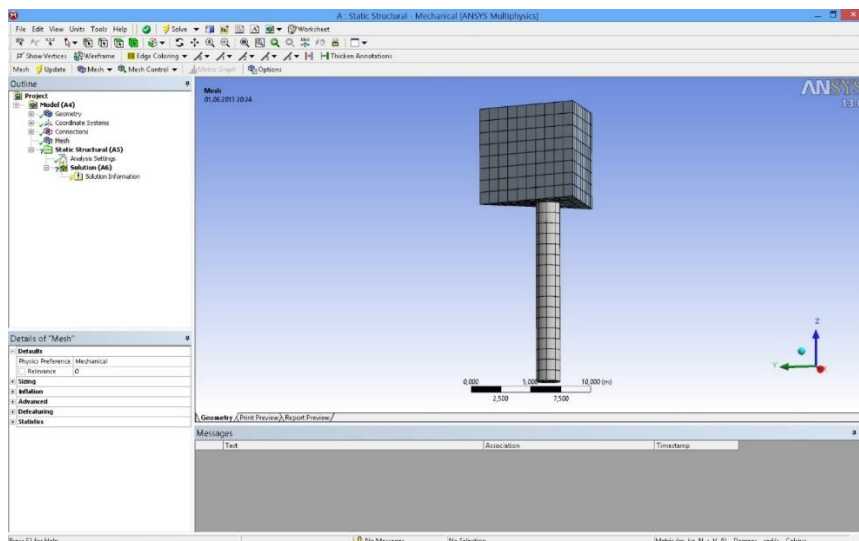


Figura 7.13. Modelul discretizat

Următorul pas se referă la încărcarea modelului și anume: se bifează opțiunea *Static structural* (A5) după care se deschid trei opțiuni pentru condiții la limită la secțiunea *Environment: Inertial, Loads* și *Supports*.

Având în vedere că avem doar două condiții la limită și anume: suport fix respectiv forța inerțială (acceleerația gravitațională), se folosesc opțiunile *Inertial* (pentru acceleerația gravitațională) și *Supports* (pentru suportul fix). Procedura este următoarea:

- Suportul fix (fig. 7.12): se selectează suprafața (clic+stânga), după care urmează definirea suportului fix (clic+dreapta – *Insert* – *Fixed support*). Pentru finalizarea condiției la limită, în *Details* se bifează *Face 1* (la opțiunea *Geometry*) pentru a deschide butonul *Apply* care trebuie bifat și cu care se fixează suportul fix.

Analiza statică a unui panou publicitar

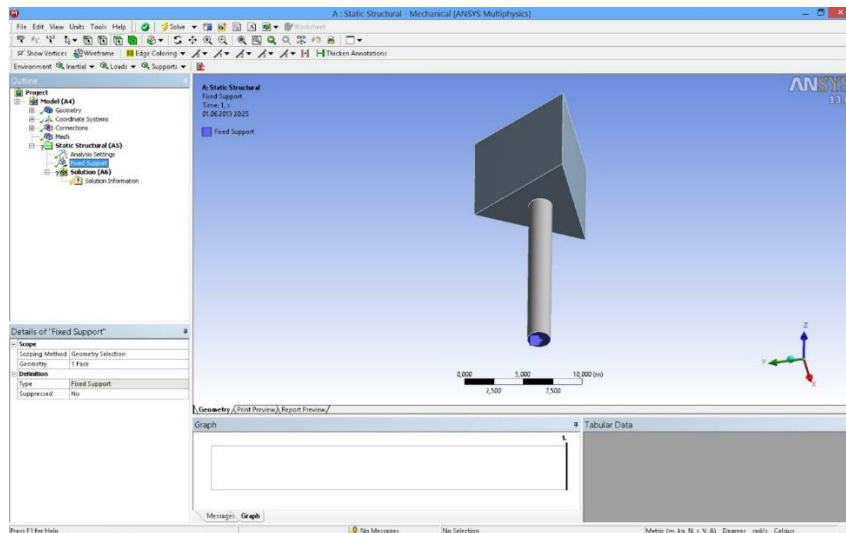


Figura 7.14. Definirea suportului fix

- Accelerația gravitațională (fig. 7.13): se selectează panoul (clic+stânga), după care urmează definirea direcției accelerației gravitaționale (clic+dreapta – *Insert* – *Standard Earth Gravity*). Direcția accelerației gravitaționale este - g.

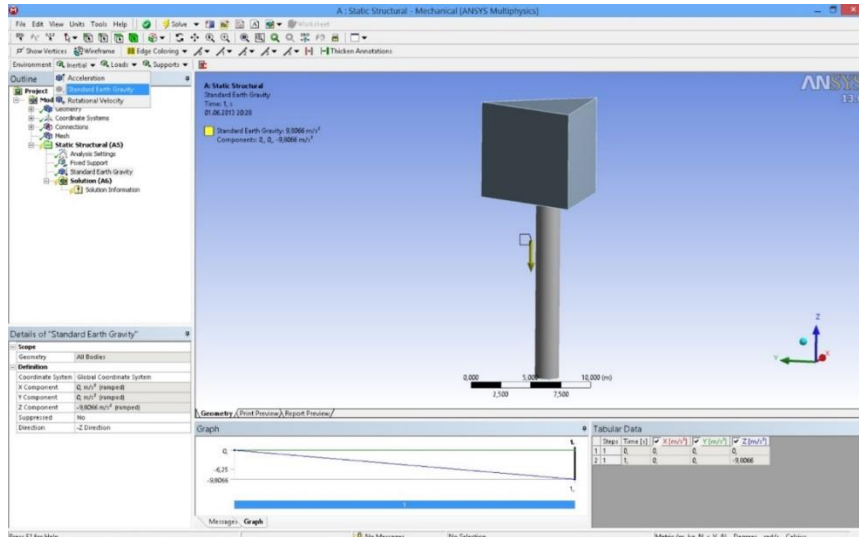


Figura 7.15. Definirea accelerației gravitaționale

Următorul pas îl reprezintă definirea parametrilor pe care dorim ca programul să îi calculeze. Se bifează *Solution* (A6) după care se deschide un alt meniu la opțiunea *Solution* (fig. 7.14): *Deformation*, *Strain*, *Stress*, *Energy*. Având în vedere că s-a propus urmărirea deformațiilor totale și

tensiunea echivalentă după criteriul Von – Mises, se selectează cei doi parametri. Opțional meniul respectiv se deschide și prin *clic+dreapta* – *Solution (A6) – Insert*.

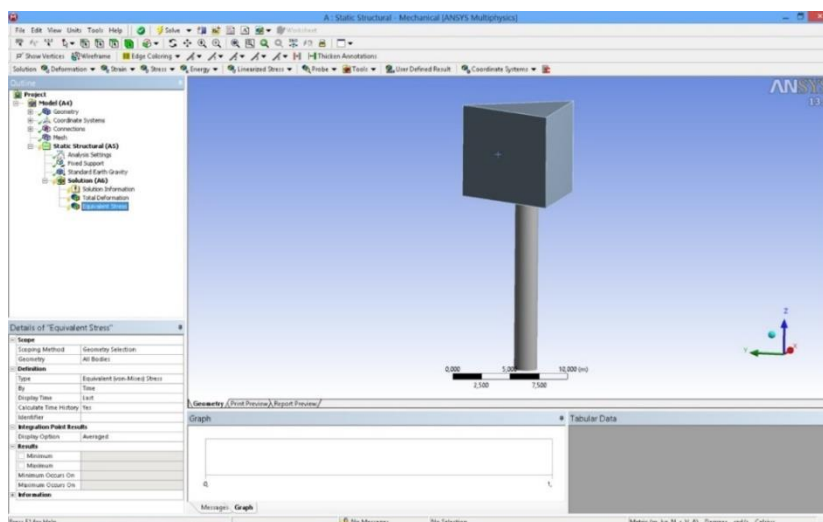


Figura 7.16. Definirea parametrilor de simulare

7.5. Rezultate

În figura 7.15 se prezintă distribuția deformațiilor totale de pe panoul publicitar. Cele mai mari deformații sunt observate în partea superioară a panoului, deformația maximă fiind de $9.8 \cdot 10^{-4}$ m.

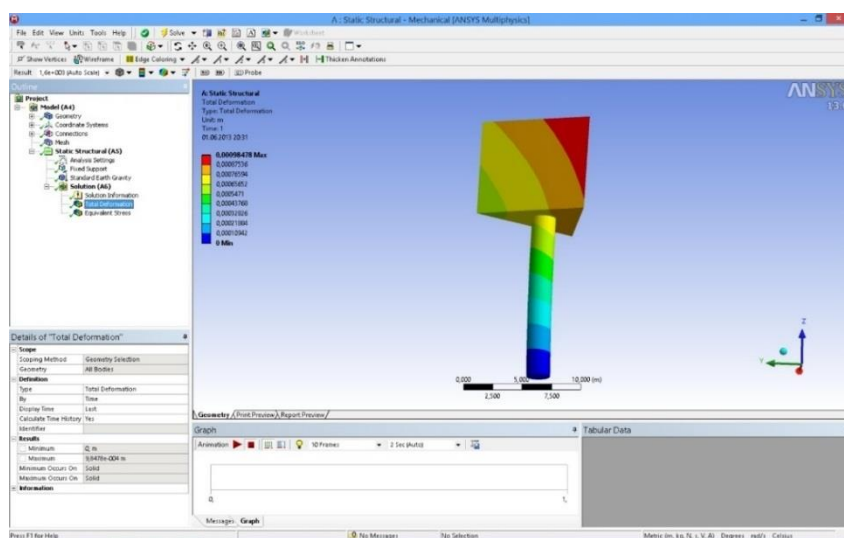


Figura 7.17. Deformațiile totale

Analiza statică a unui panou publicitar

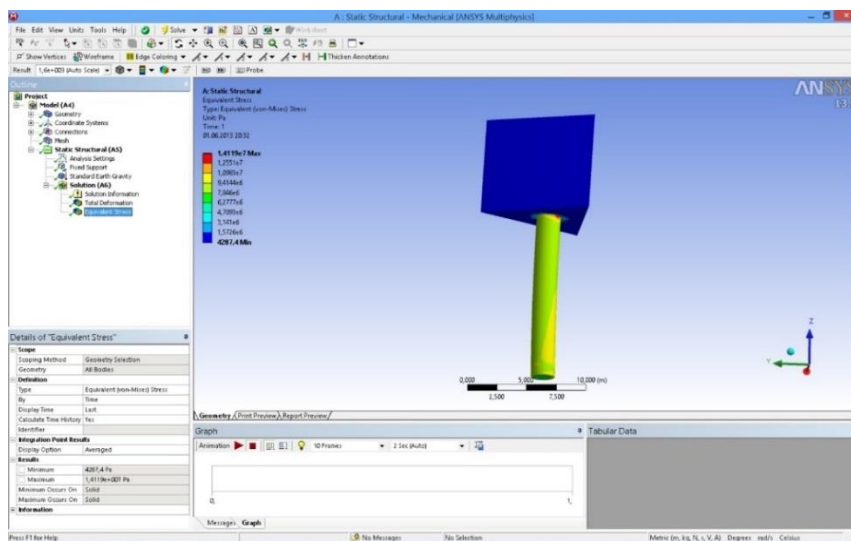


Figura 7.18. Tensiunea echivalentă

În figura 7.16 se prezintă distribuția tensiunilor echivalente. Se observă că tensiunea maximă nu depășește proprietățile materialului. Totodată cele mai mari tensiuni sunt observate în porțiunea de contact panou-suport. Tensiunea maximă este de $1.4 \cdot 10^7$ Pa.

8 ANALIZA STATICĂ A UNUI RECIPIENT SUB PRESIUNE

8.1. Prezentarea temei

În lucrarea de laborator se prezintă o analiză statică a unui recipient sub presiune, ce este compus din corp principal și capac și se află sub presiunea interioară $p = 1000$ Pa. Analiza se va realiza cu programul comercial de modelare cu elemente finite *Ansys*, modulul *Static structural*. De asemenea geometria modelului este concepută în *Design modeler*, modulul integrant al programului.

Aplicația își propune determinarea valorilor maxime ale tensiunii echivalente *Von Mises* și a deformației totale produsă de presiunea interioară din recipient (fig. 8.1). Unitatea de măsură din desen este *cm*. Recipientul analizat este realizat din oțel, cu următoarele caracteristici mecanice: modulul de elasticitate longitudinal $E = 2 \cdot 10^{11}$ N/m²; coeficientul de contracție transversală (*Poisson*) $\nu = 0.3$; densitatea $\rho = 7850$ kg/m³.

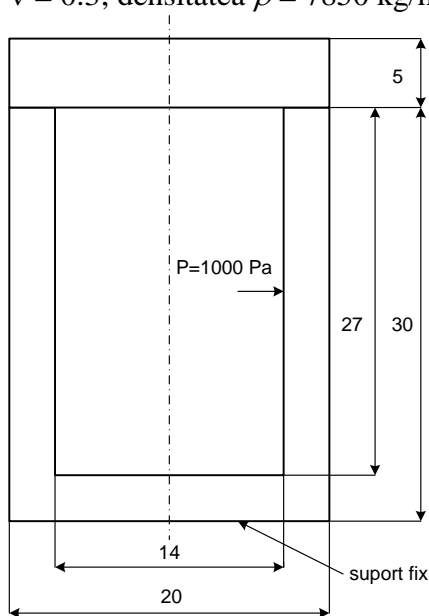


Figura 8.1. Schița recipientului

8.2. Crearea proiectului

Pentru a iniția programul de analiză structurală se face dublu-clic pe modulul *Static structural* (fig. 8.2) după care apare în spațiul destinat proiectului un tabel cu pașii care trebuie parcurși, și anume:

- *Engineering data* se referă la baza de date cu proprietățile materialelor;

- *Design modeler* reprezintă programul de grafică a softului *Ansys*;
- *Model* reprezintă efectiv programul de simulare în care este inclus și modulul de generare a grilei;
- *Set-up* reprezintă etapa referitoare la definirea condițiilor la limită;
- *Solution* reprezintă faza de soluționare;
- *Results* reprezintă programul de postprocesare a rezultatelor.

Trebuie menționat că fiecare fază finalizată cu succes este bifată, iar la următoarea etapă figurează semnul întrebării. Lansarea fiecărui modul se face cu dublu-clic pe celula respectivă. Modificarea materialului se realizează prin clic+stânga pe *Engineering data* după care se deschide baza de date cu proprietățile materialelor.

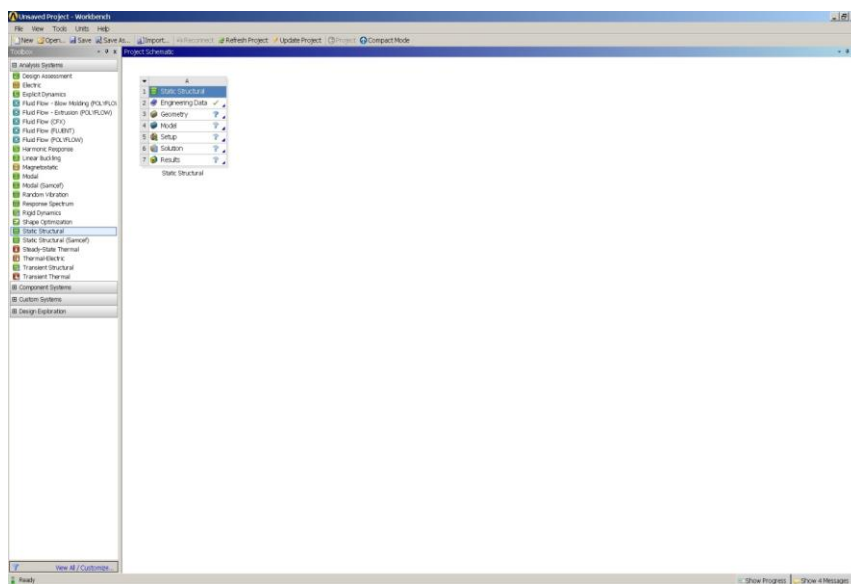


Figura 8.2. Etapele proiectului

8.3. Realizarea desenului

Pentru a realiza desenul grinzii, se deschide *Design modeler* prin dublu-clic pe celula cu același nume. Prima fereastră care apare se referă la alegerea unităților de măsură. Se alege *cm*, după care apare foaia de lucru a programului compusă din trei părți.

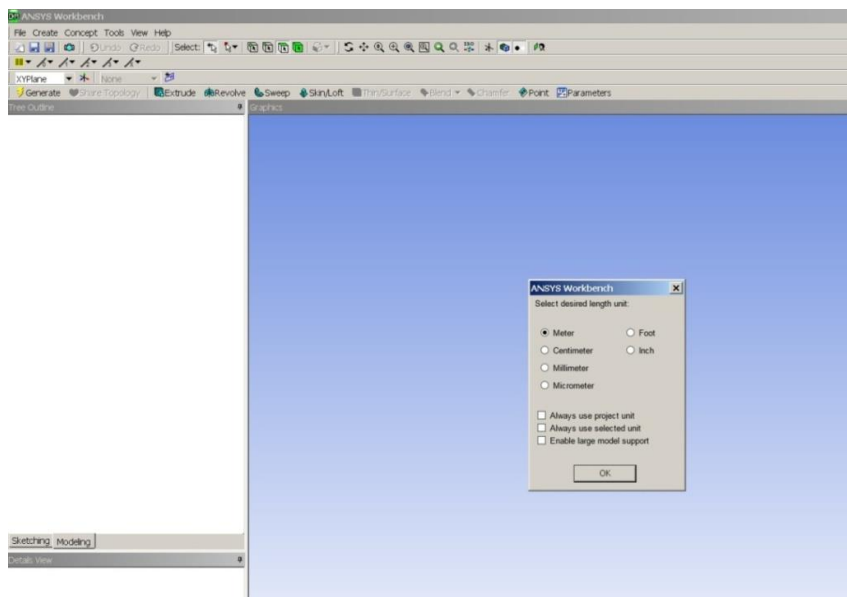


Figura 8.3. Unitățile de măsură

În partea centrală se află foaia de desen, în stânga-sus avem arborele desenului cu cele trei planuri, iar în partea stânga-jos regăsim detalii referitoare la desenul creat.

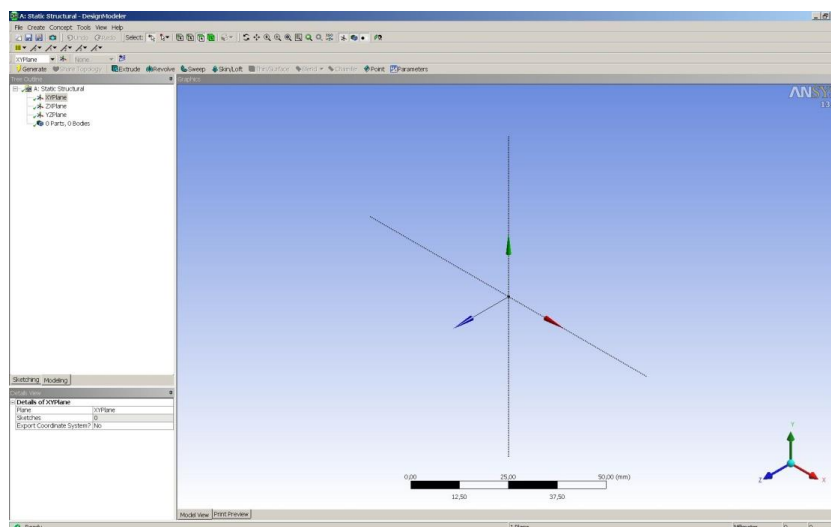


Figura 8.4. Alegerea planului

Se alege un plan în care se realizează schița (ex. *XYPlane*) și se deschide meniul *Sketching tools*.

Analiza statică a unui panou publicitar

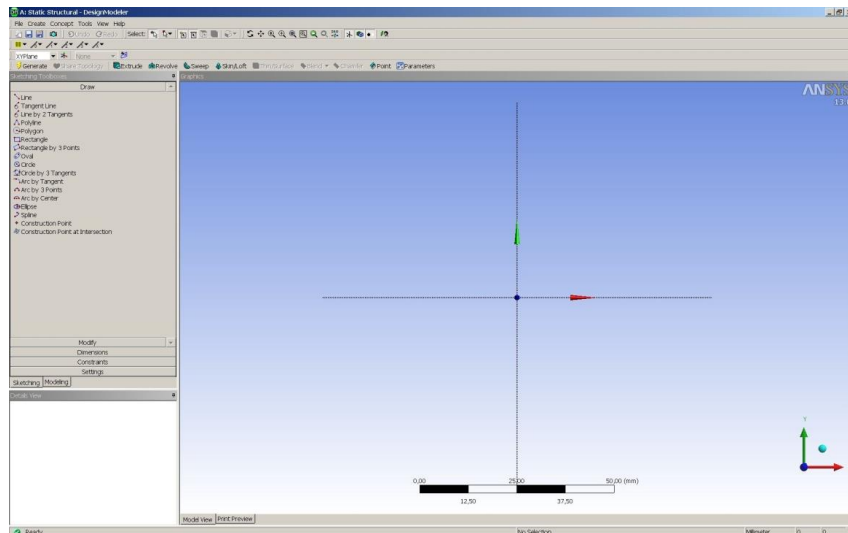


Figura 8.5. Planul XY

Recipientul se realizează printr-o opțiune 3D, *Revolve*. Pentru opțiunea respectivă, este nevoie de schiță (planul *XYPlane*, fig. 8.6). Dimensiunile schiței sunt trecute în *Details of Sketch*.

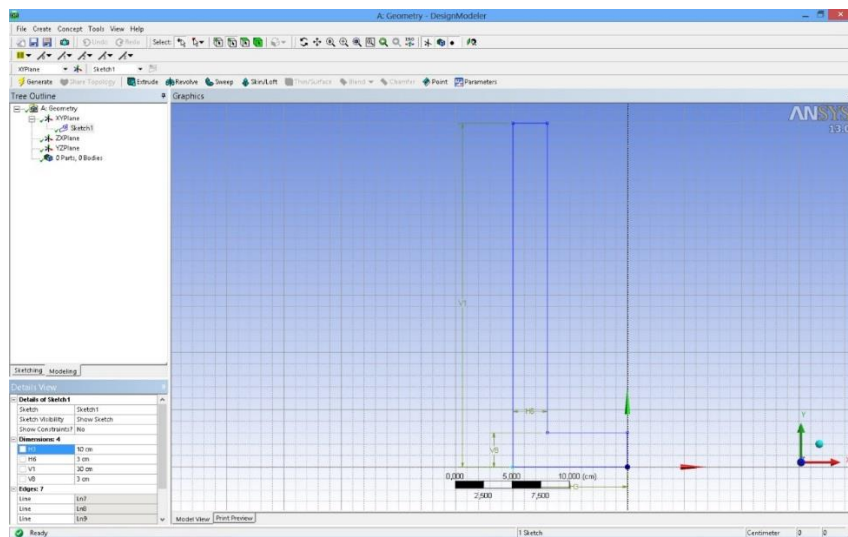


Figura 8.6. Schiță corp recipient

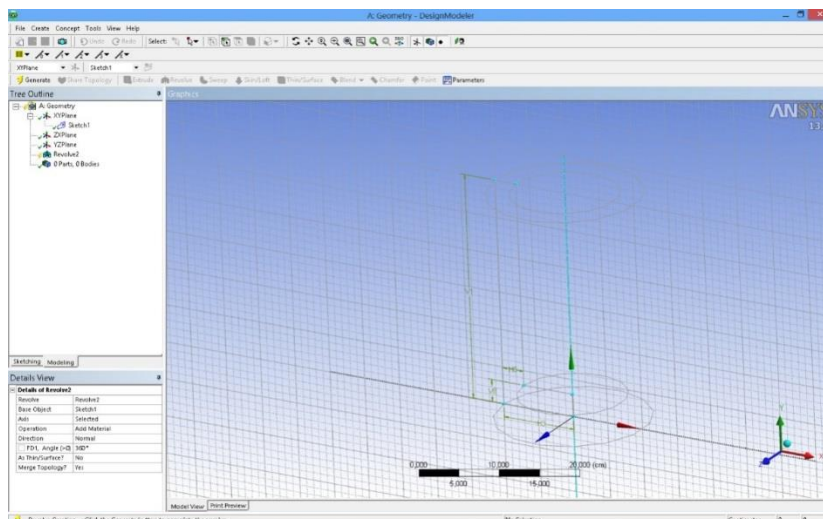


Figura 8.7. Rotirea schiței

Dupa crearea profilului de tip “L”, acesta se rotește cu 360° (fig. 8.7), corpul în forma finală prezentându-se în fig. 8.8.

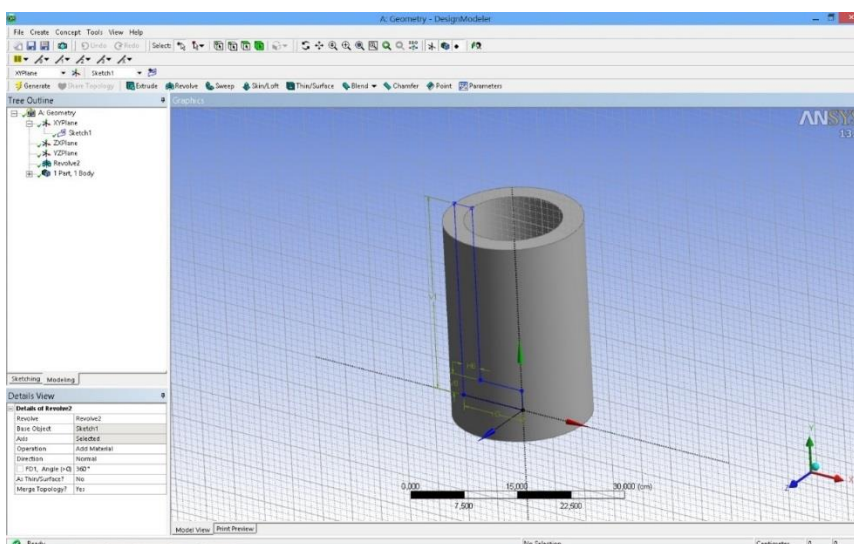


Figura 8.8. Profilul final

Pentru a crea capacul, se selectează secțiunea inelară superioară prin care se realizează un plan nou, *Plane 4*. Pe planul respectiv se creează o schiță a cercului, care reprezintă baza capacului (fig. 8.9). În final, capacul în forma 3D rezultă din extrudarea cercului cu o grosime de $\delta = 5$ cm (fig. 8.10).

Analiza statică a unui panou publicitar

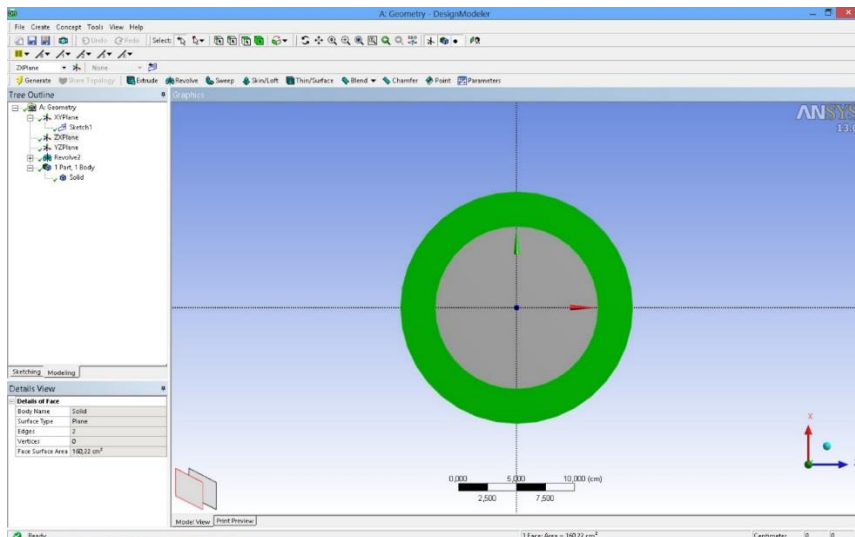


Figura 8.9. Selectarea inelului și crearea profilului

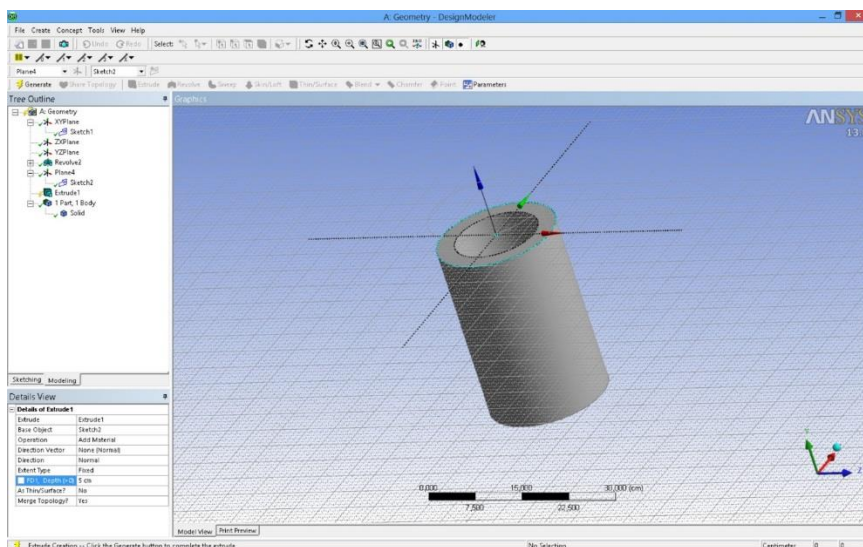


Figura 8.10. Extrudarea profilului

În continuare pentru a simplifica definirea condițiilor la limită, obiectul creat se împarte în două elemente separate: corp și capac. În prima fază se îngheață imaginea prin comanda *Freeze*, după care divizarea obiectului se realizează prin comanda *Slice* definind planul de separare (*Plane 4*).

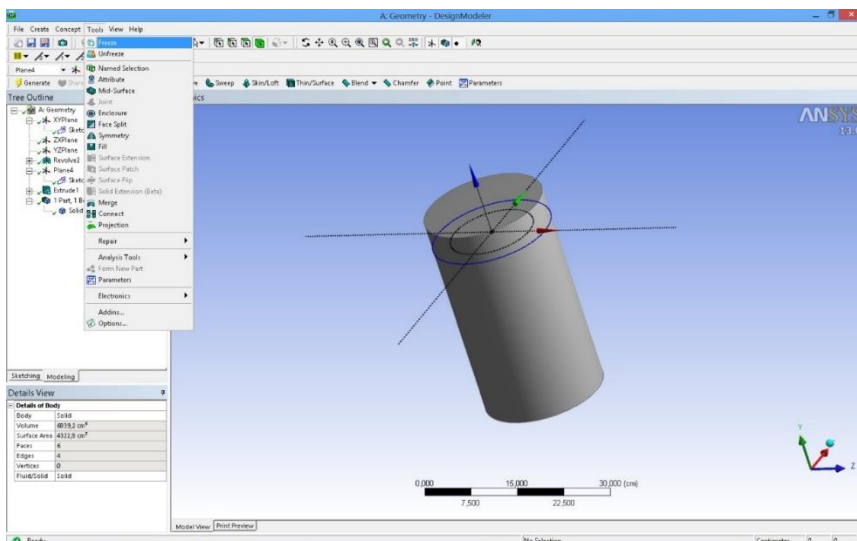


Figura 8.11. Înghețarea profilului

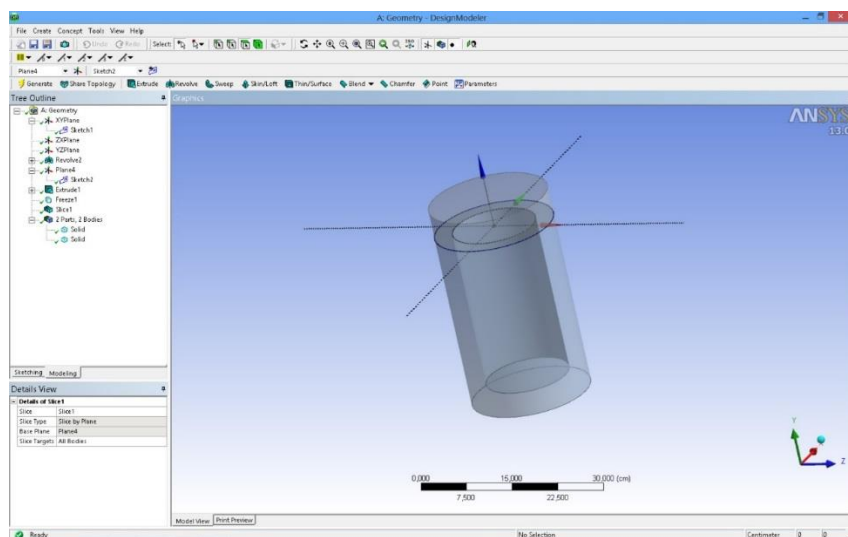


Figura 8.12. Divizarea obiectului

8.4 Modelarea analizei statice

După realizarea desenului, se revine la pagina proiectului și se observă că celula referitoare la geometrie este bifată astfel încât se trece la următorul pas și anume definirea condițiilor la limită și discretizarea domeniului - *Model*.

Pe prima pagină a modulului de simulare se disting trei domenii și anume: în partea centrală se află recipientul care face obiectul simulării, în partea stângă sus regăsim arborele procesului de modelare iar în partea stângă jos, detaliile modelării. În arborele proiectului există trei segmente: *Model*

Analiza statică a unui panou publicitar

(A4) care conține partea de geometrie inclusiv modulul de discretizare; *Static structural* (A5) cu care se definesc condițiile la limită și *Solution* (A6) cu care se realizează postprocesarea rezultatelor (fig. 8.13).

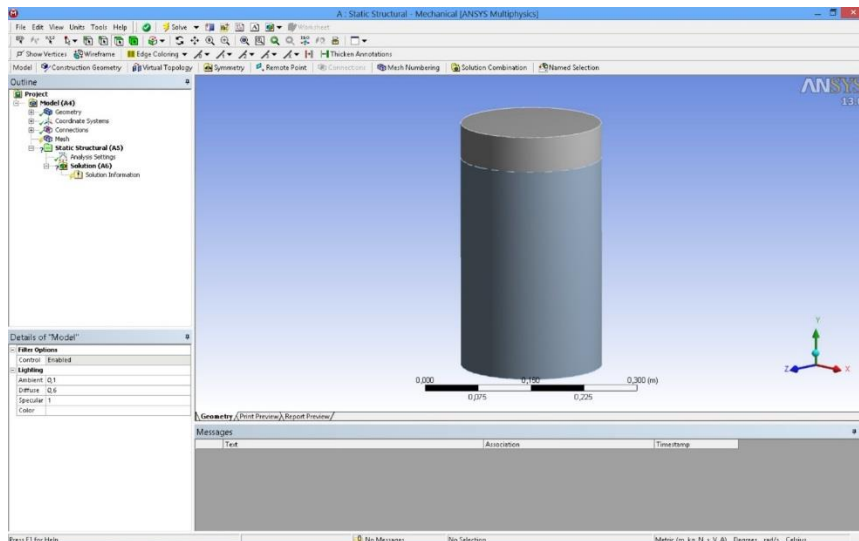


Figura 8.13. Pagina de lucru a programului de modelare

În prima fază se generează grila cu elemente finite prin clic+stânga - *Mesh - Generate Mesh* (fig. 8.14).

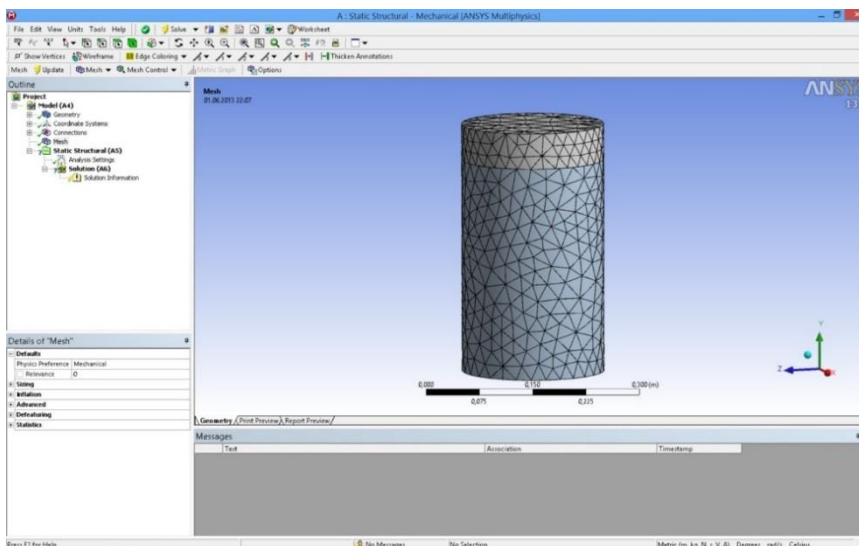


Figura 8.14. Discretizarea domeniului

Următorul pas se referă la încărcarea modelului și anume: se bifează opțiunea *Static structural* (A5) după care se definește suportul fix, respectiv presiunea interioară $p = 1000$ Pa.

Având în vedere că avem doar două condiții la limită și anume: suport fix respectiv presiunea, se folosesc opțiunile *Loads* (pentru presiune) și *Supports* (pentru suportul fix). Procedura este următoarea:

- Suportul fix (fig. 8.11): se selectează suprafața inferioară a corpului (clic+stânga), după care urmează definirea suportului fix (clic+dreapta – *Insert* – *Fixed support*). Pentru finalizarea condiției la limită, în *Details* se bifează *Face 1* (la opțiunea Geometry) pentru a deschide butonul *Apply* care trebuie bifat și cu care se fixează suportul fix.

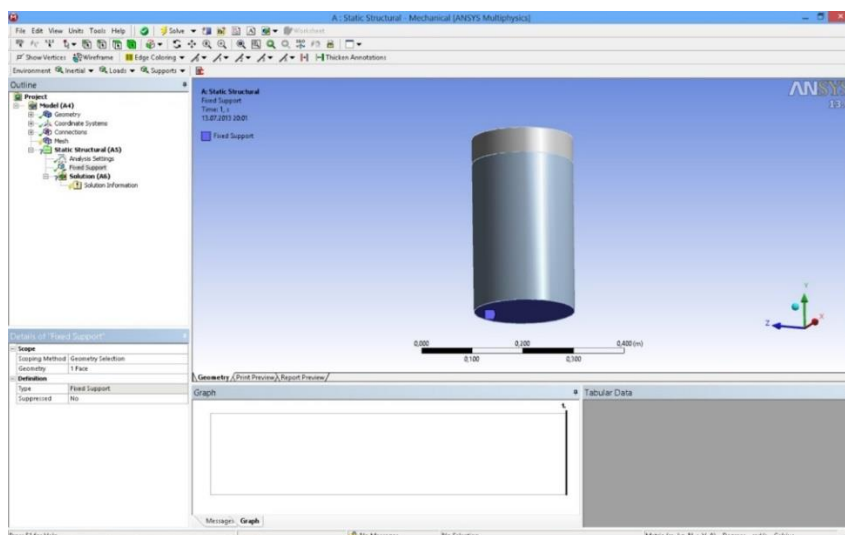


Figura 8.15. Definirea suportului fix

- Presiunea: În prima fază se selectează suprafața interioară a corpului recipientului. Pentru a ajunge la domeniul interior se ascunde capacul prin comanda *Suppress body* (fig. 8.15).

Analiza statică a unui panou publicitar

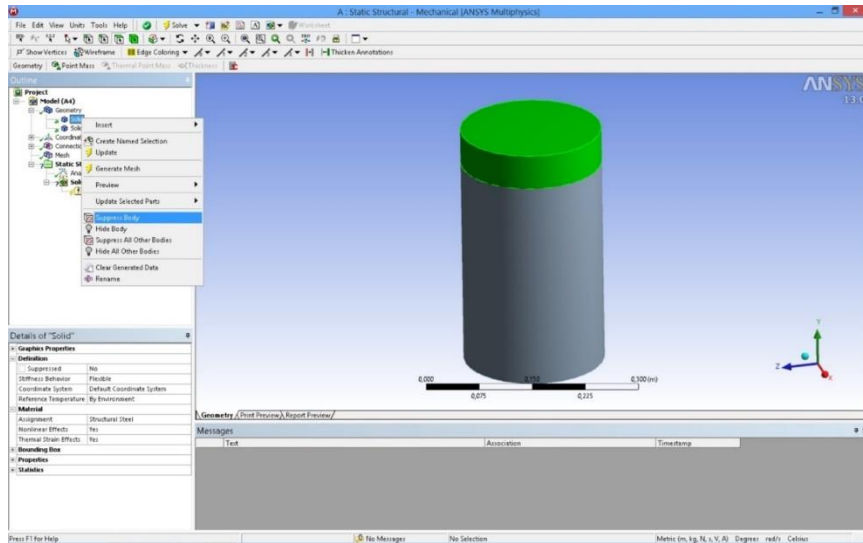


Figura 8.16. Ascunderea capacului

- Se selectează suprafața interioară a recipientului (clic+stânga), după care urmează definirea valorii presiunii (clic+dreapta – *Insert* – *Pressure*) de $p = 1000$ Pa (fig. 8.17).

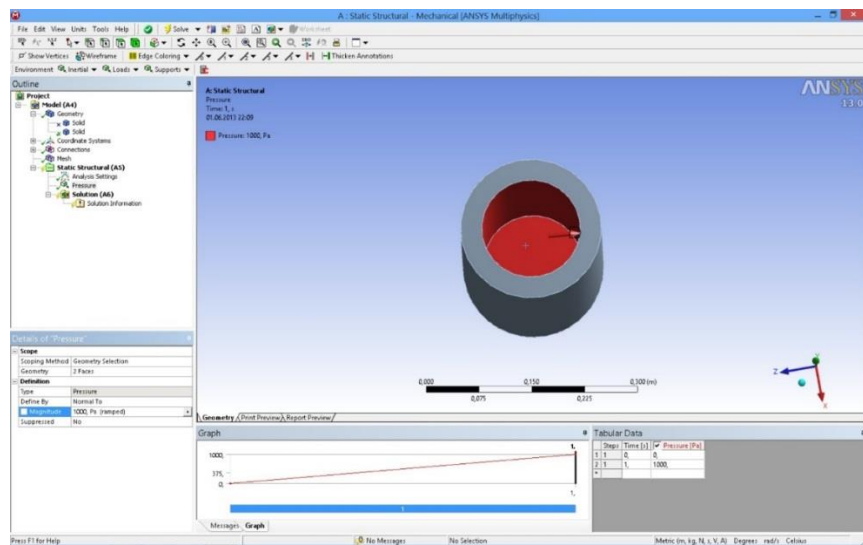


Figura 8.17. Definirea presiunii pe suprafața interioară a corpului

În continuare se definește presiunea pe suprafața capacului prin ascunderea corpului - comanda *Supress body* (fig. 8.18).

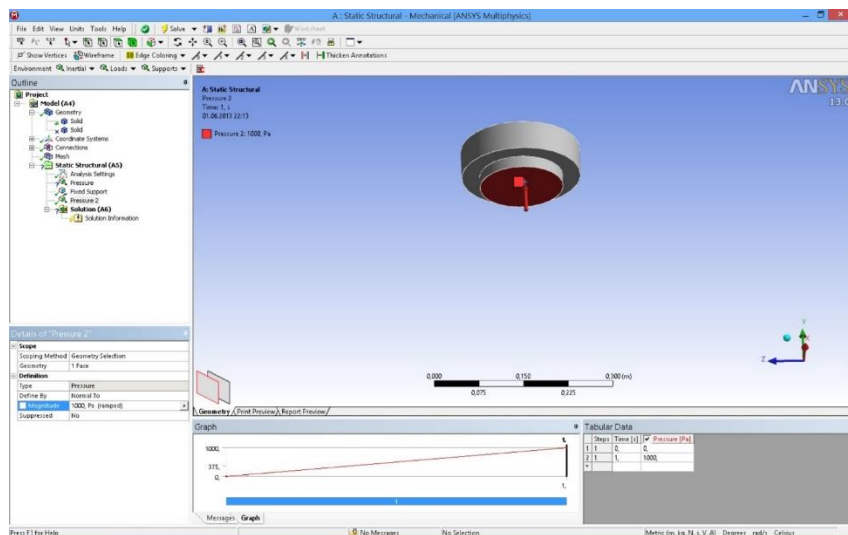


Figura 8.18. Definirea presiunii pe suprafața inferioară a capacului

Următorul pas îl reprezintă definirea parametrilor pe care dorim ca programul să îi calculeze. Se bifează *Solution (A6)* după care se deschide un alt meniu la opțiunea *Solution: Deformation, Strain, Stress, Energy*. Având în vedere că s-a propus urmărirea deformațiilor totale și a tensiunii echivalente după criteriul Von – Mises, se selectează cei doi parametri. Opțional, meniul respectiv se deschide și prin *clic+dreapta – Solution (A6) – Insert*.

8.5. Rezultate

În figura 8.19 se prezintă distribuția deformațiilor totale din peretele și capacul recipientului. Cele mai mari deformații sunt observate în porțiunea din mijloc a corpului, deformația maximă fiind de $2.52 \cdot 10^{-9}$ m.

Analiza statică a unui panou publicitar

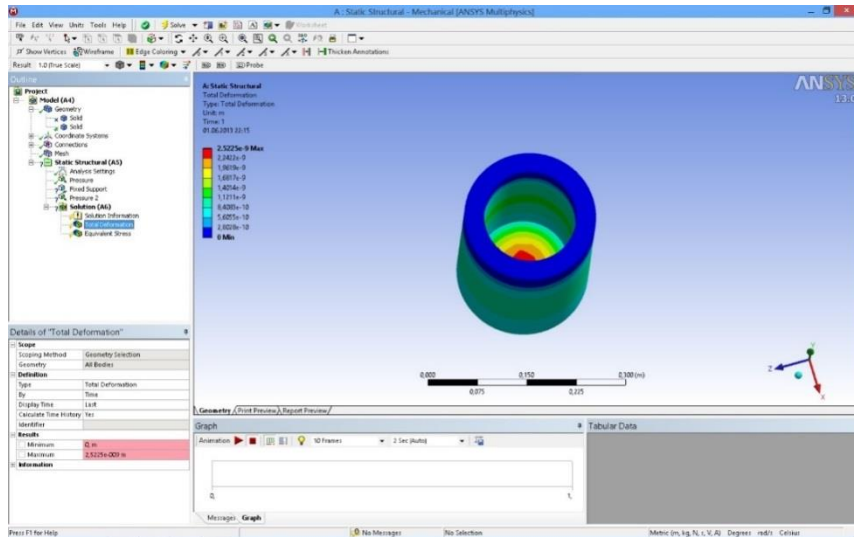


Figura 8.19. Deformațiile totale

În figura 8.20 se prezintă distribuția tensiunilor echivalente. Se observă că tensiunea maximă nu depășește proprietățile materialului.

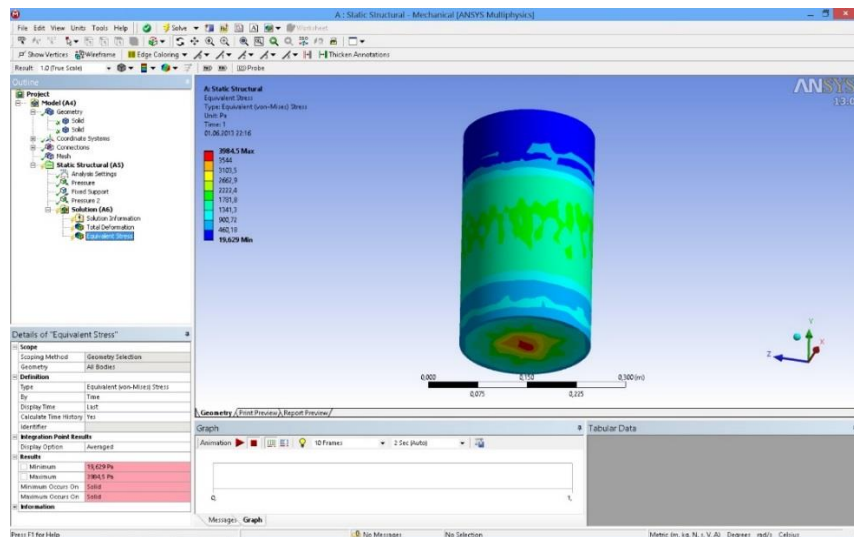


Figura 8.20. Tensiunea echivalentă

Totodată cele mai mari tensiuni sunt observate în aceeași porțiune a corpului. Tensiunea maximă este de 3984 Pa.

9 ANALIZA MIXTĂ TERMICĂ – STATICĂ A UNEI PLĂCI CU O COMPONENTĂ ELECTRONICĂ

9.1. Tema propusă

În lucrarea de laborator se prezintă o analiză combinată termică-statică a unei plăci cu o componentă electronică, care generează căldură de $q_v = 7 \cdot 10^5 \text{ W/m}^3$ (fig. 9.1). Atât placa, cât și componenta electronică sunt realizate din siliciu. Totodată placa este fixată prin cele patru orificii. Analiza se va realiza cu programul comercial de modelare cu elemente finite *Ansys*, cu cele două module: *Static structural* respectiv *Steady state Thermal*. De asemenea geometria modelului este concepută în *Design modeleler*, modulul integrant al programului.

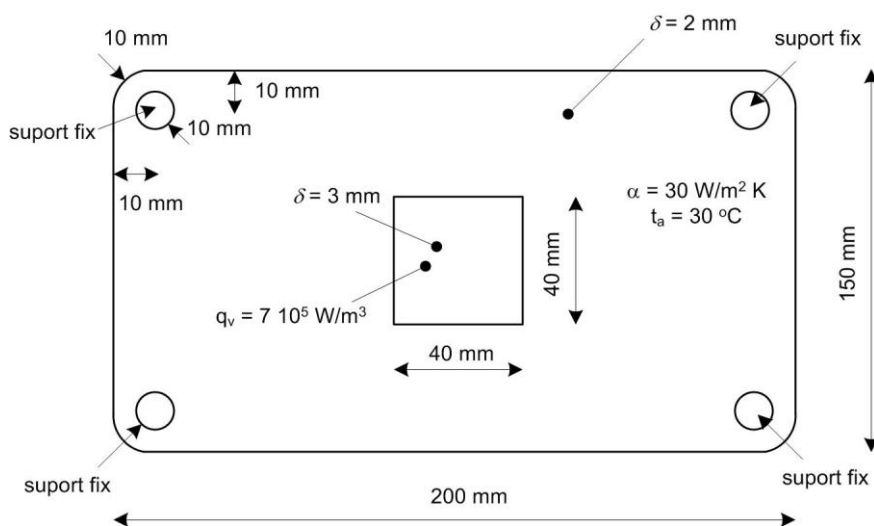


Figura 9.1. Geometria plăcii

Aplicația își propune determinarea valorilor maxime ale tensiunii echivalente *Von Mises* și, respectiv, a deformației totale, produse de câmpul termic. Componentele sunt realizate din siliciu, cu următoarele caracteristici mecanice: modulul de elasticitate longitudinal (Modulul lui Young) $E = 1.62 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$; coeficientul de contracție transversală (*Poisson*) $\nu = 0.22$; densitatea $\rho = 2330 \text{ kg/m}^3$.

9.2 Crearea proiectului

Pentru a iniția programul de analiză mixtă structurală-termică, se face dublu-clic pe modulul *Steady-State Thermal* (fig. 9.2) după care apare în spațiul destinat proiectului un tabel cu pașii care trebuie parcurși, și anume:

- *Engineering data* se referă la baza de date cu proprietățile materialelor;
- *Design modeler* reprezintă programul de grafică a softului *Ansys*;
- *Model* reprezintă efectiv programul de simulare în care este inclus și modulul de generare a grilei;
- *Set-up* se referă la etapa corespunzătoare definirii condițiilor la limită;
- *Solution* reprezintă faza de soluționare;
- *Results* reprezintă programul de postprocesare a rezultatelor.

Pentru a include și partea de analiza statică, după principiul *drag and drop*, se deplasează modulul *Static structural* până în celula *Solution* (A6). Astfel se obține o comunicare între cele două module (fig. 9.2).

Trebuie menționat că fiecare fază finalizată cu succes este bifată, iar la următoarea etapă figurează semnul întrebării. Lansarea fiecărui modul se face cu dublu-clic pe celula respectivă. Modificarea materialului se realizează prin *clic stânga* pe *Engineering data* după care se deschide baza de date cu proprietățile materialelor.

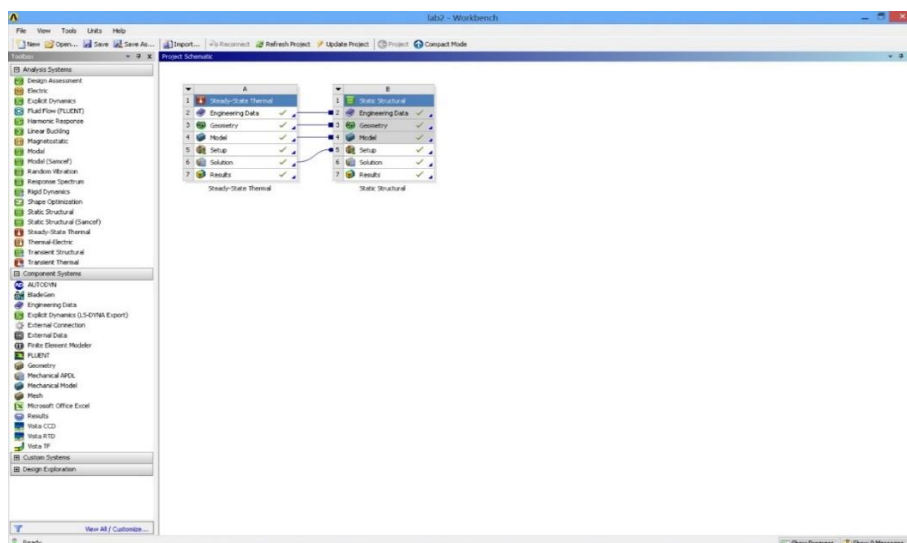


Figura 9.2. Inițierea proiectului

9.3 Realizarea desenului

Pentru a realiza desenul plăcii, se deschide *Design modeler* prin dublu-clic pe celula cu același nume. Prima fereastră care apare se referă la alegerea unităților de măsură. Se alege *mm* ca unitate de măsură, după care apare foaia de lucru a programului compusă din trei părți.

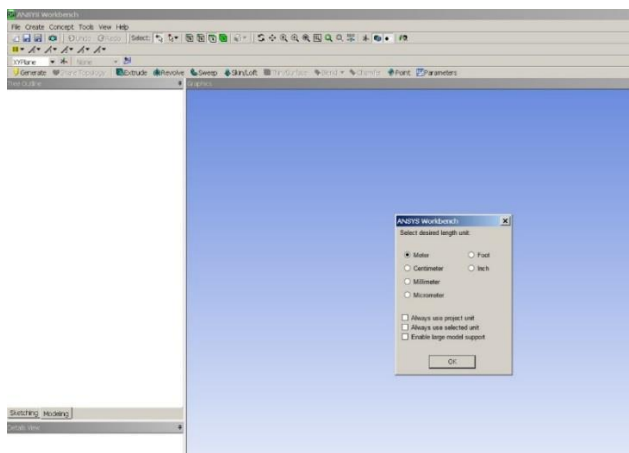


Figura 9.3. Unitățile de măsură

În partea centrală se află foaia de desen, în stânga sus avem arborele desenului cu cele trei planuri, iar în partea stânga jos regăsim detalii referitoare la desenul creat.

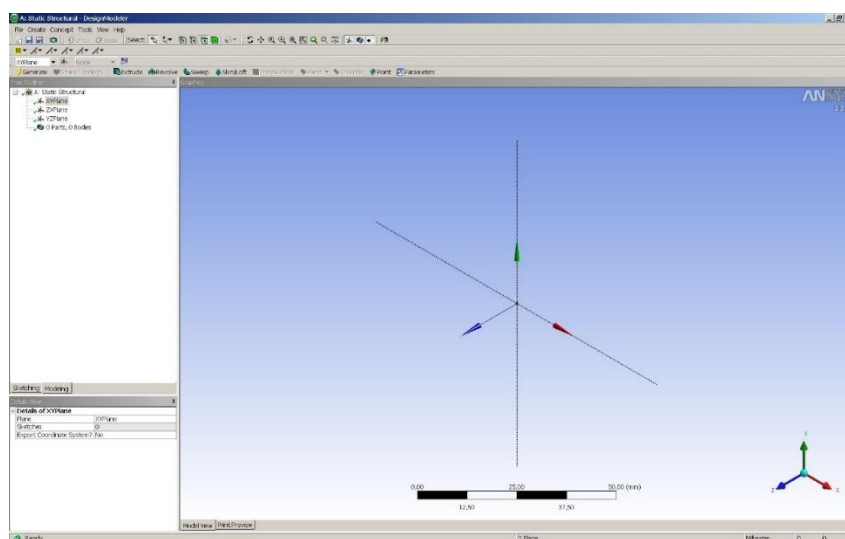


Figura 9.4. Alegerea planului

Se alege un plan în care se realizează schița (ex. *XYplane*) și se deschide meniul *Sketching tools*.

Analiza mixtă termică – statică a unei plăci cu o componentă electronică

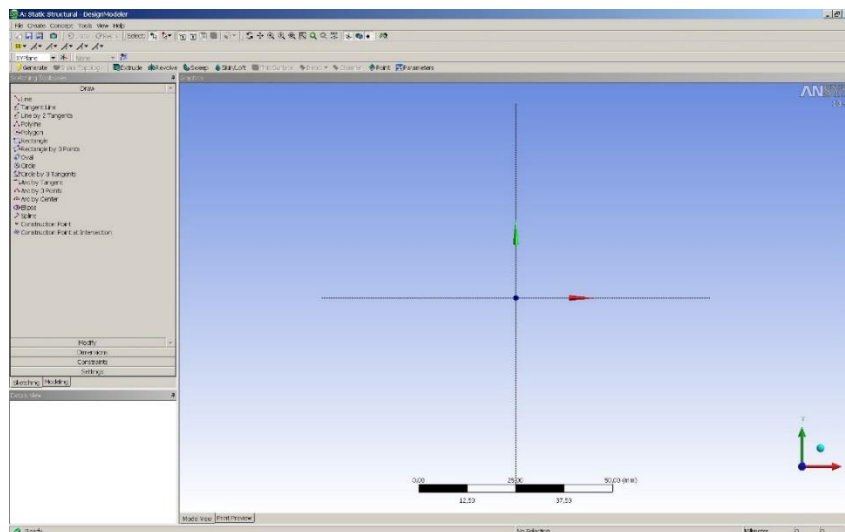


Figura 9.5. Planul XY

Din subdomeniul *Draw* se selectează dreptunghiul și se desenează schița. Mai departe se selectează subdomeniul *Dimensions* și se definesc cotele schiței, după care se introduc valorile pentru V2 și H1 la *Details of Sketch1*. Pentru a facilita realizarea schiței se activează *grila* și *snap* la *Settings – Grid*. De asemenea, la *Details View* sunt trecute toate dimensiunile schiței (fig. 9.6).

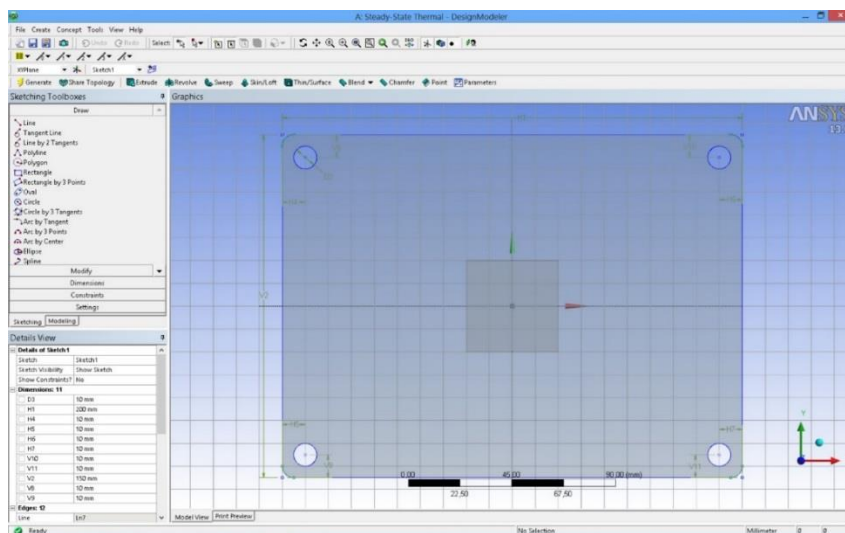


Figura 9.6. Dimensiunile schiței

Crearea geometriei 3D se realizează prin extrudarea schiței – *Extrude*, după care se definește grosimea plăcii la *Details View* – *FD1, Depth* = 2 mm.

La sfârșit se apasă butonul *Generate* cu care se generează obiectul 3D (fig. 9.7).

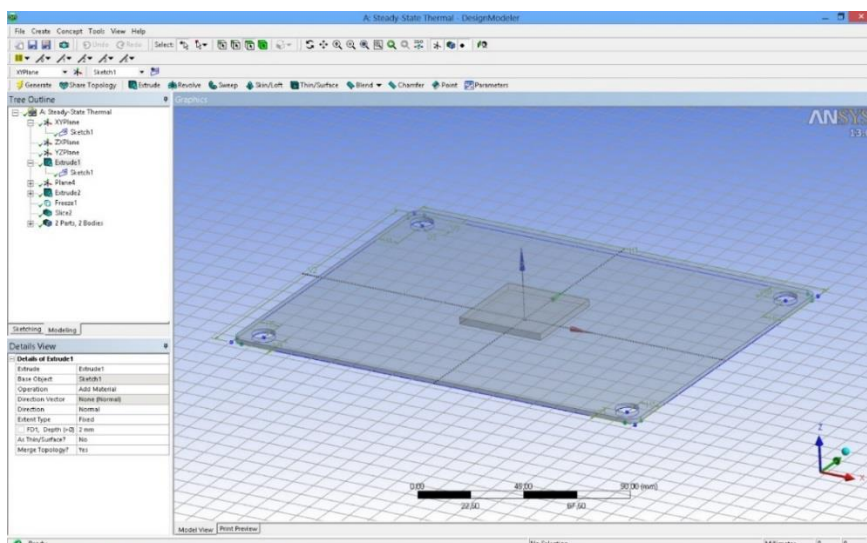


Figura 9.7. Generarea obiectului 3D

Pentru a crea procesorul pe partea superioară a plăcii, se selectează suprafața superioară și se deschide meniul *Sketch*. În mod automat se creează un nou plan *Plane 4* pe care se schițează un pătrat (fig. 9.8).

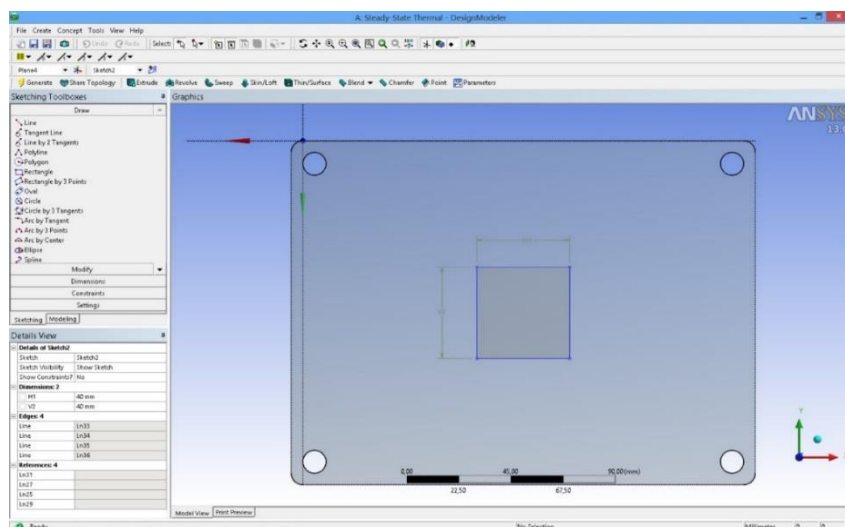


Figura 9.8. Crearea componentei electronice

Pentru a crea componenta electronică în forma 3D, se extrudează schița creată, cu grosimea de 3 mm. Având în vedere că în momentul de față

avem doar un singur obiect, separarea lor se face prin următorul procedeu: se aplică opțiunea *Freeze* (Meniu *Tools*) după care se creează *Slice* (Meniu *Create*). Se selectează planul după care se face separarea obiectului (în cazul de față *Plane 4*) și se generează opțiunea prin *Generate*. În final în *Tree outline* se observă două obiecte (2 parties, 2 bodies) (fig. 9.7).

9.4 Modelarea analizei termice

Dupa realizarea desenului, se revine la pagina proiectului și se observă că celula referitoare la geometrie este bifată astfel încât se trece la următorul pas și anume definirea condițiilor la limită și discretizarea domeniului - *Model*.

Pe prima pagină a modulului de simulare se disting trei domenii și anume: în partea centrală se află obiectul care face obiectul simulării, în partea stângă sus regăsim arborele procesului de modelare iar în partea stângă jos detaliile modelării. Mai mult, în arborele proiectului avem trei segmente: *Model* (A4, B4) care conține partea de geometrie inclusiv modulul de discretizare pentru ambele fenomene (termic și static structural); *Steady-state Thermal* (A5) cu care se definesc condițiile la limită pentru fenomenul de schimb de căldură și *Solution* (A6) cu care se realizează postprocesarea rezultatelor termice. De asemenea și analiza statică este definită prin *Static Structural* (B5) și *Solution* (B6) pentru postprocesarea rezultatelor pentru analiza statică (fig. 9.9).

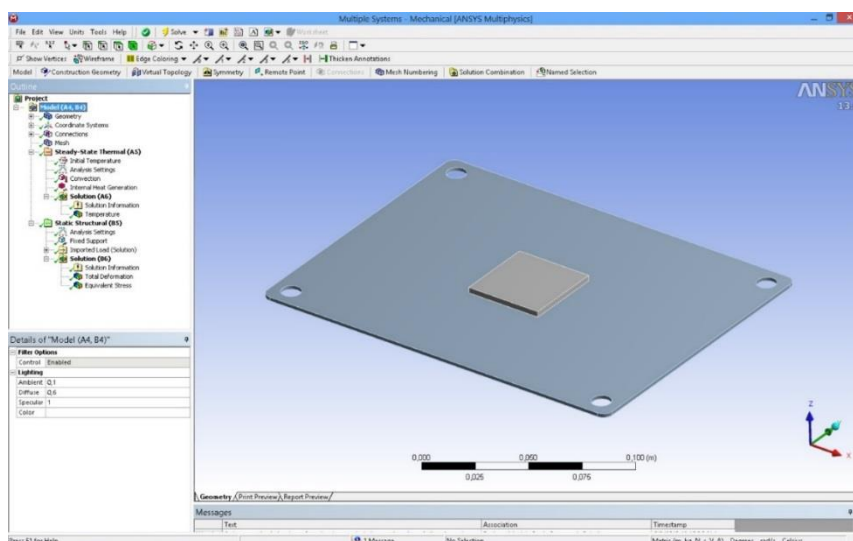


Figura 9.9. Analiza mixtă

În prima fază se generează grila cu elemente finite prin clic stânga mouse – *Generate Mesh* (fig. 9.10).

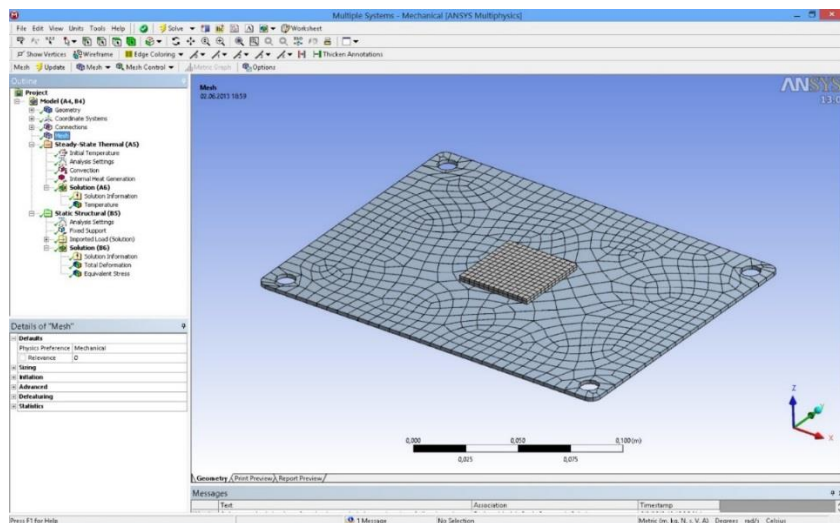


Figura 9.10. Domeniul discretizat

Mai departe, se definesc condițiile la limită termice și anume: coeficientul de convecție $\alpha = 20 \text{ W/m}^2\text{K}$ și temperatura mediului ambiant $t_a = 30 \text{ }^\circ\text{C}$. De asemenea procesorul generează o densitate volumică a fluxului de căldură $q_v = 7 \cdot 10^5 \text{ W/m}^3$ (fig. 9.11). Totodată la *solution* se definește mărimea de ieșire și anume temperatura obiectului.

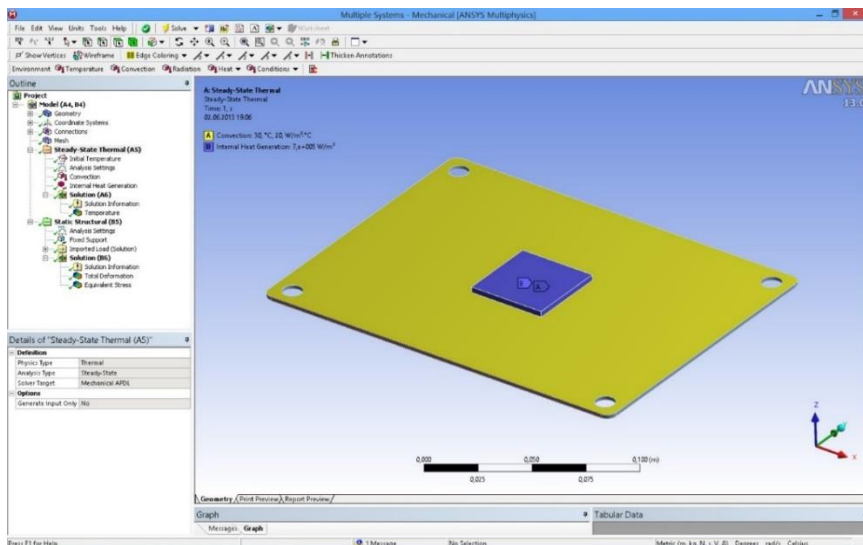


Figura 9.11. Condițiile la limită termice

Următorul pas se referă la încărcarea modelului, și anume: se bifează opțiunea *Static structural* (B5) după care se deschid trei opțiuni pentru condiții la limită la secțiunea *Environment: Inertial, Loads* și *Supports*.

Având în vedere că avem doar suportul fix ca și condiție la limită, se folosește opțiunea *Supports*. Procedura este următoarea:

- Suportul fix: se selectează suprafețele interioare ale orificiilor (clic stânga mouse), după care urmează definirea suportului fix (clic dreapta mouse – *Insert – Fixed support*). Pentru finalizarea condiției la limită, în *Details* se bifează *Face 1* (la opțiunea Geometry) pentru a deschide butonul *Apply* care trebuie bifat și cu care se fixează suportul fix (fig. 9.12).

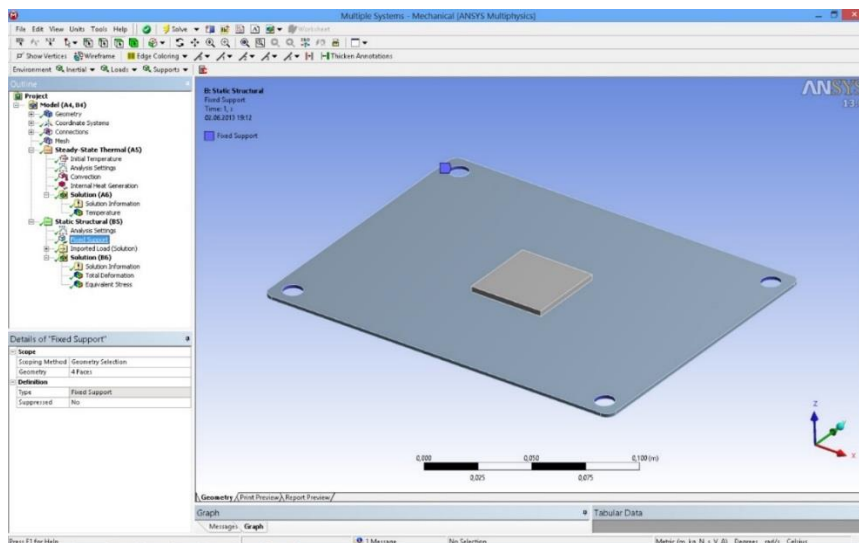


Figura 9.12. Suporturile fixe

Următorul pas îl reprezintă definirea parametrilor pe care dorim ca programul să îi calculeze. Se bifează *Solution (B6)* după care se deschide un alt meniu la opțiunea menționată anterior: *Deformation, Strain, Stress, Energy*. Având în vedere că s-a propus urmărirea deformațiilor totale și a tensiunii echivalente după criteriul Von – Mises, se selectează cei doi parametri. Opțional, meniul respectiv se deschide și prin *clic dreapta – Solution (A6) – Insert*.

După discretizarea domeniului și definirea condițiilor la limită, se trece la soluționarea modelului prin comanda *Solve*.

9.5 Rezultate

În figura 9.13 se prezintă distribuția deformațiilor totale din interiorul plăcii și a procesorului. Așa cum era de așteptat cele mai mari deformări sunt în interiorul componentei electronice și pe marginea plăcii.

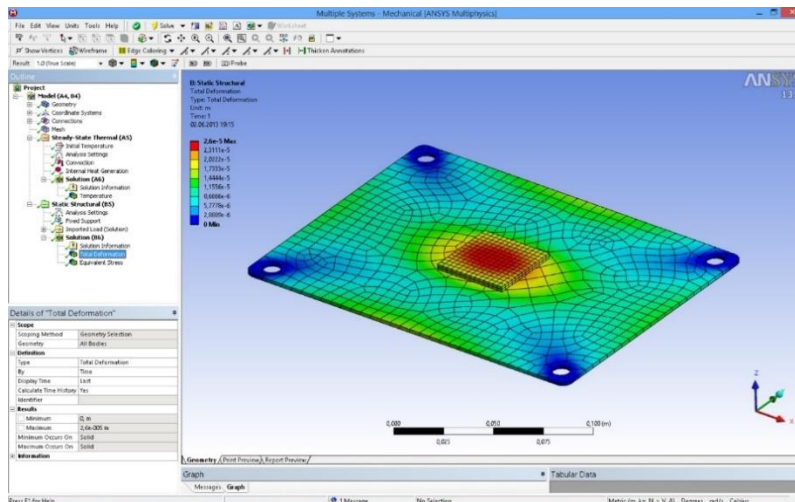


Figura 9.13. Deformațiile totale

Deformarea maximă este de 0.026 mm. Trebuie menționat că temperatura maximă este de 38,6 °C. În figura 9.14 se prezintă distribuția tensiunilor echivalente.

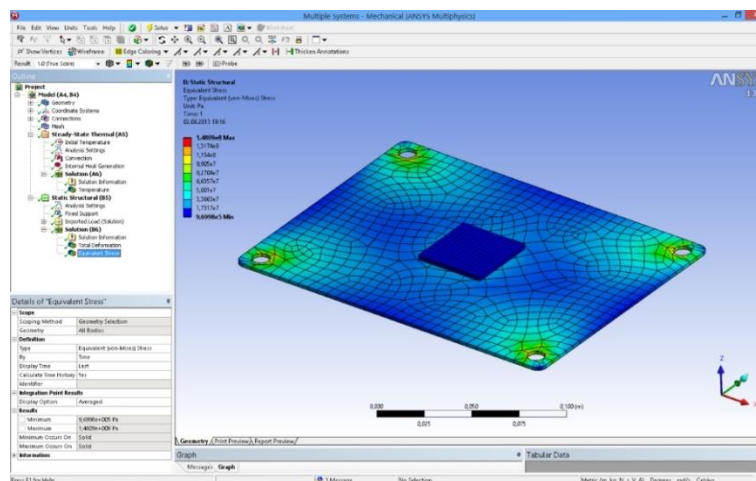


Figura 9.14. Tensiunea echivalentă

Se observă că tensiunea maximă, de această dată este în zona orificiilor prin care placa se fixează de carcasă. Tensiunea maximă este de $1.48 \cdot 10^8$ Pa.

BIBLIOGRAFIE

1. Ansys 14.0, Documentația tehnică, Ansys Inc. 2011.