

ANALIZA LINIAR ELASTICĂ A UNEI STRUCTURI HOBANATE

Aplicație rezolvată utilizând programul de
calcul LUSAS

Autor: prof. dr. Ing. Iordan PETRESCU



Aplicația 5

Pod pietonal cu hobane Analiză statică liniară

Obiectivele analizei:

1. Modelarea comportării sub acțiuni exterioare a unei structuri de rezistență complexă prin utilizarea elementelor finite 1D și 2D
2. Generarea unui model de calcul 3D prin combinarea unor elemente finite care pot modela solicitarea de încovoiere și axială (Bar, Beam, Shell)
3. Interpretarea rezultatelor analizei pe grupuri specifice de elemente finite
4. Combinarea ipotezelor de încărcare provenite din acțiuni diferite: forțe exterioare, cedări de reazeme și variații de temperatură

Enunț:

Podul pietonal cu hobane are alcătuirea și dimensiunile prezentate în Figura 1.

Geometria Structurii

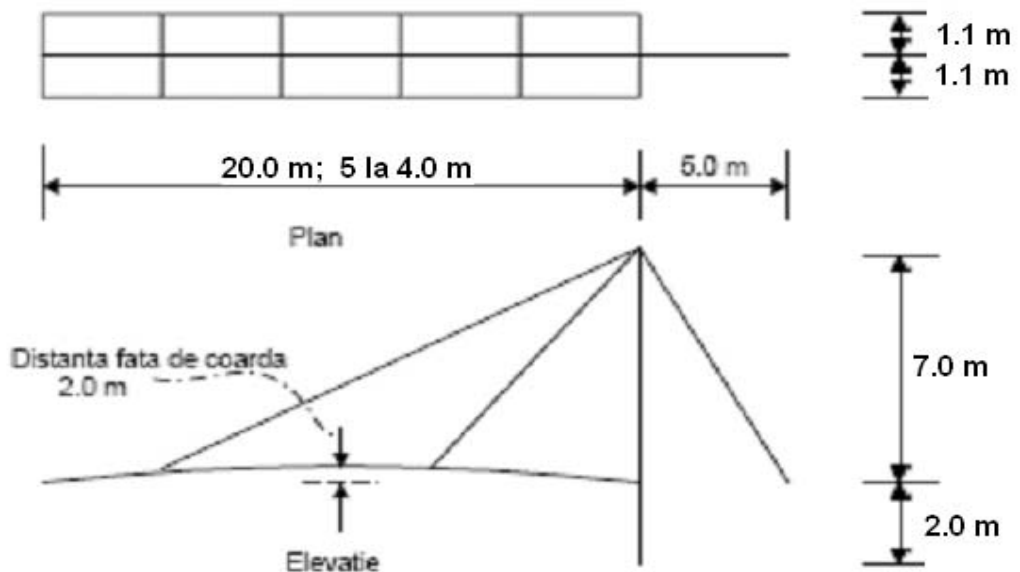


Figura 1.

Tablierul podului este alcătuit dintr-o placă din beton armat care prezintă în elevație o formă curbă de tip arc de cerc. Grosimea plăcii este de 15 cm. Placa tablierului este rigidizată cu profile laminate tip I26.

Aceste grinzi de rigidizare sunt plasate astfel:

- a) în direcție longitudinală - la marginile tablierului și în axul acestuia;
- b) în direcție transversală – la marginile tablierului și în secțiunile de prindere ale hobanelor de tablier – vezi Figura 2.

Pilonul podului are secțiune tubulară cu diametrul exterior de 75 cm și grosimea peretelui de 3 cm. Pilonul este confecționat din Oțel.

Hobanele podului sunt confecționate din oțel cu secțiune circulară și diametrul de 8 cm.

Pilonul structurii este încastrat la partea inferioară, ancorajul hobanelor este de tip reazem articulată, iar tablierul podului este simplu rezemat pe direcție verticală la capătul din stânga.

Ipotezele de încărcare considerate sunt:

- a) încărcare cu o forță uniform distribuită aplicată normal pe placa tablierului de 5000 N/m^2 ;
- b) încărcare cu o variație de temperatură între fețele plăcii tablierului. Fața superioară a plăcii are temperatura de 50° C iar cea inferioară de 20° C ;
- c) încărcare cu o cedare de reazem pe direcție verticală a încastrării pilonului.

Valoarea cedării de reazem este de 3 cm și este îndreptată în jos.

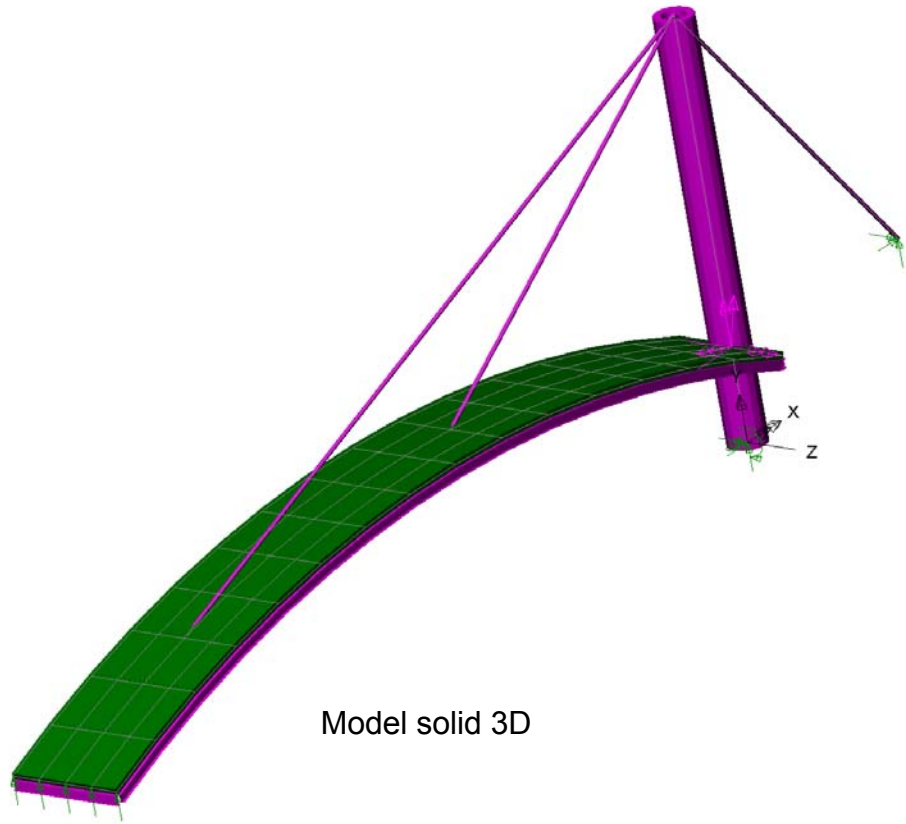
- d) Combinația ipotezei de încărcare cu forțe multiplicată cu coeficientul de supraîncărcare 1.20, cu ipoteza de încărcare cu variații de temperatură multiplicată cu coeficientul 0.80.

Pentru fiecare ipoteză de încărcare se cer următoarele rezultate:

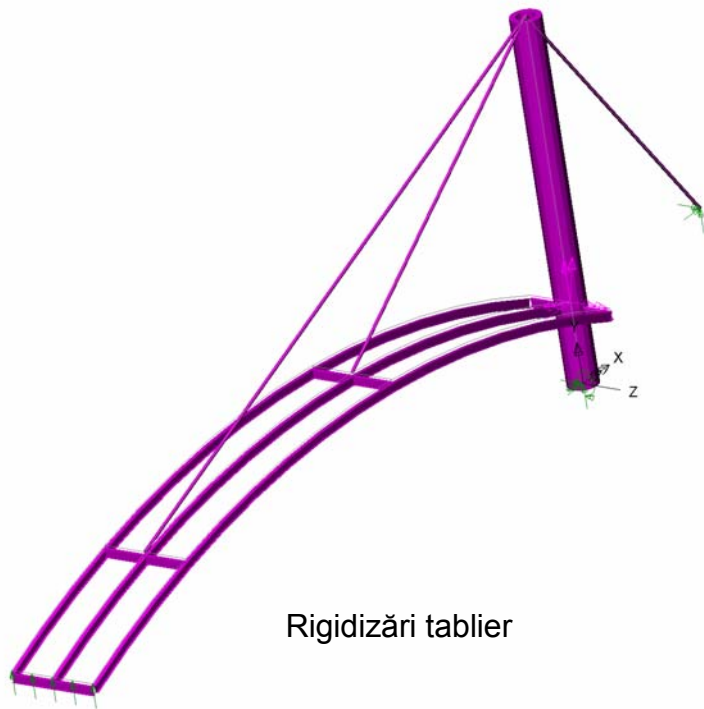
- a) Forma deformată a structurii cu specificarea valorilor maxime ale deplasărilor;
- b) Diagramele de eforturi secționale semnificative pentru elementele componente ale podului hobanat;
- c) Variația în direcție longitudinală a eforturilor secționale semnificative pentru placa tablierului podului.

În Figura 2. se prezintă modelul solid al structurii podului ce urmează a fi analizat.

Notă: Unitățile de măsură utilizate în analiză sunt N, m, kg și grade C.



Model solid 3D



Rigidizări tablă

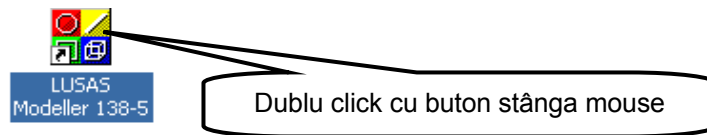
Figura 2.

I. Generarea modelului de calcul

Generarea modelului de calcul se realizează în două etape. În prima etapă se generează cu ajutorul uneltelor specifice programului de preprocesare modelul geometric al structurii. Acesta este un desen 3D al structurii idealizate și cuprinde puncte, linii, suprafețe sau volume.

În cea de a doua etapă, modelul geometric este transformat în model de calcul prin: discretizarea cu elemente finite specifice a fiecărui element structural, atribuirea unor caracteristici fizico-mecanice și definirea condițiilor de rezemare și de încărcare.

În cadrul acestei aplicații pentru generarea modelului de calcul și prelucrarea rezultatelor analizei se va utiliza programul de calcul LUSAS care, pentru etapele de pre și post procesare, apelează la programul Modeller. Activarea acestui program se poate face prin dublu click pe icoana:



Ca urmare a acestei comenzi se deschide interfața de lucru a programului pregătită pentru o nouă sesiune de lucru – Figura 3.

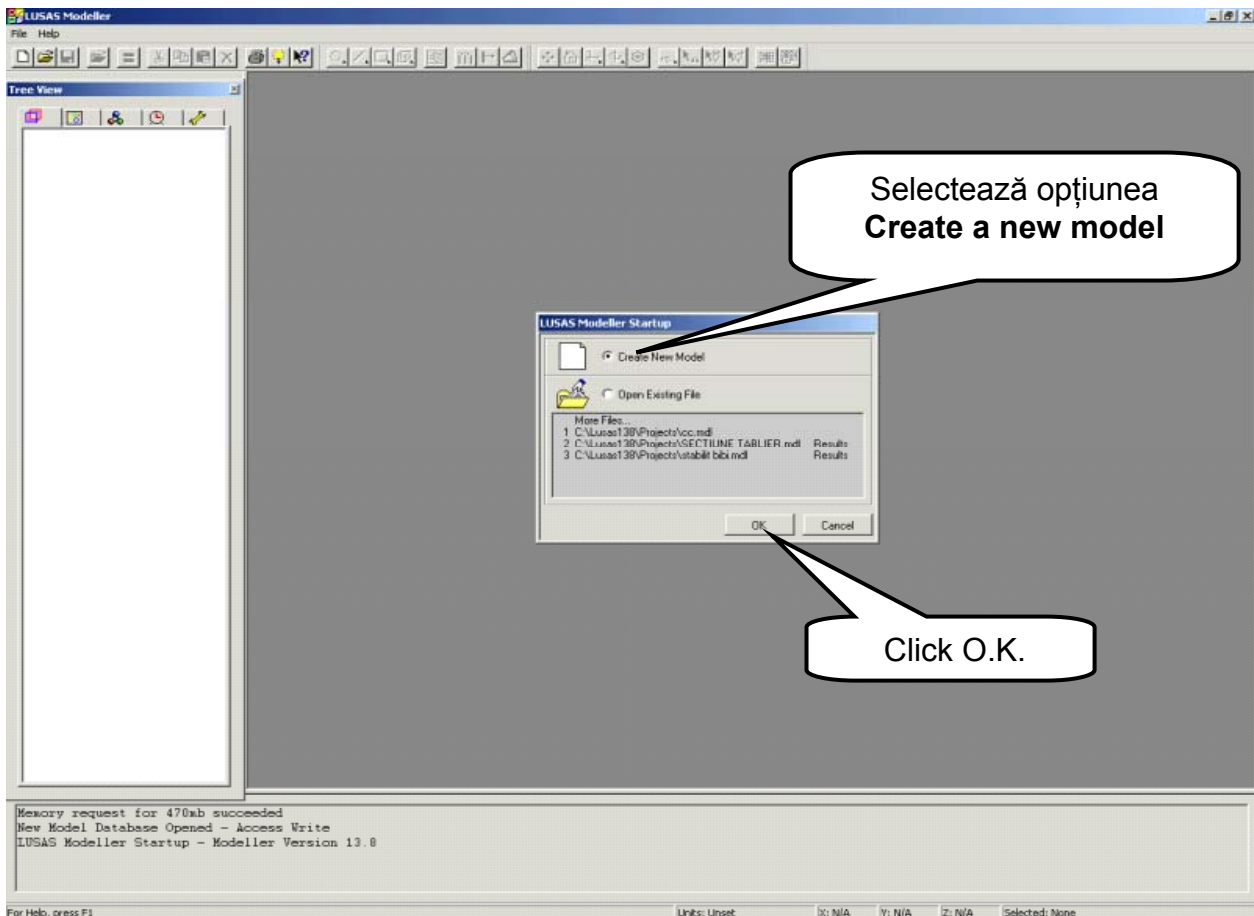


Figura 3.

În fereastra de lucru a interfeței grafice se deschide o casetă de opțiuni care permite generarea unui model nou (**Create new model**) sau deschiderea unui model existent. Se va selecta opțiunea de a genera un model nou, urmată de click pe butonul **O.K.**

În fereastra de lucru se deschide o nouă casetă (Figura 4.) care solicită utilizatorului să furnizeze un nume modelului ce va fi creat, un nume fișierului în care acesta va fi stocat (extensie **.mdl**) și să selecteze unitățile de măsură utilizate.

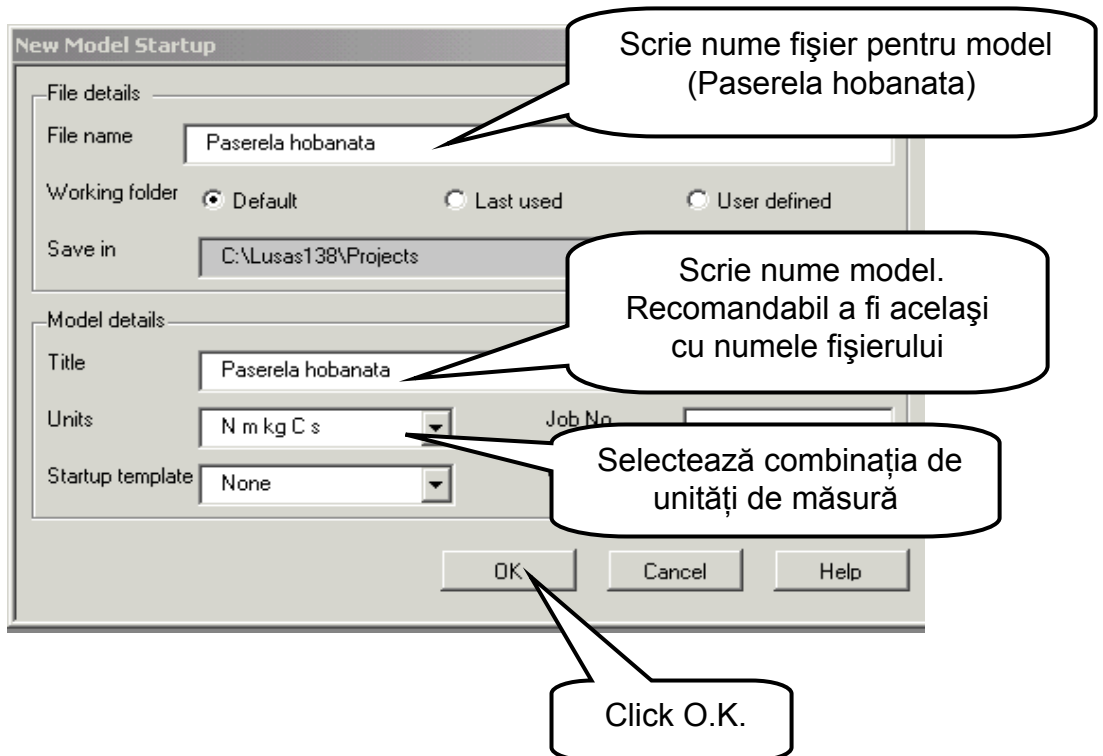


Figura 4.

1.1. Generarea modelului geometric

Definirea modelului geometric al structurii constă în realizarea unui desen 3D al structurii idealizate cu elementele structurale de bază: bare, grinzi și plăci. El va cuprinde puncte nodale, linii pentru bare și grinzi și suprafețe pentru plăci.


Pentru realizarea modelului geometric se apelează la uneltele grafice specifice programului LUSAS care au la bază construirea asociativă a elementelor modelului. Astfel cu ajutorul unui punct nodal se poate genera o linie dreaptă sau curbă, funcție de traiectoria pe care o parcurge punctul, iar cu ajutorul unei linii se poate genera o suprafață plană sau curbă prin deplasarea liniei pe o traiectorie dată.

La generarea modelului geometric se utilizează un sistem de coordonate global cu originea în secțiunea de încastrare a pilonului.

Pilonul podului, hobanele și elementele de rigidizare ale tablierului sunt elemente 1D și vor fi reprezentate prin linii, în timp ce placa tablierului fiind un element 2D va fi reprezentată printr-o suprafață curbă.

Pentru început se vor defini elementele care sunt poziționate în planul median al structurii podului: pilonul, hobanele și rigidizarea din axul tablierului. Acestea vor fi create cu ajutorul punctelor de la extremitățile lor. În Figura 5. se prezintă tabelul coordonatelor punctelor care definesc capetele elementelor precizate.

Este de menționat că pentru a defini forma circulară a axei tablierului sunt necesare 3 puncte: două la extremități și unul la mijlocul curbei.

Pentru a defini coordonatele punctelor se apasă butonul  situat pe bara de unelte a ferestrei de lucru, după care se deschide fereastra din Figura 5. în care se tastează direct coordonatele:

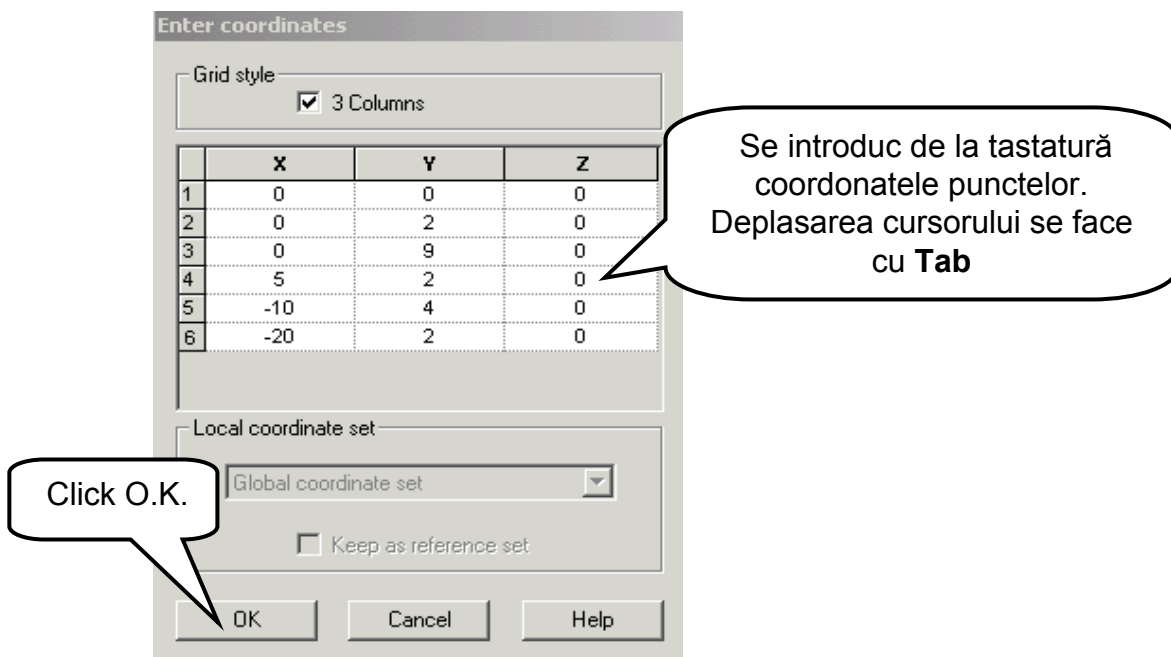



Figura 5.

La închiderea tabelului cu coordonate în fereastra de lucru sunt afișate cele șase puncte – vezi Figura 6.

Prin selectarea cu ajutorul mouse-ului a câte două puncte se pot genera liniile care definesc poziția barelor sau grinzilor din structură.

După selectarea a două puncte direct pe ecran, prin apăsarea butonului  situat în bara de unelte a ferestrei de lucru, se generează direct pe ecran linia ce unește cele două puncte.

Etapetele ce trebuie parcurse pentru a genera liniile din modelul geometric sunt prezentate în Figurile 7 la 17.



Figura 6.

a. Generează linia 1 – Figura 7.

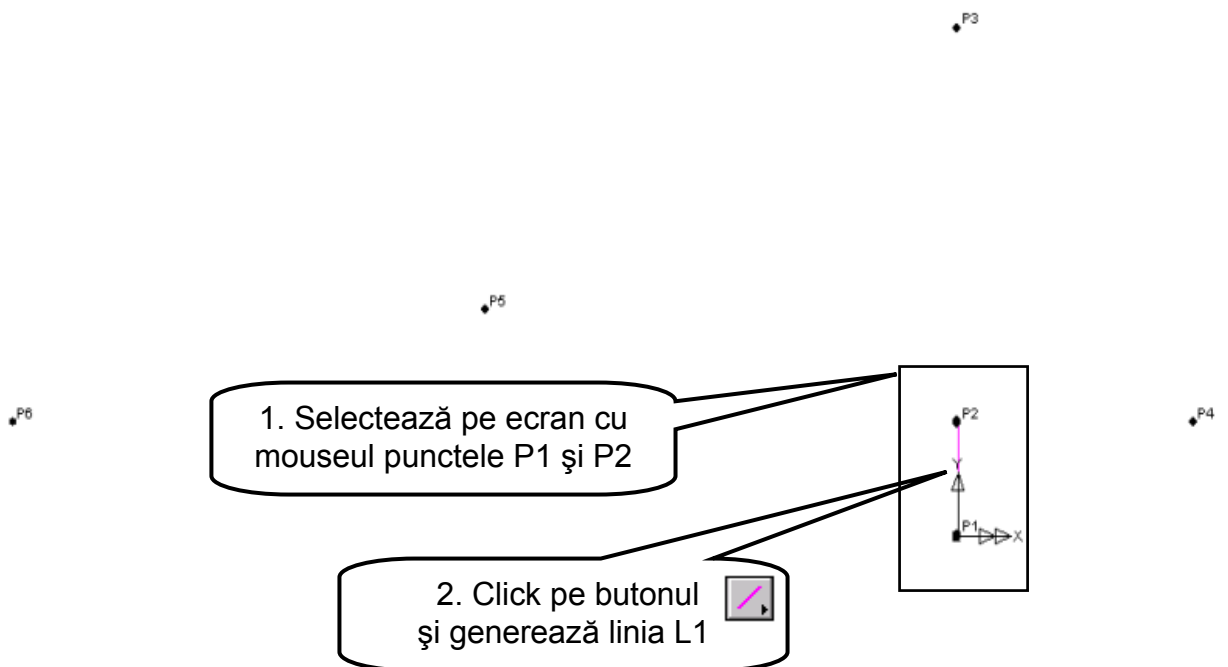


Figura 7.

Notă: Sensul liniei generate depinde de ordinea în care cele două puncte au fost selectate. Pentru ca sensul liniei să fie de jos în sus se va selecta întâi punctul P1 urmat de punctul P2.

b. Generează linia 2 – Figura 8

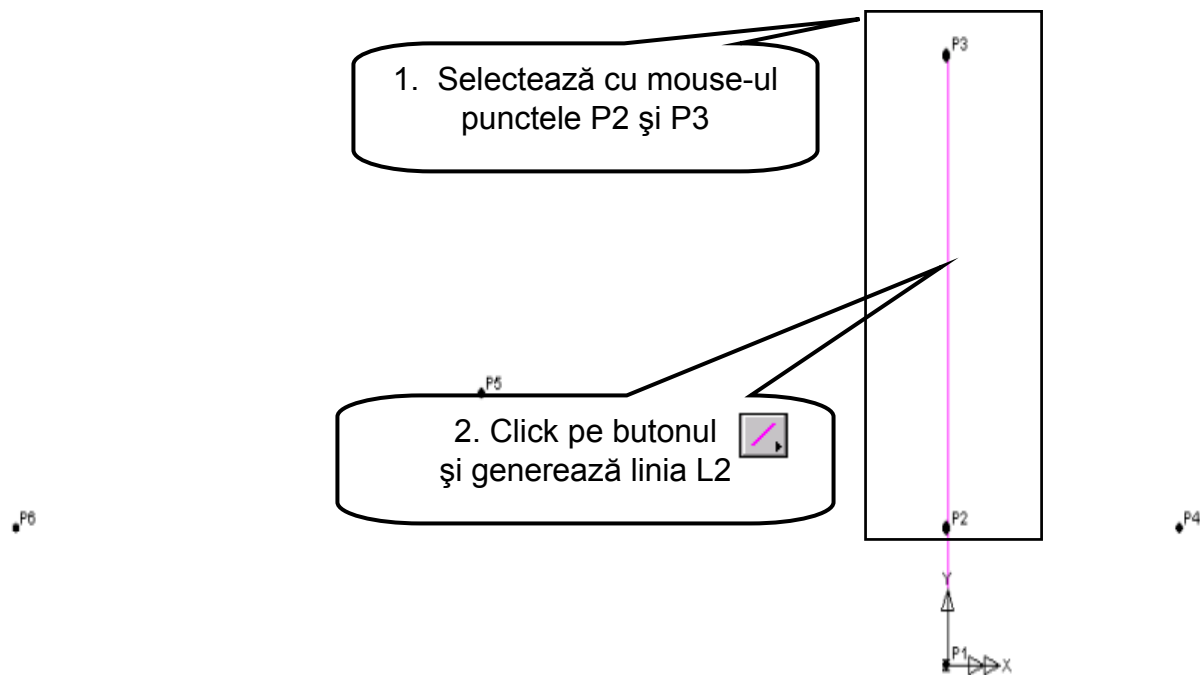


Figura 8.

c. Generează linia 3 – Figura 10

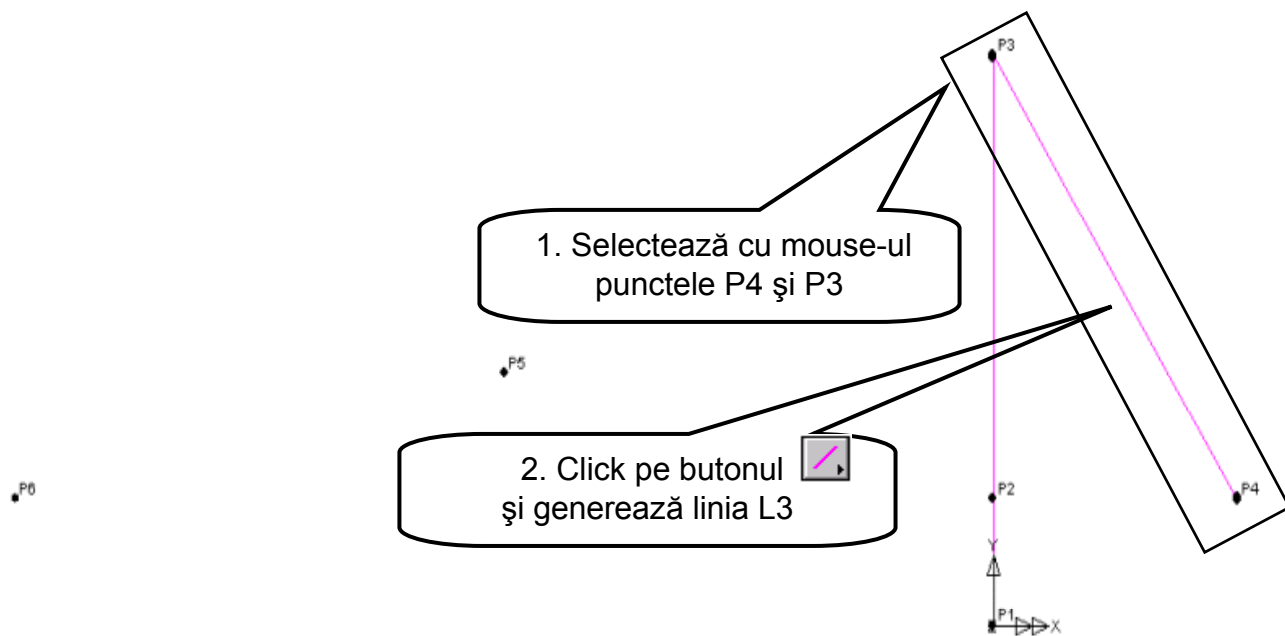


Figura 10.

d. Generează linia 4 – Figura 12.

Linia 4 corespunde axei tablierului podului. Ea este o linie curbă de tip arc de cerc și va fi definită cu ajutorul a 3 puncte selectate în ordinea P2, P5 și P6.

După selectarea punctelor cu butonul din stânga al mouse-ului se aplează din meniul **Geometry** comanda **Line** urmată de **Arc** și opțiunea **From Coords/Points**.

În fereastra de lucru se deschide o casetă care oferă informații privind definirea arcului de cerc prin cele 3 puncte. Informațiile cuprind numerele și coordonatele celor 3 puncte selectate precum și punctul situat deasupra corzii arcului de cerc. Poziția acestui punct determină sensul curburii arcului de cerc – vezi Figura 11.

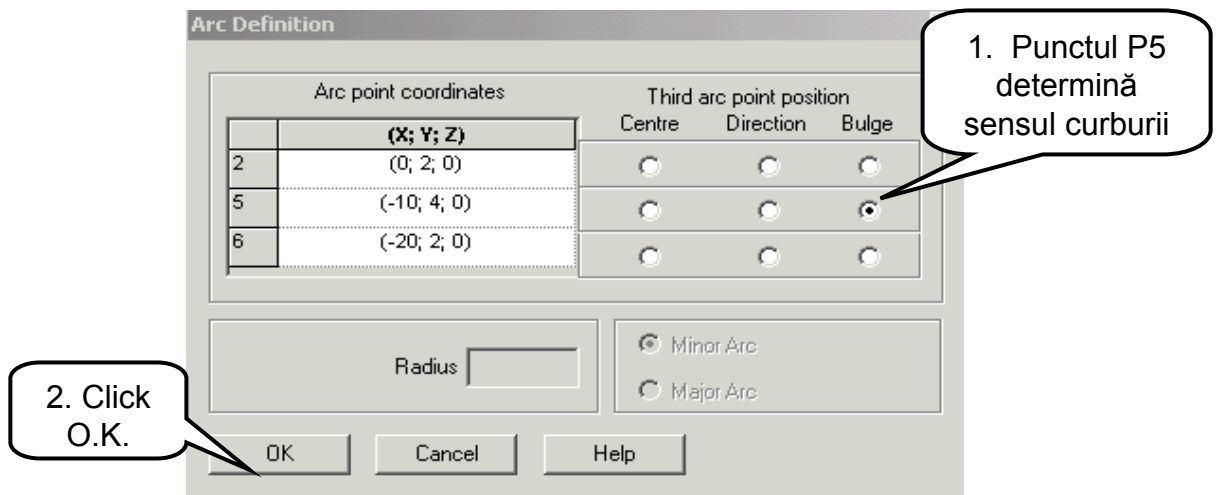


Figura 11.

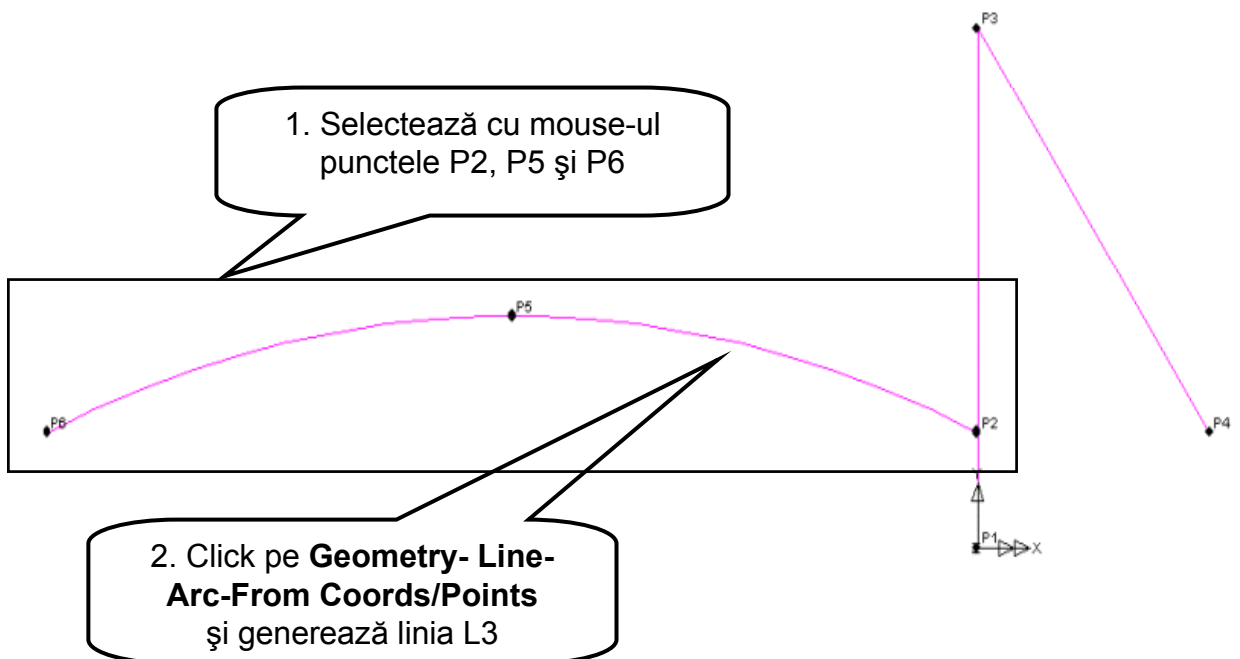



Figura 12.

Cu ajutorul butonului  situat pe bara cu unelte a ferestrei de lucru se rotește desenul realizat pentru a dispune de o imagine 3D a acestuia – vezi Figura 13.

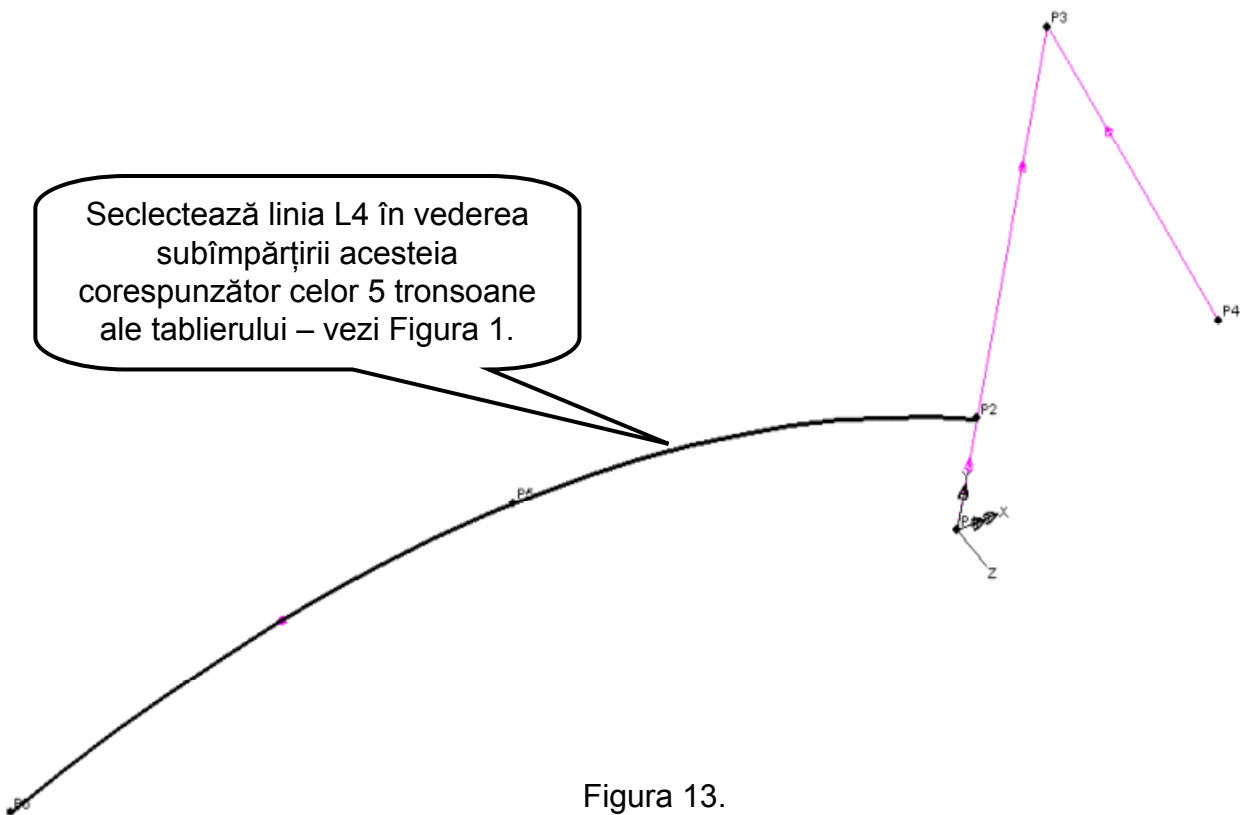


Figura 13.

Pentru activarea sau dezactivarea prezentării pe ecran a sensului liniilor desenate se selectează cu dublu click opțiunea **Geometry** din fereastra **Tree View**. Ca efect al acestei operații se deschide o casetă cu opțiuni din care se selectează **Show line directions** – vezi Figura 14.

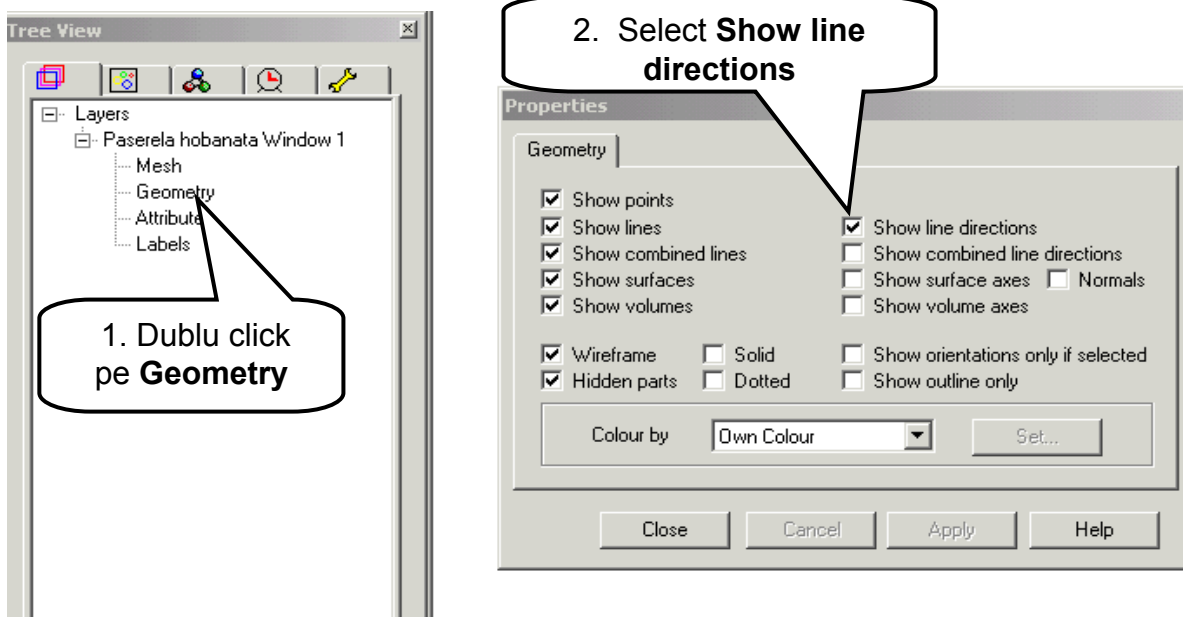


Figura 14.

Linia L4 care reprezintă axa tablierului va fi împărțită în 5 elemente corespunzătoare celor 5 tronsoane ale tablierului – vezi Figura 1.

După selectarea liniei L4 se deschide meniul **Geometry** și se selectează pe rând: **Line – By splitting – At equal distances**, care va deschide o casetă de dialog în care se introduce numărul de subdiviziuni în care se împarte linia L4 – vezi Figura 15.

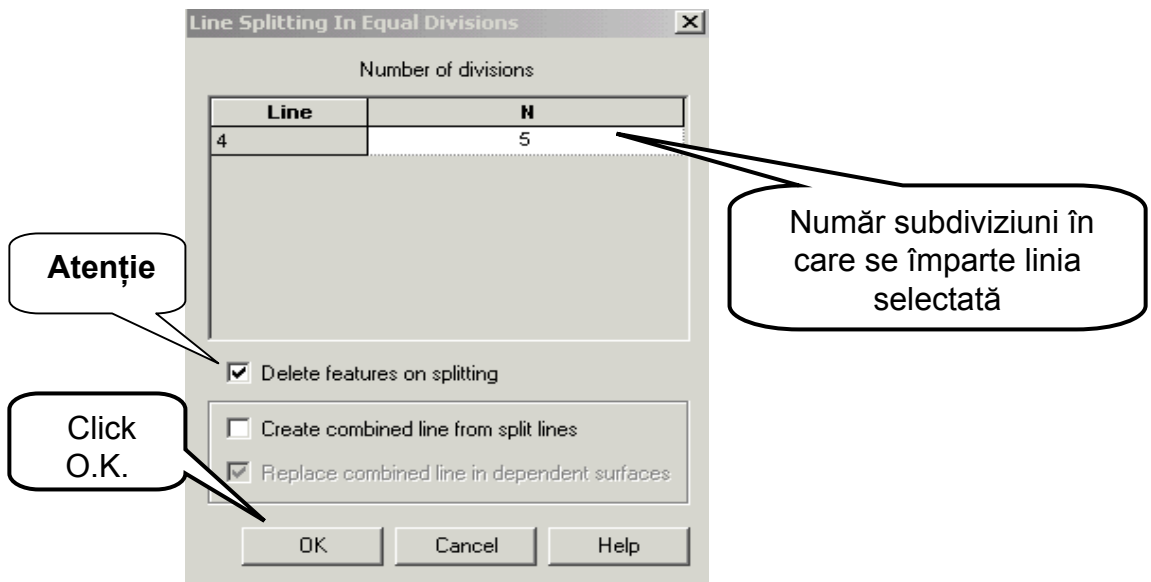


Figura 15.

În fereastra de lucru se poate ușor observa cum linia L4 a fost înlocuită cu o succesiune de cinci linii curbe definite fiecare prin câte 3 puncte - vezi Figura 16.

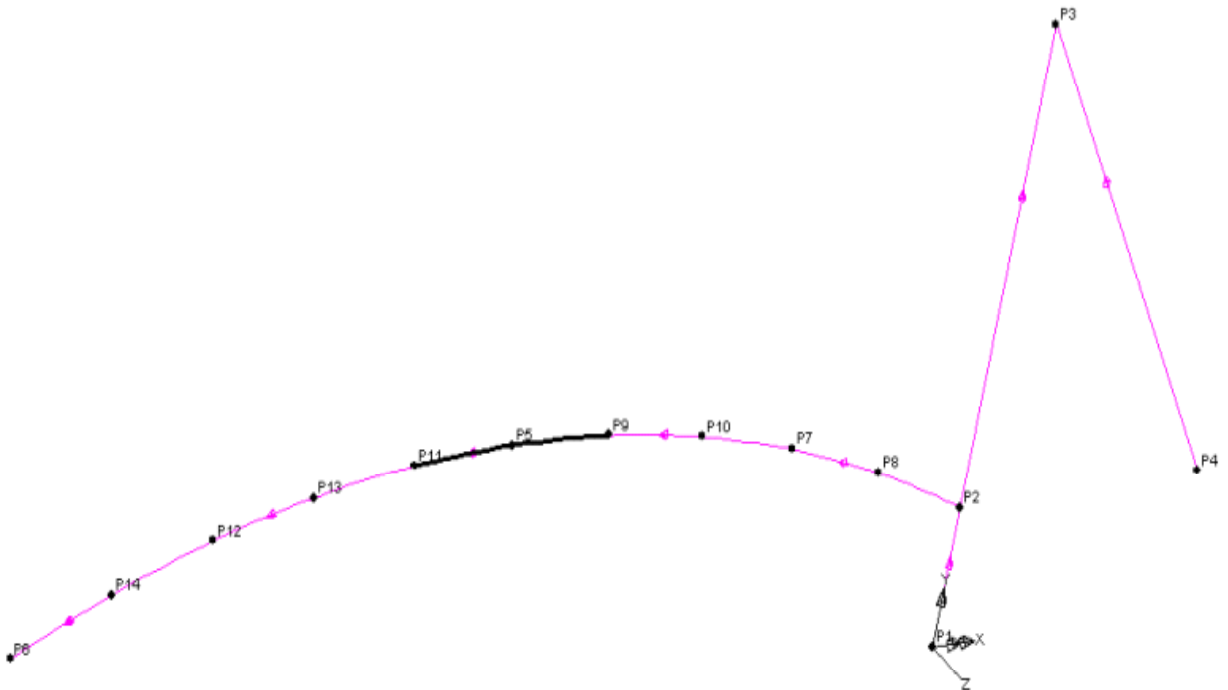


Figura 16.

e. *Generează liniile L10 și L11 – Figura 17*

Liniile 10 și 11 corespund hobanelor plasate în deschiderea podului. Acestea pot fi generate urmărind etapele parcurse la construirea celorlate linii ale modelului geometric. Linia 10 va fi generată prin selectarea punctelor P9 și P3, iar linia 11 prin selectarea punctelor P12 și P3 – vezi Figura 17.

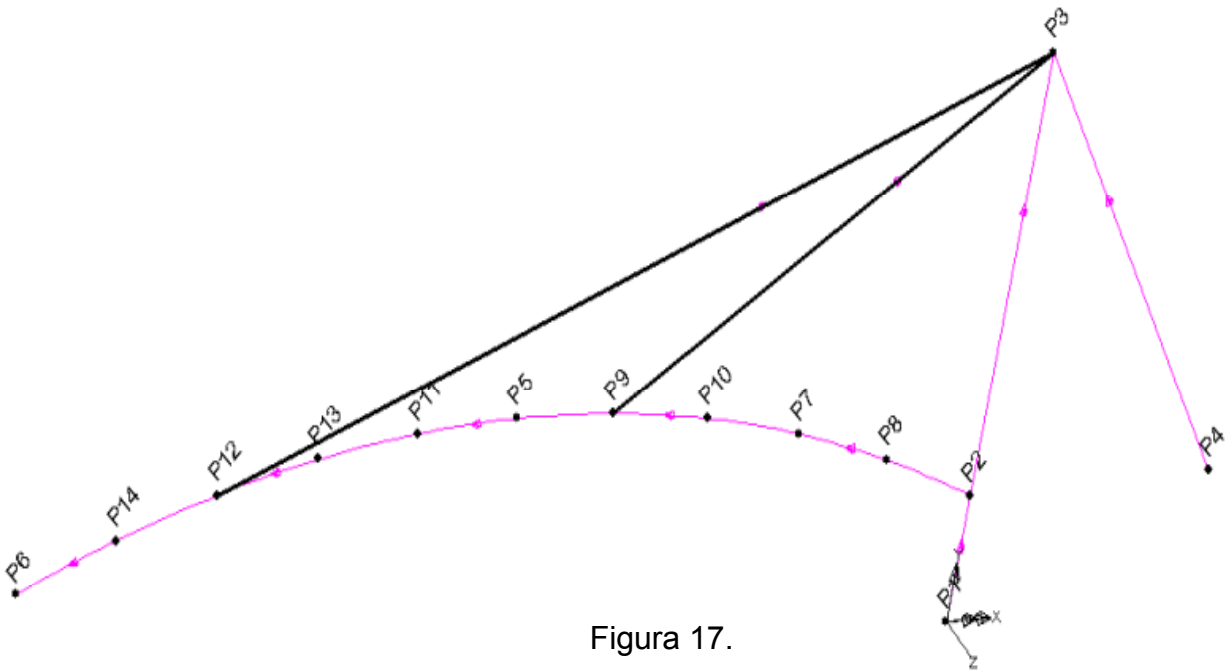




Figura 17.

Placa tablierului va fi generată cu ajutorul liniilor plasate în axa acestuia, prin deplasarea lor pe o traiectorie paralelă cu axa globală OZ, apelând la comanda **Sweep** prin apăsarea butonului  , din bara de unelte a ferestrei de lucru.

Cu ajutorul butonului din stânga al mouse-ului și al tastei **Shift** se selectează grafic pe ecran liniile din axa tablierului. Fiecare linie selectată va genera prin deplasarea ei pe o traiectorie câte o suprafață curbă.

Etapile generării celor primelor 5 suprafețe prin deplasarea liniilor din axul tablierului pe direcția Z cu distanța -1.10 m sunt prezentate în Figura 19.

După selectarea liniilor, la apăsarea butonului  (**Sweep**) se deschide o fereastră de dialog care permite specificarea direcției și distanței cu care se deplasează prin translație liniile selectate – vezi Figura 18.

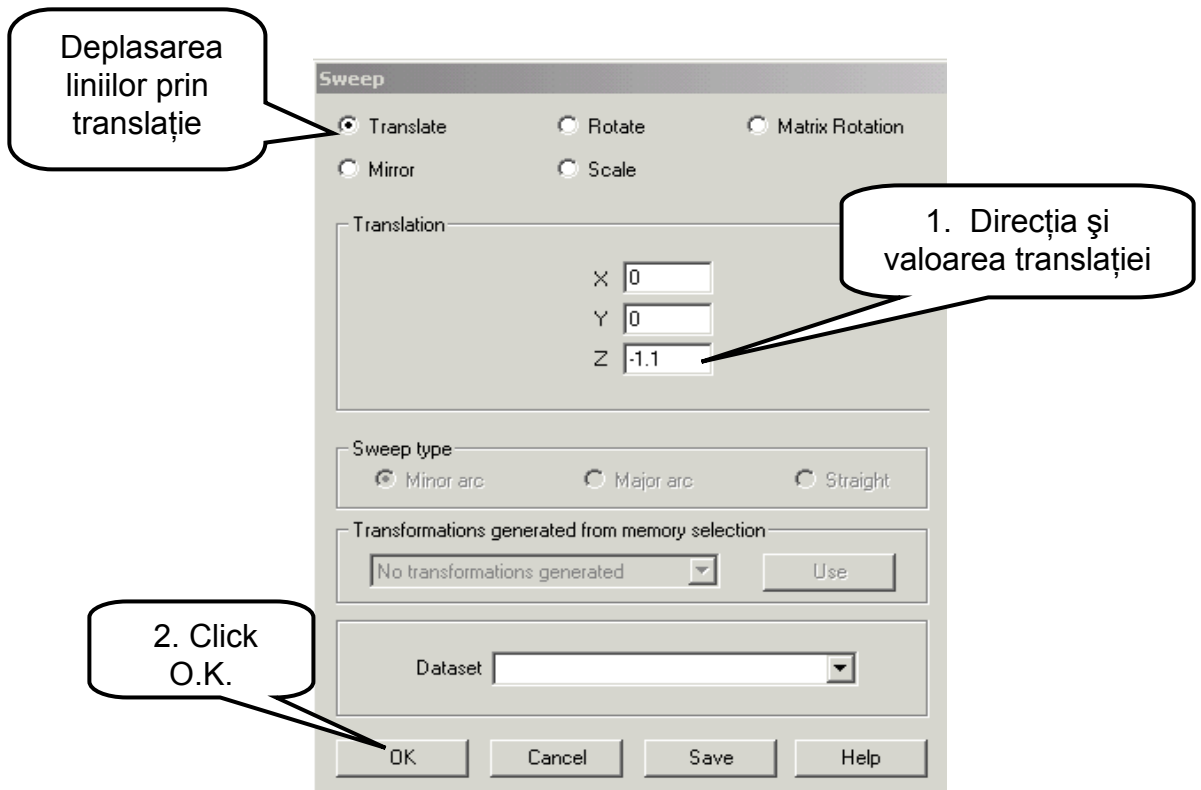


Figura 18.

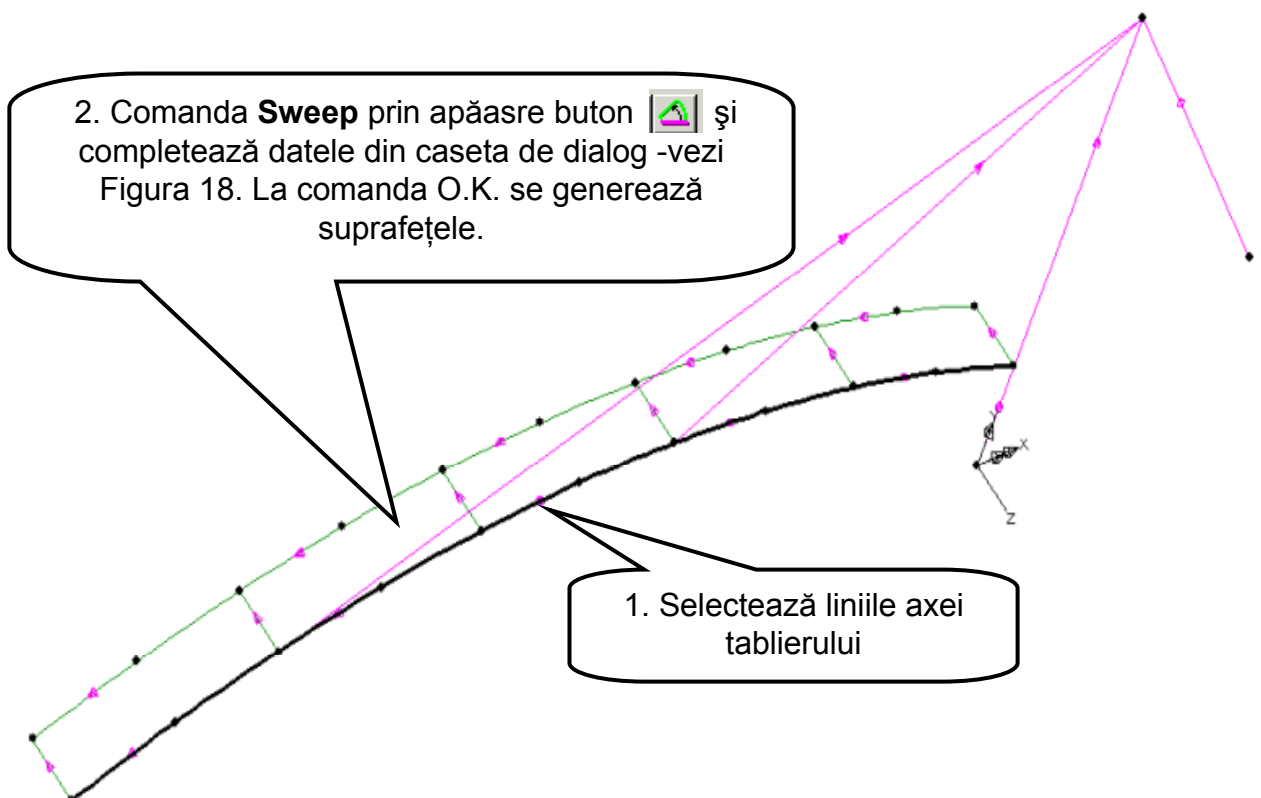


Figura 19.

Prin parcurgerea aceluiași pași se generează următoarele 5 suprafețe plasate în direcția pozitivă a axei OZ. Se selectează liniile din axa tablierului, apoi se apelează la comanda **Sweep** urmată de completarea casetei de dialog (vezi Figura 18.) în care se specifică mărimea translației pe direcția axei OZ cu valoarea 1.10. Suprafețele generate sunt prezentate în Figura 20.

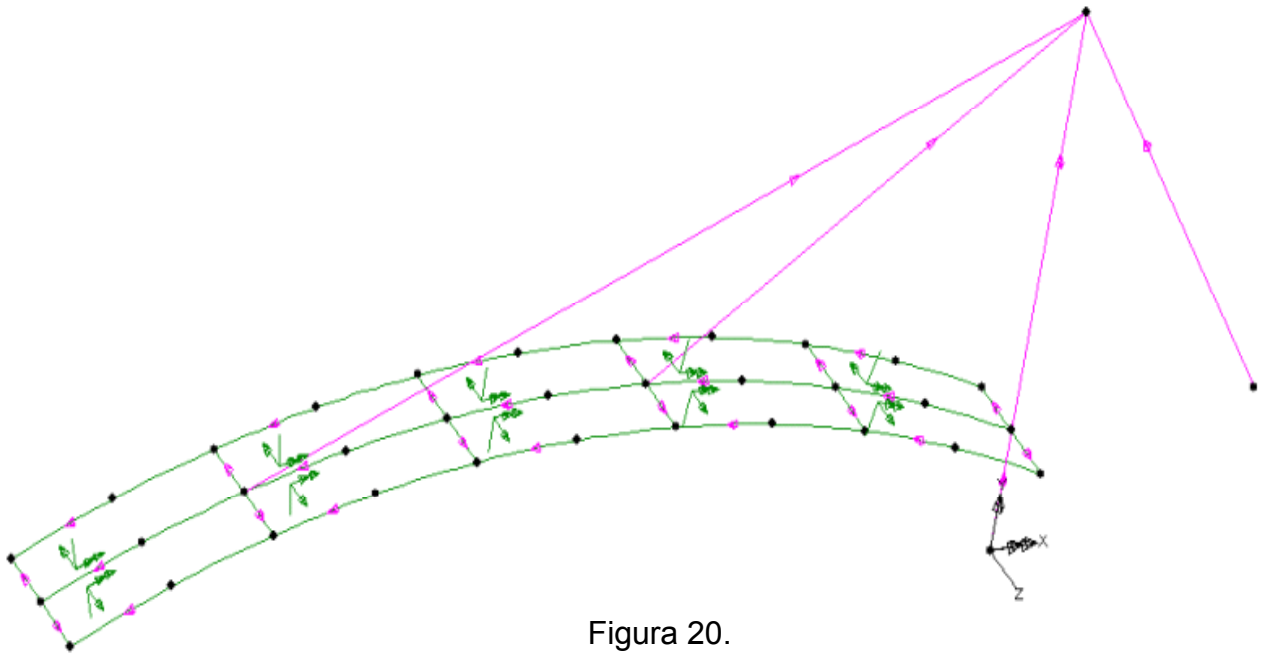


Figura 20.

Pentru construcția în continuare a modelului de calcul și pentru interpretarea corectă a rezultatelor analizei, orientarea suprafețelor generate are o importanță majoră. Prezentarea sistemelor de axe ale fiecărei suprafețe se realizează apelând prin dublu click la comanda **Geometry** din fereastra **Tree view**. Astfel se deschide caseta de opțiuni în Figura 21. din care se selectează **Show surface axes**.

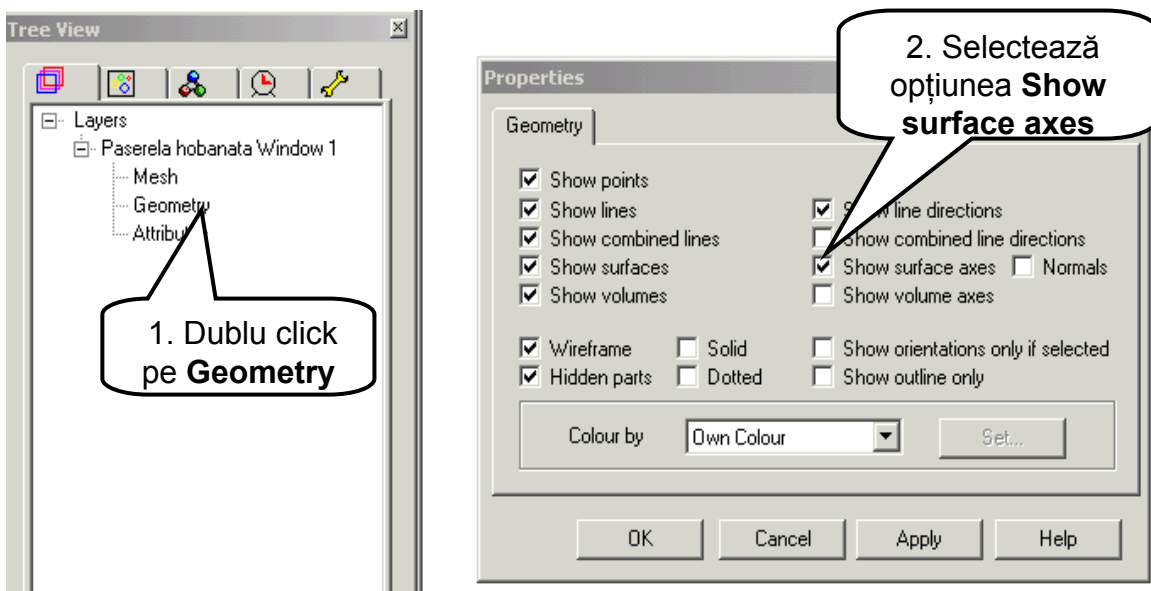


Figura 21.

Ca urmare a acestei opțiuni în fereastra de lucru se prezintă sistemele de axe ale fiecărei suprafețe generate – vezi Figura 20.

Se poate ușor observa faptul că pentru suprafețele plasate în direcția pozitivă a axei globale OZ axele normale la suprafețe sunt îndreptate în jos, iar pentru cele plasate în direcția negativă a axei OZ aceste axe sunt îndreptate în sus. Pentru a avea o reprezentare unitară a rezultatelor este necesar ca sistemele de axe locale ale suprafețelor să dispună de aceeași orientare. Acest obiectiv este realizat în două etape. În prima etapă cu butonul mouse-ului și a comenzii **Shift** se selectează toate suprafețele situate în direcția pozitivă a axei OZ. Din meniul **Geometry** se selectează **Surface** și apoi comanda **Reverse**. Această comandă va avea ca efect schimbarea orientării suprafețelor astfel ca axa normală la acestea să fie orientată în sus – vezi Figura 22.

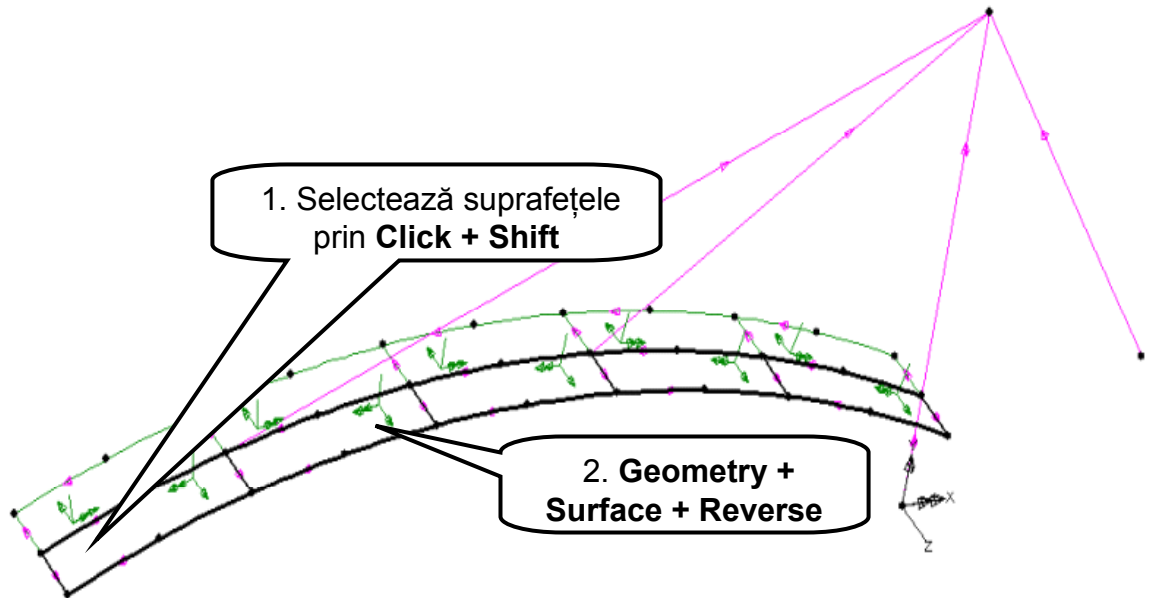


Figura 22.

În a doua etapă sistemele de axe locale ale suprafețelor selectate se vor roti până când acestea vor deveni paralele cu cele ale suprafețelor situate în direcția negativă a axei globale OZ. Pentru a realiza această operație se selectează din meniul bară **Geometry** urmată de **Surface** și opțiunea **Cycle**. Aplicând de două ori procedura descrisă se obține situația din Figura 23.

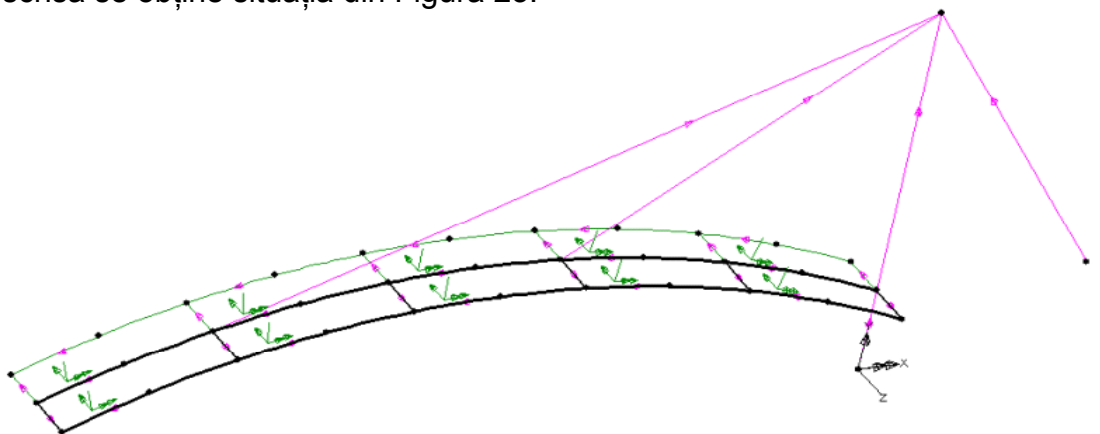


Figura 23.

Întrucât la generarea unei suprafețe se generează automat liniile și punctele care definesc conturul acesteia, sensul acestor linii depind de modul în care suprafața a fost creată. În cazul generării suprafeței prin translația unei linii, sensul liniilor care se generează este același cu sensul translației. Din analiza sensului liniilor transversale tablierului – vezi Figura 23. care au rezultat la generarea suprafețelor, acestea au sensuri contrare întrucât deplasarea liniilor cu care suprafețele au fost generate s-au deplasat atât în direcția negativă a axei OZ cât și în direcția pozitivă a acesteia. Pentru o interpretare corectă și mai ușoară a rezultatelor analizei este necesar ca aceste linii să dispună de un sens unic, de exemplu direcția negativă a axei OZ. În consecință se vor schimba sensurile liniilor transversale situate de partea pozitivă a axei OZ.

Pentru schimbarea sensului liniilor se parcurg următorii pași:

- se selectează cu **mouse-ul** și comanda **Shift** toate liniile transversale plasate de partea pozitivă a axei OZ;
- din meniul bară se selectează **Geometry** urmată de **Line** și apoi **Reverse**.

Rezultatul modificărilor generate de această procedură pot fi ușor identificate pe modelul geometric prezentat în Figura 24.

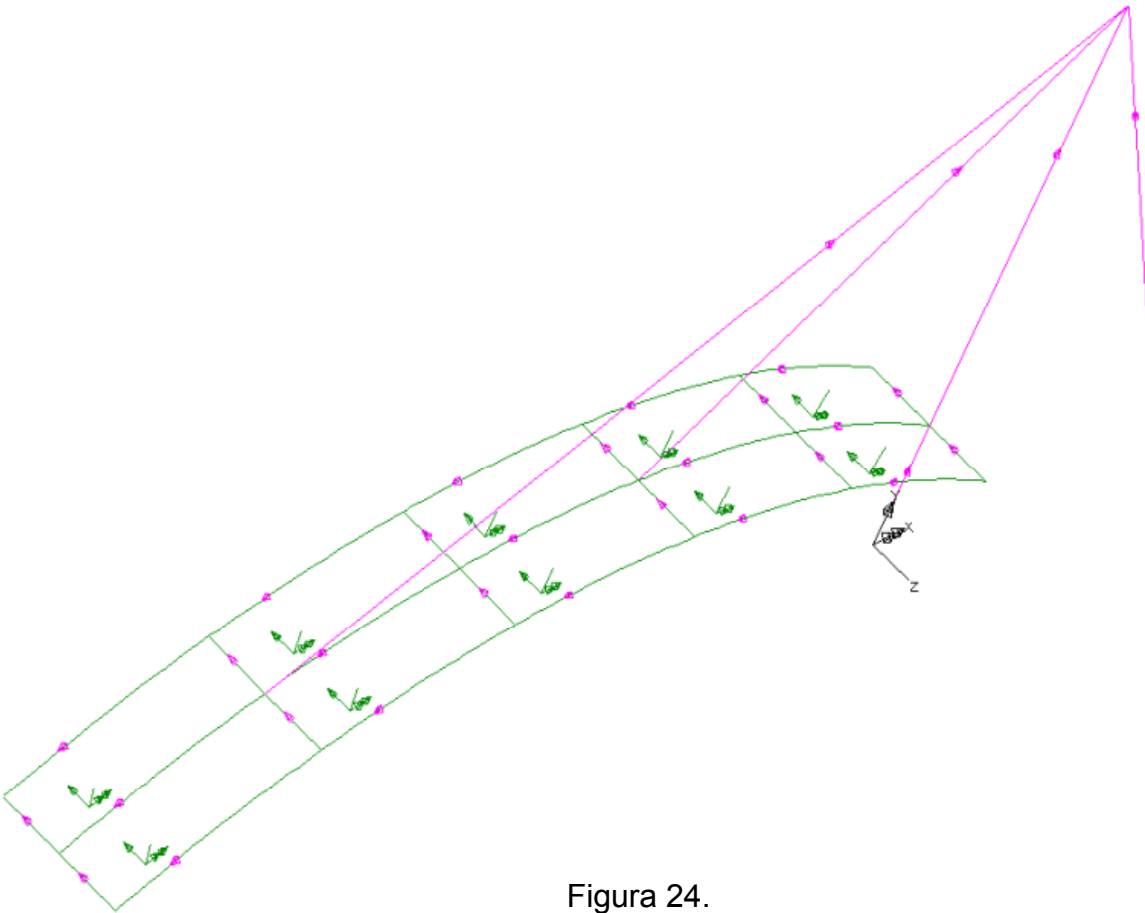


Figura 24.

Modelul geometric al structurii este terminat și pregătit pentru a fi transformat în model de calcul prin: discretizare cu elemente finite specifice fiecărui element structural, atribuire de caracteristici fizico-mecanice și introducerea condițiilor de rezemare și de încărcare.

1.2. Generarea modelului de calcul

1.2.2. Discretizarea cu elemente finite

A) Definirea caracteristicilor elementelor finite

Placa tablierului având formă curbă este solicitată predominant la încovoiere pe două direcții și forță axială. Elementele finite care reproduc această stare de solicitare sunt din categoria cunoscută sub numele de **Shell**. Ele combină rigiditatea la încovoiere a plăcilor cu rigiditatea în planul median de tip stare plană de tensiuni. Raportul dintre grosimea plăcii și dimensiunea minimă a acesteia fiind mic, se poate admite că placa tablierului se încadrează în categoria placilor subțiri.

Din punct de vedere al discretizării fiecare suprafață a tablierului va fi modelată cu o rețea de 3 elemente finite în direcție longitudinală și 2 elemente în direcție transversală. Pe această cale se realizează un raport acceptabil al lungimii laturilor elementelor (aproximativ 2.5) și o acoperire bună a formei curbe a tablierului cu elemente plane.

Rețeaua de elemente de suprafață se definește prin descriere:

- din meniul bară se deschide meniul **Attributes**;
- se alege opțiunea **Mesh**, urmată de **Surface** care deschide caseta de dialog, vezi Figura 25.;

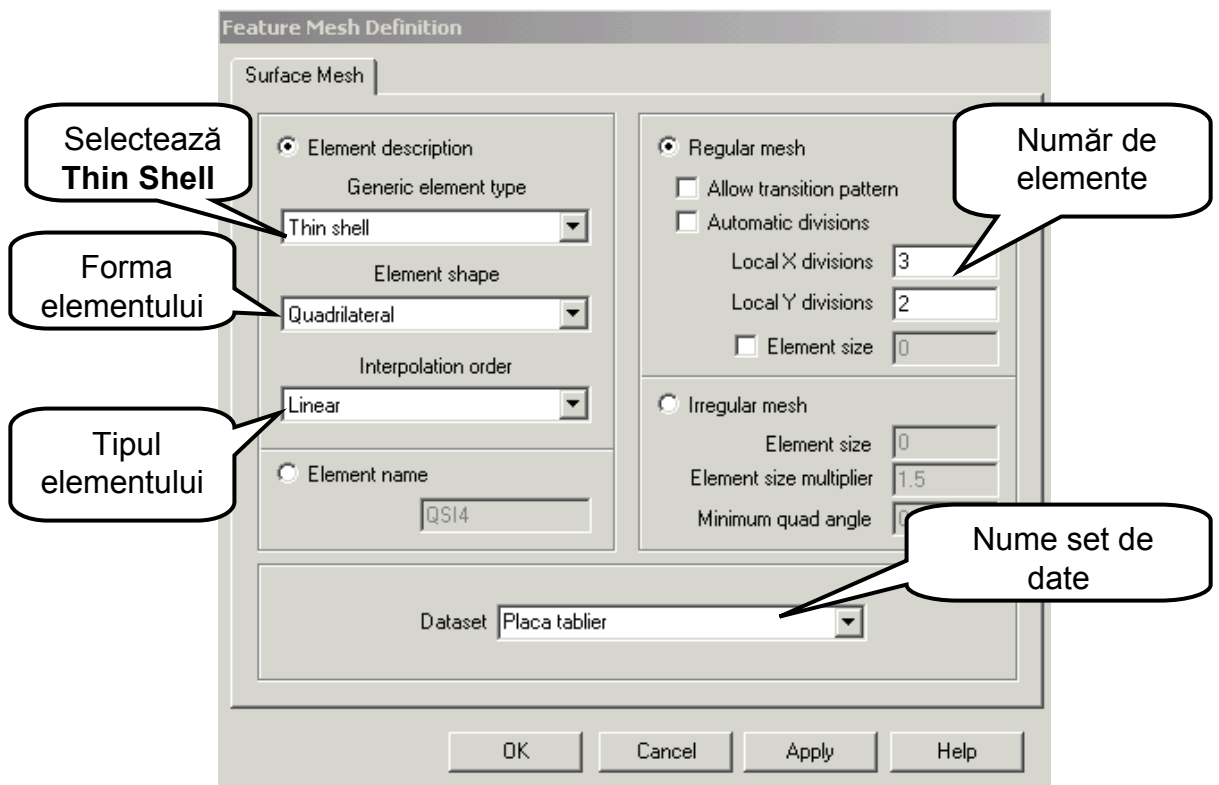


Figura 25.

- în caseta de dialog se alege elementul finit Shell tip subțire (**Thin Shell**);
- cu formă patrulater (**Quadrilateral**);
- cu noduri numai la colțurile elementului (**Linear**);
- se renunță la opțiunea **Regular mesh, Automatic divisions** și.....;
- se vor genera **3** elemente în direcția axei locale **X** a suprafeței și **2** elemente în direcția **Y** a acesteia;
- pentru identificarea elementului finit ales, setului de date i se va atribui un nume (**Placa tablier**);
- click **OK** pentru a salva setul de date în fereastra **Tree view**.

Pilonul podului este un element structural de tip grindă în spațiu fiind predominant solicitat la încovoiere cu forță tăietoare pe două direcții principale, la forță axială și la torsiune. Din punct de vedere al discretizării se vor utiliza elemente finite tip grindă (**Thick Beam**) la care se vor neglija efectele deformațiilor de lunecare.

Pentru a dispune de informații privind eforturile și deplasările în mai multe puncte nodale situate pe pilon și pentru o reprezentare grafică adecvată a deformatiei structurii se vor considera 4 elemente finite pe pilon în partea situată deasupra tablierului și 2 elemente în partea inferioară a acesteia. În acest scop se vor defini două seturi distincte de date cu elemente de grindă în spațiu.

Rețeaua de elemente de grindă se definește prin descriere:

- din meniul bară se deschide meniul **Attributes**;
- se alege opțiunea **Mesh**, urmată de **Line** care deschide caseta de dialog, vezi Figura 26. ;

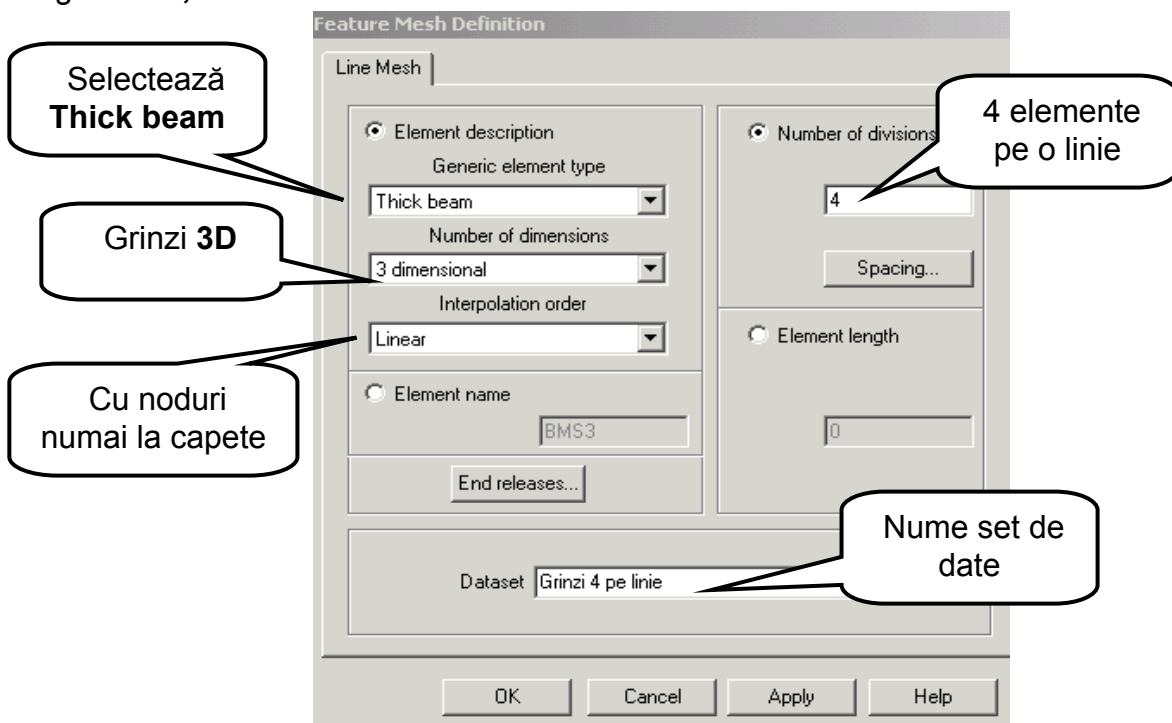


Figura 26.

- în caseta de dialog se alege elementul finit Grindă (**Thick beam**);
- în spațiul 3D (**3 dimensional**);
- cu noduri numai la capetele elementului (**Linear**);
- numărul de elemente de grindă care se vor genera pe o linie este **4** ;
- pentru identificarea elementului finit ales, setului de date i se va atribui un nume (**Grinzi 4 pe linie**);
- click **OK** pentru a salva setul de date în fereastra **Tree view**.

Setul de date aferent situației în care se atribuie numai 2 elemente de grindă pentru partea inferioară a pilonului este definit similar ca pentru 4 elemente și este prezentat în Figura 27.

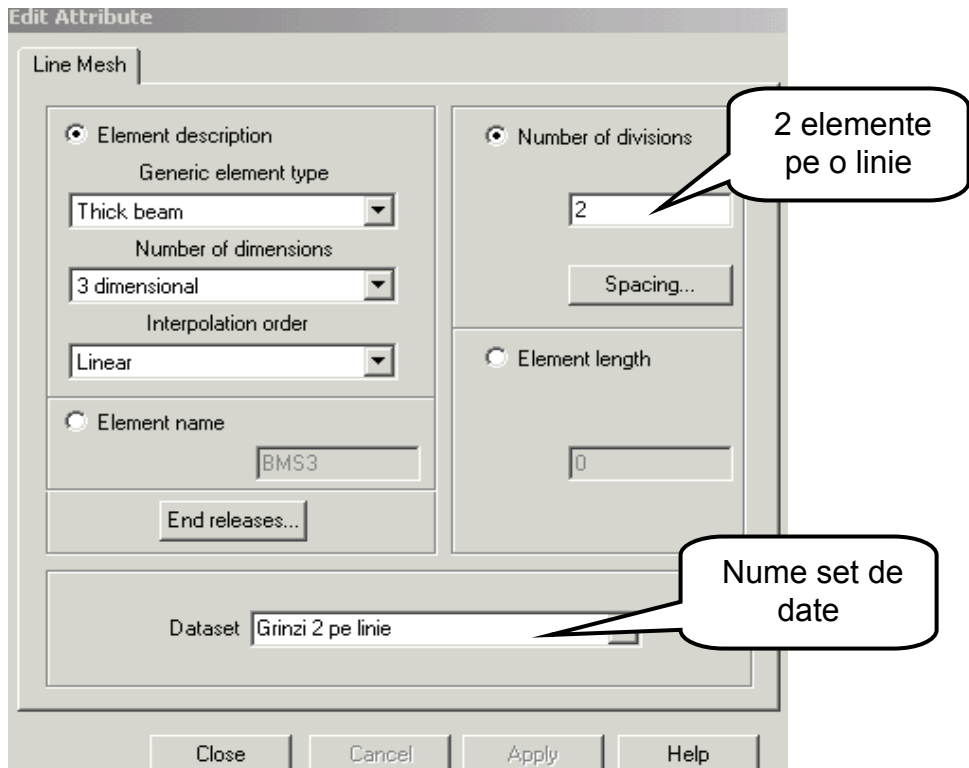


Figura 27.

Grinzile care rigidizează în direcție longitudinală și transversală placa tablierului vor fi modelate cu elemente de grindă în spațiu plasate în planul median al plăcii. Pe această cale se neglijează excentricitatea dintre centrul de greutate al grinzilor de rigidizare și planul median al plăcii. Pentru a asigura compatibilitatea la nodurile modelului de calcul între elementele tip Shell care modelează placa tablierului și elementele de grindă ale rigidizărilor, este necesar ca numărul elementelor finite de grindă pe fiecare latură a suprafețelor plăcii să fie același cu numărul de elemente finite tip Shell. Astfel pentru una dintre suprafețele tablierului se vor genera 3 grinzi pe liniile longitudinale și 2 grinzi pe liniile transversale. În aceste condiții este necesar a se defini un nou set de date care să cuprindă 3 elemente de grindă pentru o linie.

Procedând similar ca în cazul definirii celorlalte seturi de date, se definește setul de date corespunzător discretizării unei linii cu 3 elemente de grindă – vezi Figura 28.

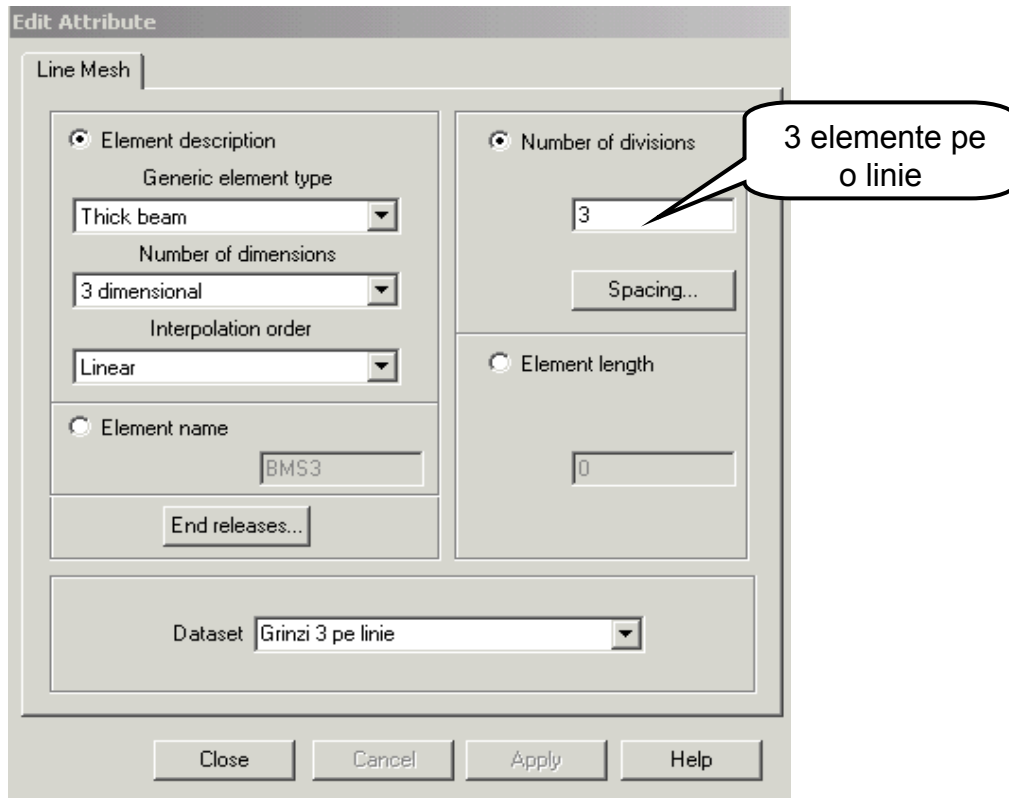


Figura 28.

Hobanele podului sunt elemente structurale solicitate axial și vor fi modelate cu elemente finite tip bară dublu articulată în spațiu. Din punct de vedere al discretizării aceasta se realizează cu elemente finite tip **Bar** și considerarea unui singur element pentru fiecare linie de hobană.

Rețeaua de elemente tip **Bar** se definește prin descriere:

- din meniul bară se deschide meniul **Attributes**;
- se alege opțiunea **Mesh**, urmată de **Line** care deschide caseta de dialog, vezi Figura 29. ;
- în caseta de dialog se alege elementul finit bară dublu articulată (**Bar**);
- în spațiul 3D (**3 dimensional**);
- cu noduri numai la capetele elementului (**Linear**);
- numărul de elemente de grindă care se vor genera pe o linie este **1** ;
- pentru identificarea elementului finit ales, setului de date i se va atribui un nume (**Hobane**);
- click **OK** pentru a salva setul de date în fereastra **Tree view**.

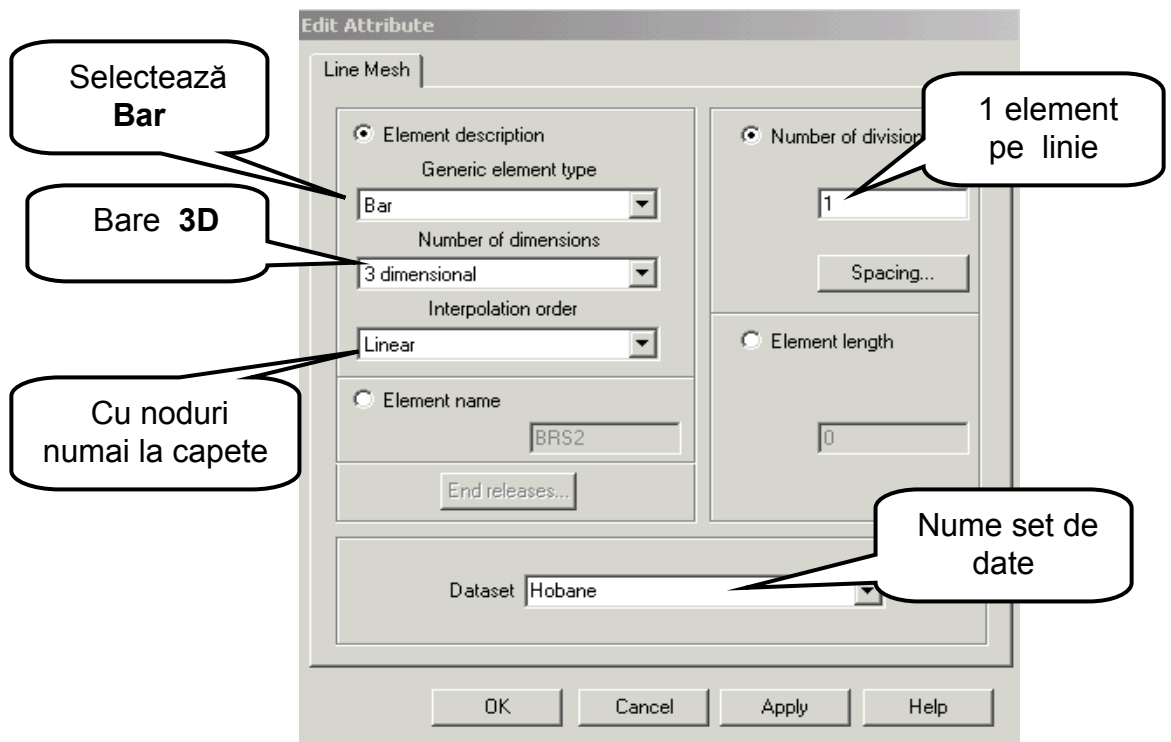


Figura 29.

Seturile de date care definesc elementele finite utilizate în model sunt salvate în fereastra **Tree view** – vezi Figura 30. Caracteristicile fiecărui set de date pot fi ușor accesate, vizualizate sau editate prin dublu click direct pe numele setului de date.

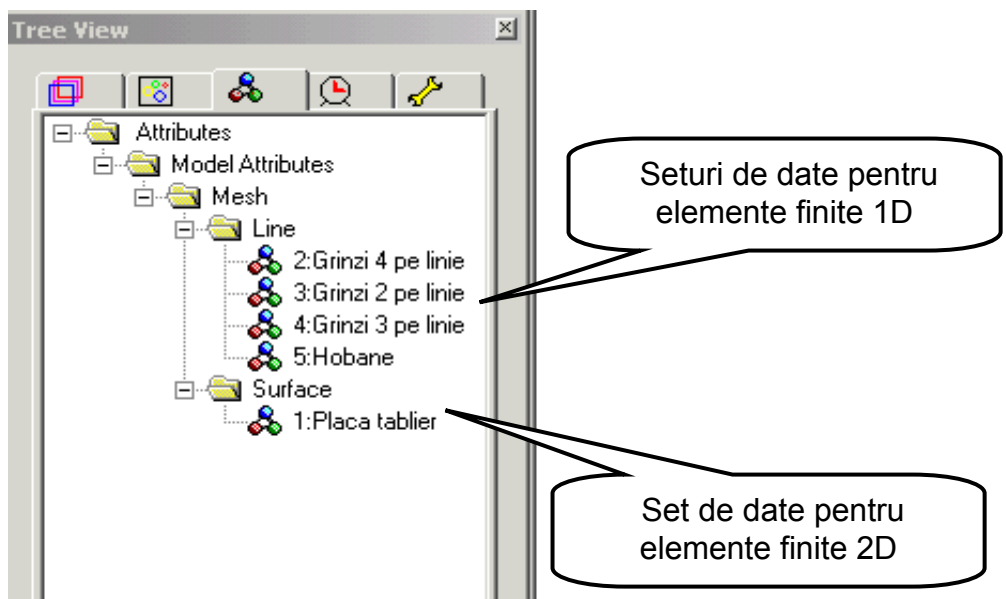


Figura 30.

B) Atribuirea discretizării cu elemente finite modelului geometric

Elementele finite de grindă în spațiu dispun de un sistem local de axe compus din: axa grinzii (ox) și axele centrale și principale ale secțiunii transversale (oy și oz). Orientarea în spațiu a grinzii se realizează prin precizarea orientării axelor locale ale acesteia și definirea unor sisteme de axe ajutătoare.

În faza de interpretare a rezultatelor este important ca pentru aceeași categorie de elemente axele locale să dispună de aceeași orientare. Dacă pentru pilon care are secțiune circulară este mai puțin importantă orientarea axelor principale ale secțiunii transversale, pentru grinzile de rigidizare ale tablierului acest lucru are o importanță deosebită. În continuare se vor defini două sisteme locale de axe, unul pentru grinzile longitudinale și altul pentru cele transversale. În ambele cazuri axa locală oy va avea direcție verticală. Definirea sistemelor locale de axe se face cu ajutorul a 3 puncte: primul punct definește originea sistemului de axe, al doilea punct definește direcția axei ox , iar al treilea punct definește poziția axei oy . Axa oz va fi perpendiculară pe planul definit de ox și oy .

Pentru definirea axelor locale ale grinzilor longitudinale:

- se selectează cu mouse-ul și **Shift** punctele P9, P11 și P3 – vezi Figura 31.;
- din meniul bară se selectează **Attributes** și opțiunea **Local Coordinate...** care deschide caseta de opțiuni din Figura 32.;

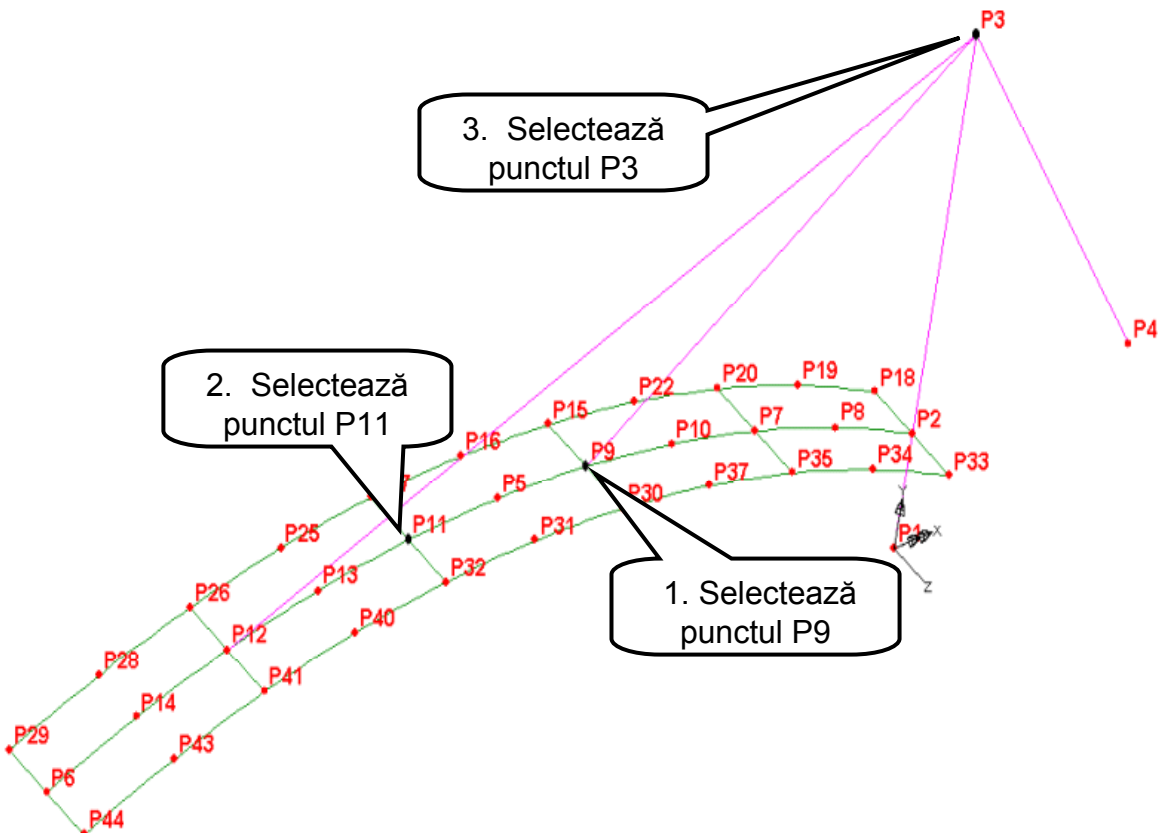


Figura 31.

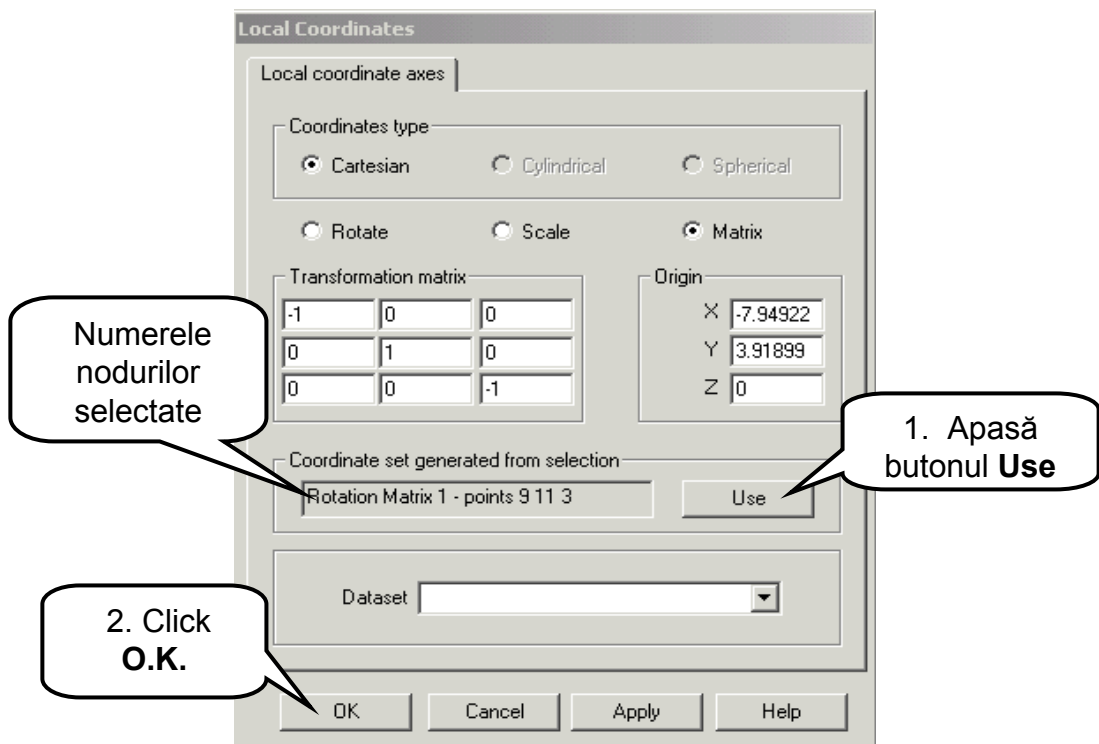


Figura 32.

- se apasă butonul **Use** pentru a utiliza cele 3 puncte selectate la definirea sistemului de axe locale;
- Click **O.K.** Pe structură va apare desenat sistemul de axe definit cu originea în punctul P9 – vezi Figura 33.

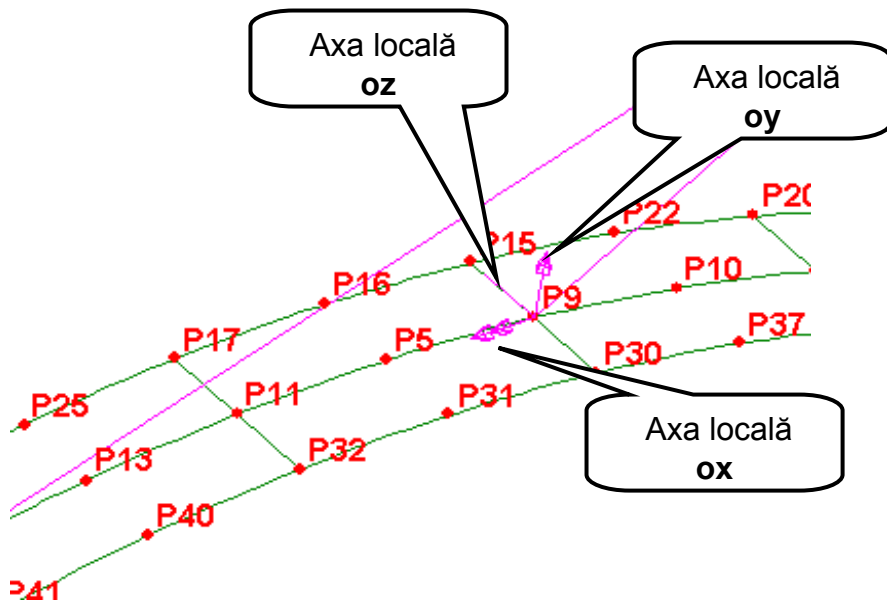
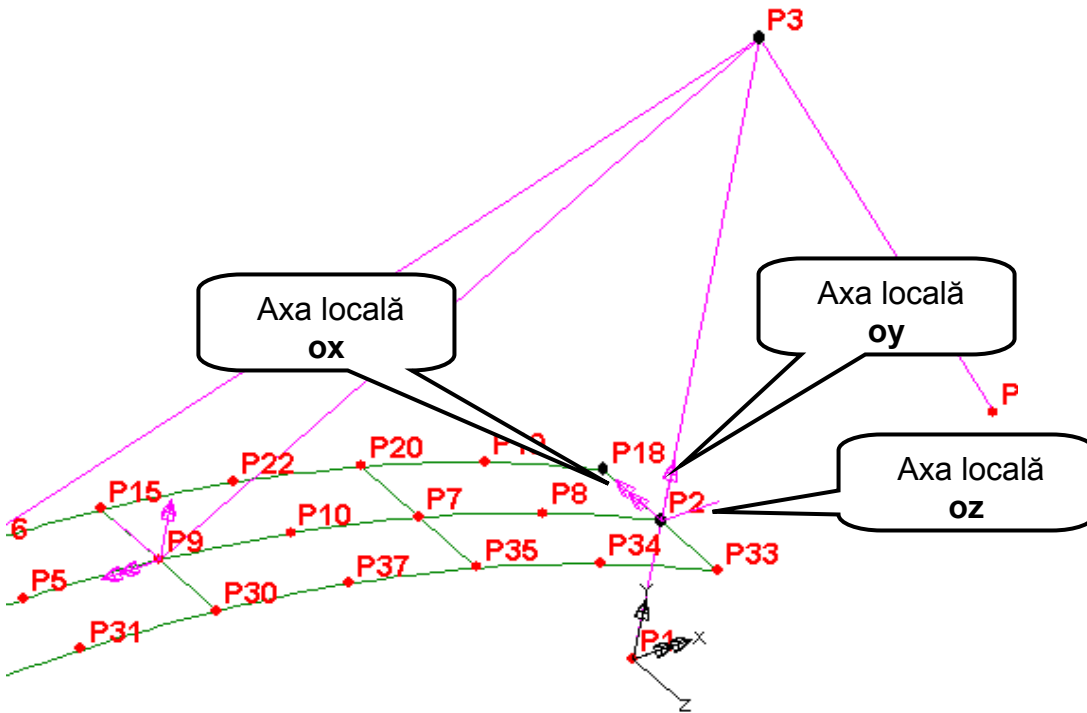


Figura 33.

Pentru definirea axelor locale ale grinzilor transversale:

- se selectează cu mouse-ul și **Shift** punctele P2, P18 și P3 – vezi Figura 34.;
- din meniul bară se selectează **Attributes** și opțiunea **Local Coordinate...** care deschide caseta de opțiuni în care se menționează punctele selectate;
- procedând similar ca la definirea sistemului de axe pentru grinzi longitudinale se obține cel de al doilea sistem de axe local – vezi Figura 34.



Atribuirea seturilor de date cu elemente finite fiecărui element specific din modelul geometric se realizează parcurgând următorii pași standard:

- în fereastra de lucru se selectează liniile sau suprafețele cărora urmează să li se atribue un anumit set de date cu elemente finite;
- în fereastra din stânga, fereastra **Treeview**, cu butonul din stânga al mouse-ului se selectează setul de date care urmează a fi atribuit;
- se ține apăsat butonul mouse-ului și se trage în zona selectată;
- se eliberează butonul mouse-ului;
- în fereastra de lucru se afișează automat rețeaua de elemente finite atribuită.

Pentru atribuirea elementelor finite de tip **Shell** suprafețelor tablierului acestea se selectează cu butonul din stânga al mouse-ului și Shift. Din fereastra **Treeview** se selectează setul de date **Placa tablier** și se trage cu mouse-ul în fereastra unde este modelul geometric. La eliberarea mouse-ului peste modelul geometric se afișează rețeaua cu elemente finite prezentată în Figura 35.

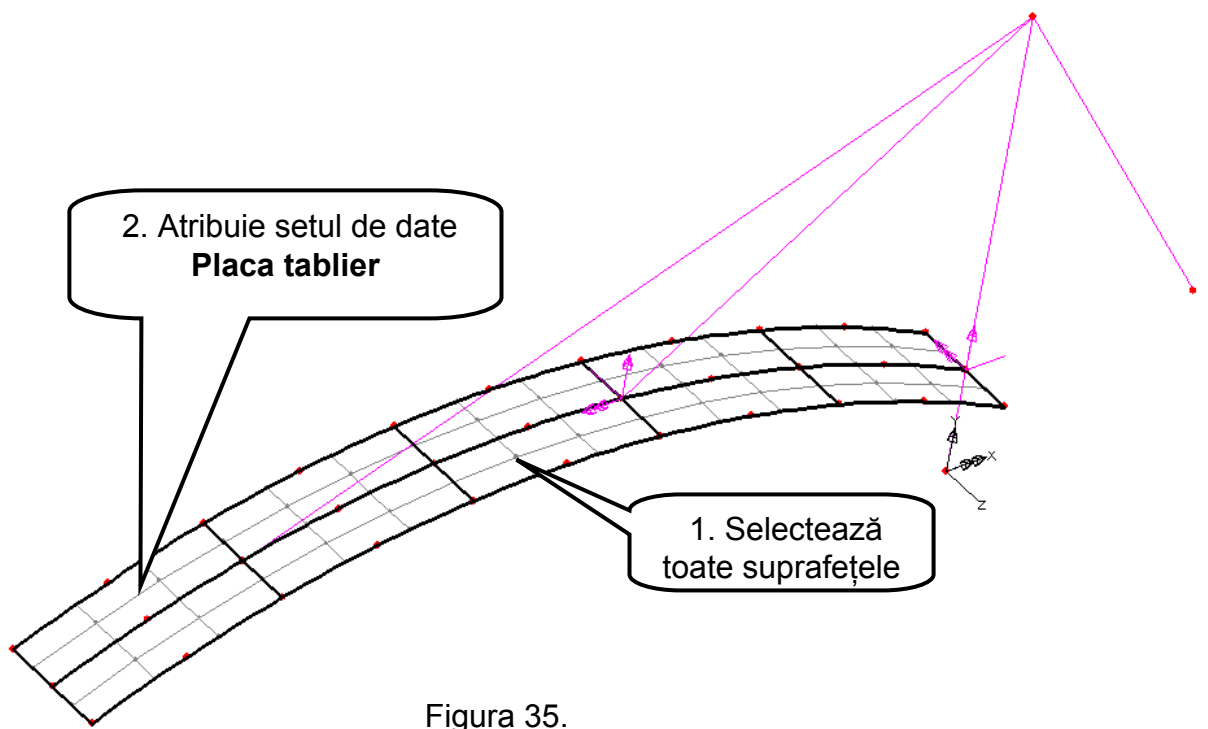



Figura 35.

Pentru o manipulare mai ușoară a diferitelor componente ale modelului de calcul este recomandabil ca aceste componente să fie grupate sub un nume generic. De exemplu toate elementele care formează placa tablierului pot forma un grup care să fie vizibil sau invizibil în raport cu alte elemente ale modelului.

Elementele care urmează să facă parte dintr-un grup trebuie în prealabil selectate. Cu suprafețele tablierului selectate se definește un grup numit Placa Tablier. Pentru acesta în meniul bară al ferestrei de lucru se apasă butonul . Ca urmare în fereastra **Tree View** sub opțiunea **Groups** se deschide un subgrup numit **New Group**. Prin click cu butonul din dreapta al mouse-ului pe **New Group** se schimbă (**Rename**) numele subgrupului în **Placa Tablier** – vezi Figura 36.

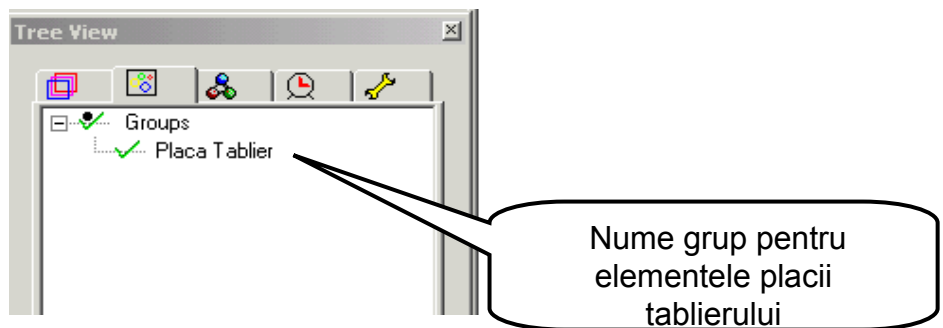


Figura 36.

În continuare operațiile de atribuire ale elementelor de grindă și bară vor fi mai ușor de efectuat dacă elementele tablierului vor fi făcute invizibile. Cu butonul din dreapta al mouse-ului se face click pe grupul numit **Placa Tablier** iar din meniul de opțiuni se selectează **Invisible**. Ca rezultat în fereastra de lucru, suprafețele și rețeaua cu elemente finite ale tablierului nu mai apar pe ecran – vezi Figura 37.

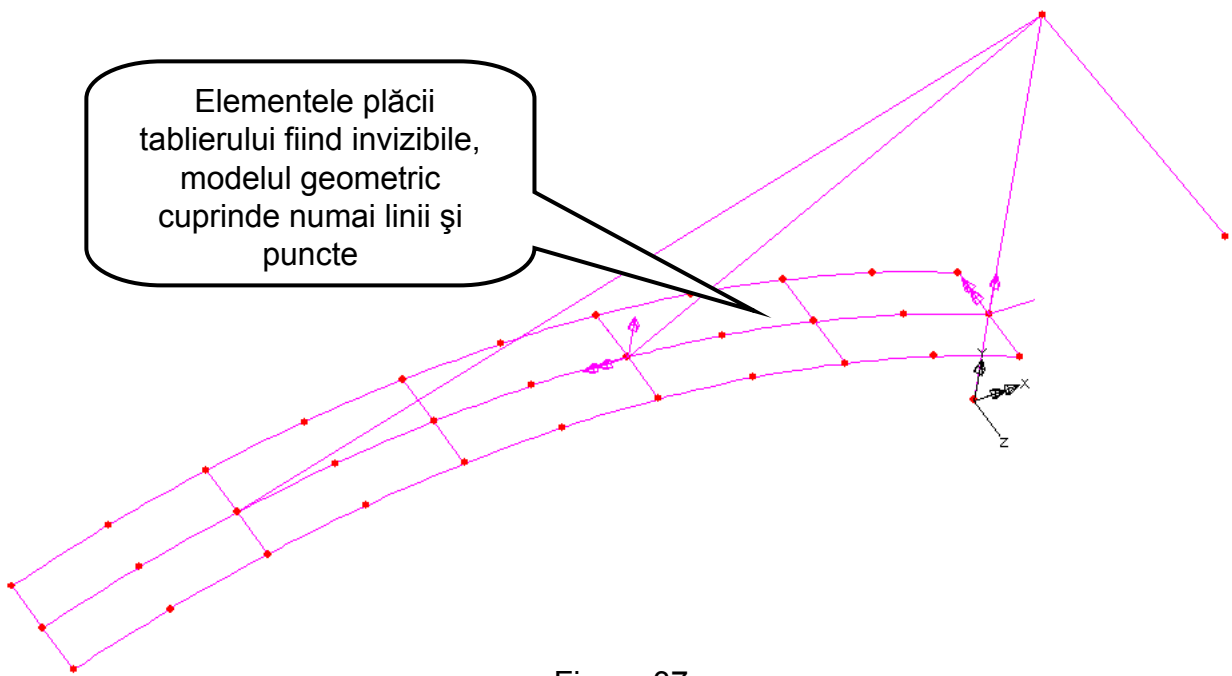


Figura 37.

În continuare se vor atribui elementele de grindă rigidizărilor longitudinale ale plăcii tablierului. Cu ajutorul butonului stânga al mouse-ului și Shift se selectează liniile longitudinale din axa și de la marginile tablierului. În fereastra **Tree view** se selectează setul de date **Grinzi 3 pe linie** și se trage în fereastra modelului. La eliberarea butonului mouse-ului se deschide o casetă care permite selectarea sistemului de axe local atribuit rigidizărilor longitudinale – vezi Figura 38.

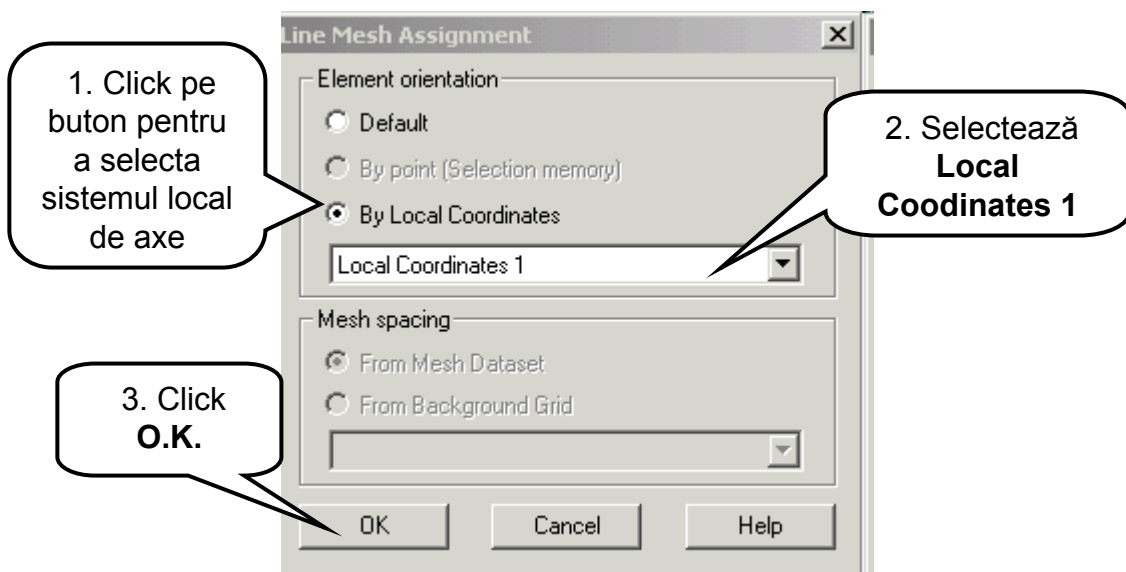


Figura 38.

După comanda O.K. din caseta de dialog, setul de date **Grinzi 3 pe linie** se atribuie automat liniilor selectate – vezi Figura 39.

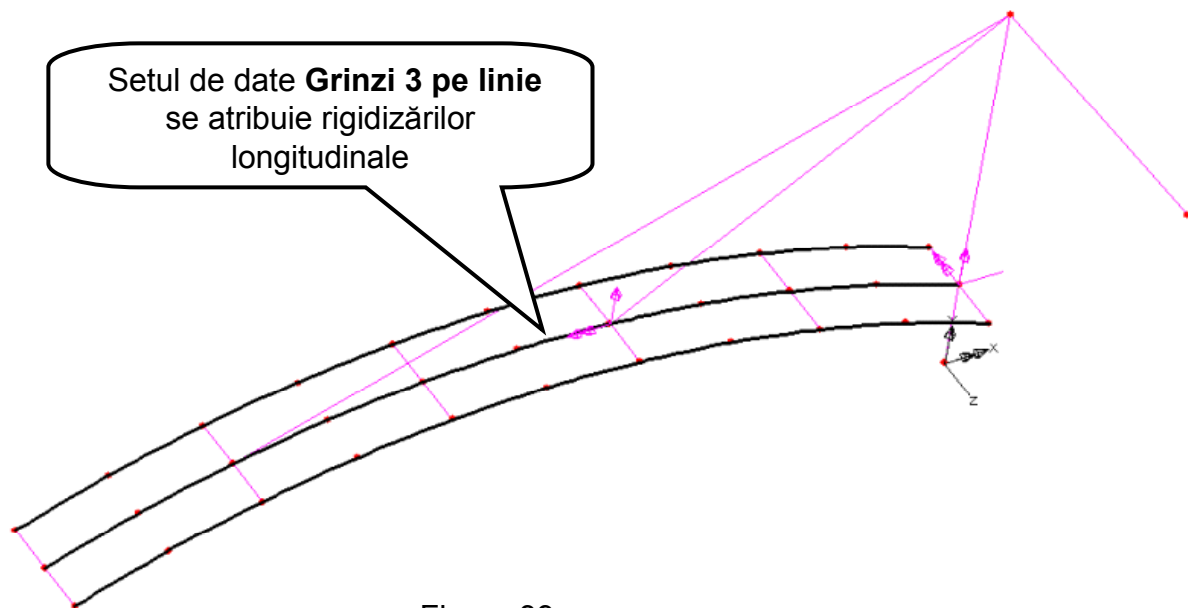


Figura 39.

Cu liniile longitudinale selectate și urmând procedura descrisă mai sus se generează un nou grup cu numele **Grinzi longitudinale**. Pentru manipulări ulterioare noul grup poate fi făcut invizibil obținându-se situația din Figura 40.

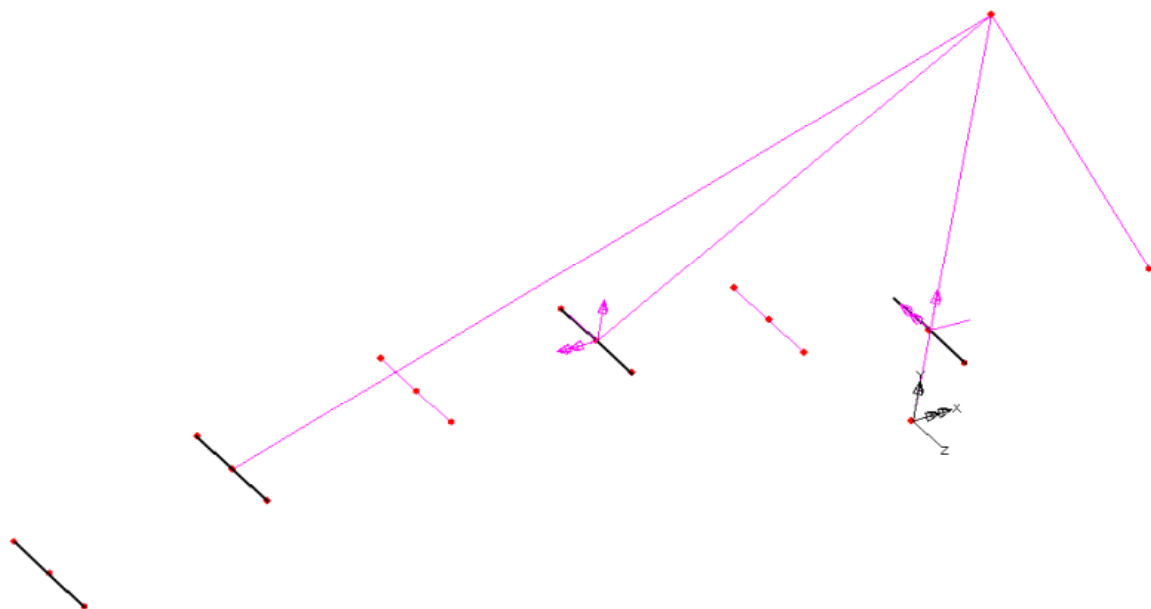


Figura 40.

Urmând aceeași procedură se selectează liniile transversale de la marginile tablierului și din secțiunile de prindere a hobanelor de tablier – vezi Figura 40. și se atribuie setul de date **Grinzi 2 pe linie**. În caseta de dialog se alege **Local Coordinates 2** ca sistem local de axe. Cu liniile transversale selectate se generează un nou grup cu numele **Grinzi Transversale**, care poate fi făcut invizibil.

În continuare se selectează partea inferioară a pilonului căreia i se atribuie setul de date **Grinzi 2 pe linie**, urmată de selectarea părții superioare a pilonului căreia i se atribuie setul de date **Grinzi 4 pe linie**. Întrucât secțiunea pilonului este circulară, în caseta de dialog prin care se definește orientarea sistemul de axe local, se admite orientarea oferită automat de program – **by default**.

Cu cele două părți ale pilonului selectate se generează un nou grup de elemente intitulat **Pilon** – vezi Figura 41., apoi acestea pot fi făcute invizibile.

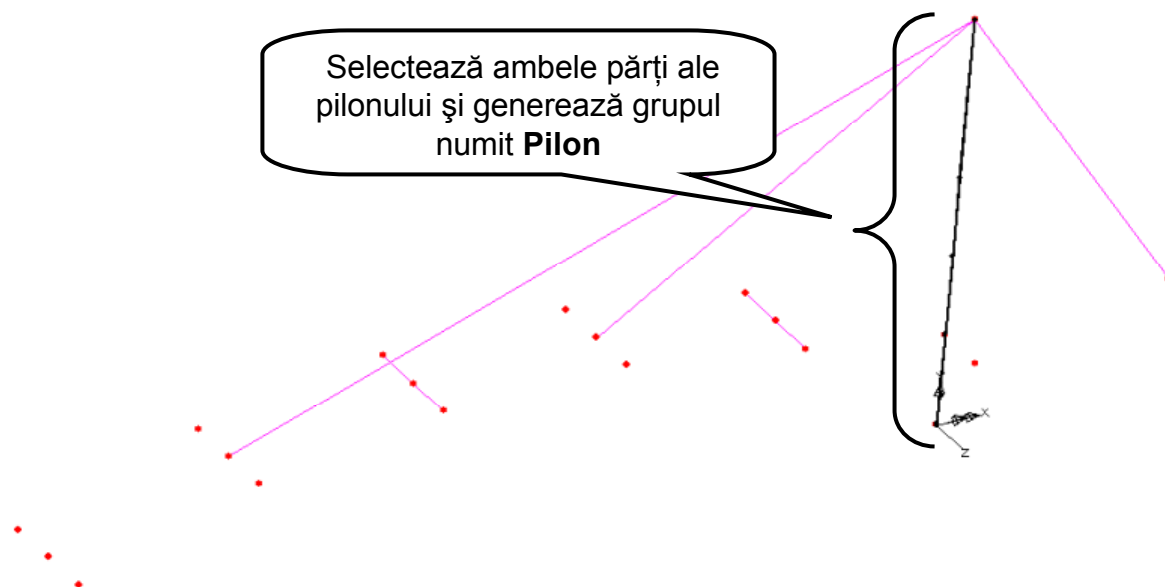


Figura 41.

Pentru atribuirea elementelor finite de tip **Bar** hobanelor podului, acestea se selectează cu butonul din stânga al mouse-ului și Shift. Din fereastra **Tree view** se selectează setul de date **Hobane** și se trage cu mouse-ul în fereastra unde este modelul geometric. La eliberarea mouse-ului peste modelul geometric se afișează rețeaua cu elemente finite prezentată în Figura 42. Cu cele trei hobane selectate se generează un nou grup de elemente intitulat **Hobane**.

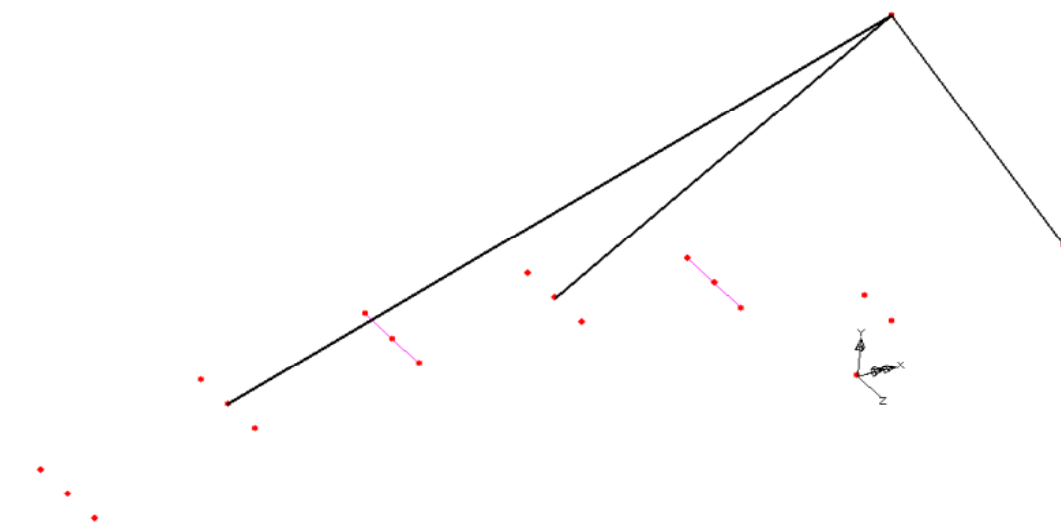


Figura 42.

Modelul discret cu elemente finite poate fi în totalitate vizibil selectând din fereastra **Tree view** opțiunea **Groups**, urmată de click cu butonul din dreapta al mouse-ului și activând comanda **Visible** – vezi Figura 43.

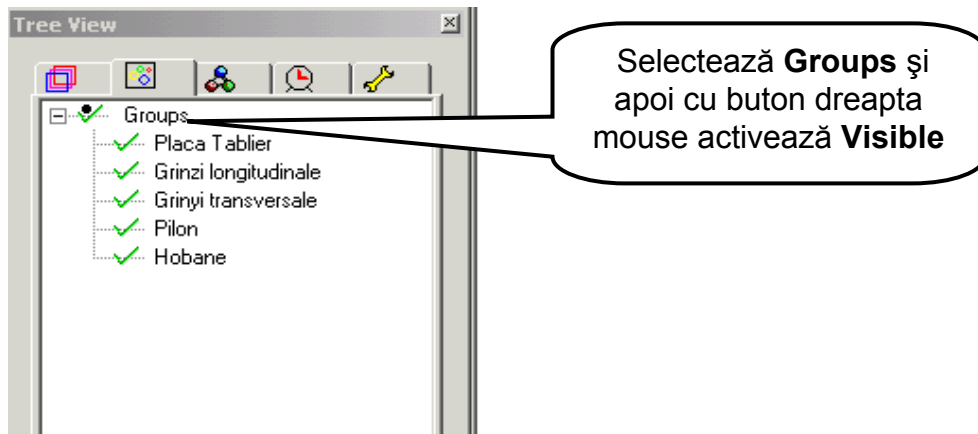


Figura 43.

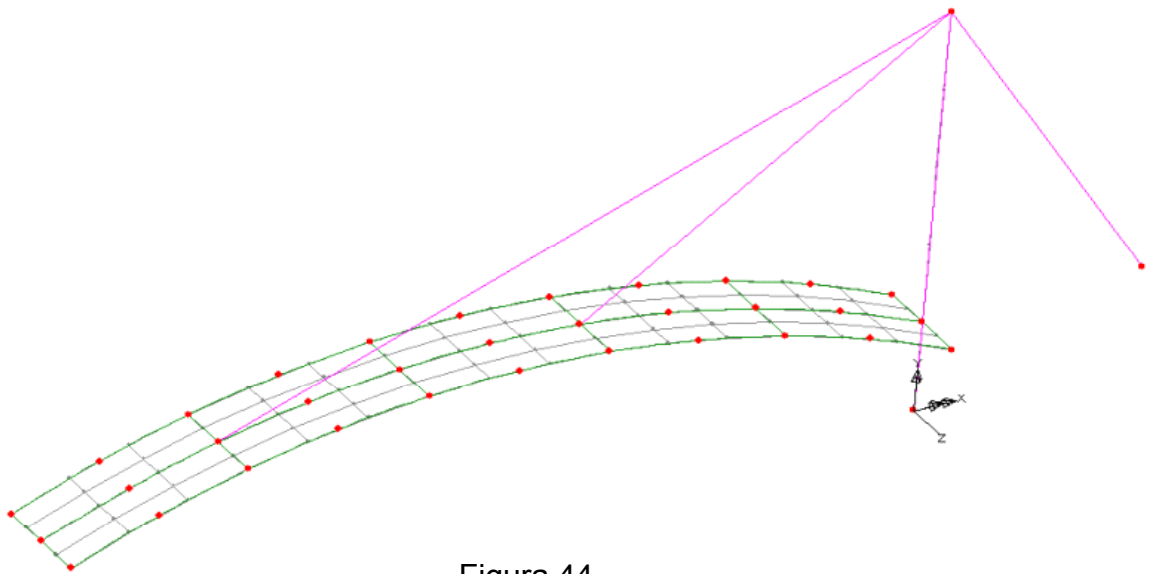


Figura 44.

1.2.3. Caracteristici geometrice ale modelului cu elemente finite

Simplificările de natură geometrică admise la modelarea unor elemente structurale de tipul plăci, bare sau grinzi necesită definirea unor caracteristici geometrice precum: grosimi în cazul plăcilor sau arii și momente de inerție în cazul grinzilor.

O dată definite aceste caracteristici geometrice, ele vor fi atribuite elementelor corespunzătoare din modelul geometric: linii în cazul grinzilor sau barelor și suprafețelor în cazul plăcilor.

A) Definirea caracteristicilor geometrice

Pentru definirea grosimii plăcii tablierului se parcurg următorii pași:

- se deschide meniul **Attributes**;
- se alege opțiunea **Geometric, Surface...**;
- în caseta de dialog se definește grosimea plăcii **0.15** – vezi Figura 45.;
- pentru identificarea caracteristicilor geometrice definite, setului de date i se va atribui un nume (**Grosime placa**);
- click **Ok** ✓.

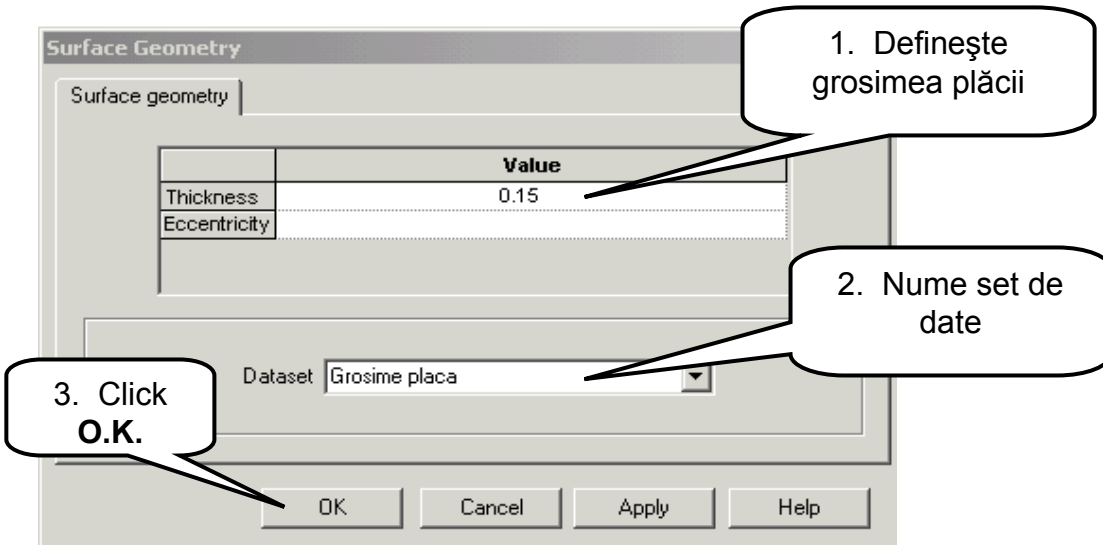


Figura 45.

Setul de date definit va fi afișat în fereastra **Tree view** la secțiunea **Geometric** și **Surface** – vezi Figura 46.

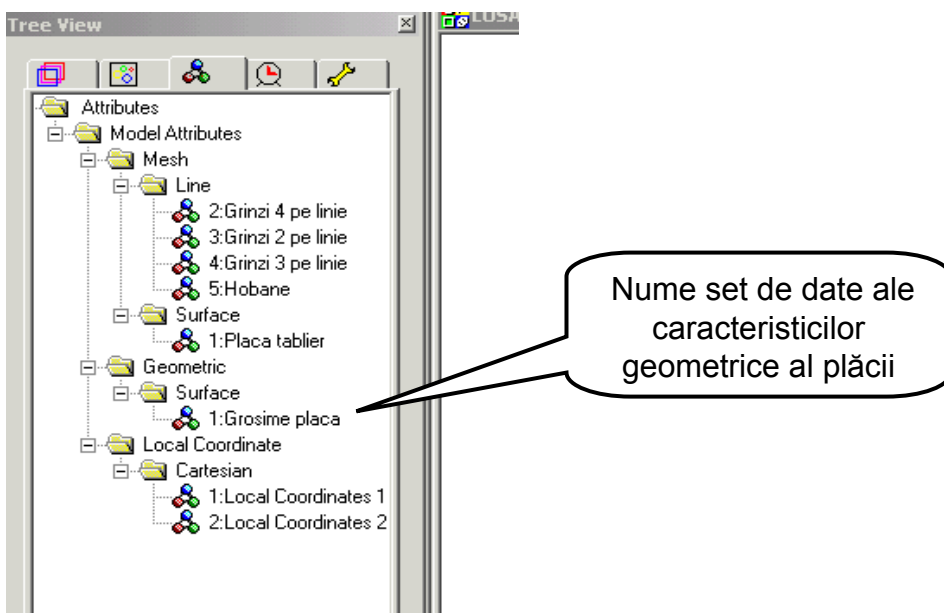


Figura 46.

Caracteristicile geometrice ale secțiunii transversale ale grinzilor de rigidizare sunt cele corespunzătoare profilului laminat I26: $A=53.4 \text{ cm}^2$, $I_y=288 \text{ cm}^4$, $I_z=5740 \text{ cm}^4$ și $J=30.4 \text{ cm}^4$. Aceste caracteristici vor fi definite parcurgând următorii pași:

- se deschide meniul **Attributes**;
- se alege opțiunea **Geometric, Line...**;
- în caseta de dialog se selectează **Thick Beam** (tipul grinzii utilizat în model);
- se completează caseta de dialog cu datele referitoare la caracteristicile secțiunii grinzii ținând seama de orientarea sistemului de axel local (axa locală **oy** în sus) și de unitățile de măsură utilizate în model (metri) – vezi Figura 47. Pentru a neglija influența deformațiilor de lunecare asupra încovoierii grinzii se vor introduce valori mari ale Ariei efective aferente forfecării $A_{sz}=A_{sy}=100$. ;
- pentru identificarea caracteristicilor geometrice definite, setului de date i se va atribui un nume (**Grinzi rigidizare**);
- click **Ok** ✓.

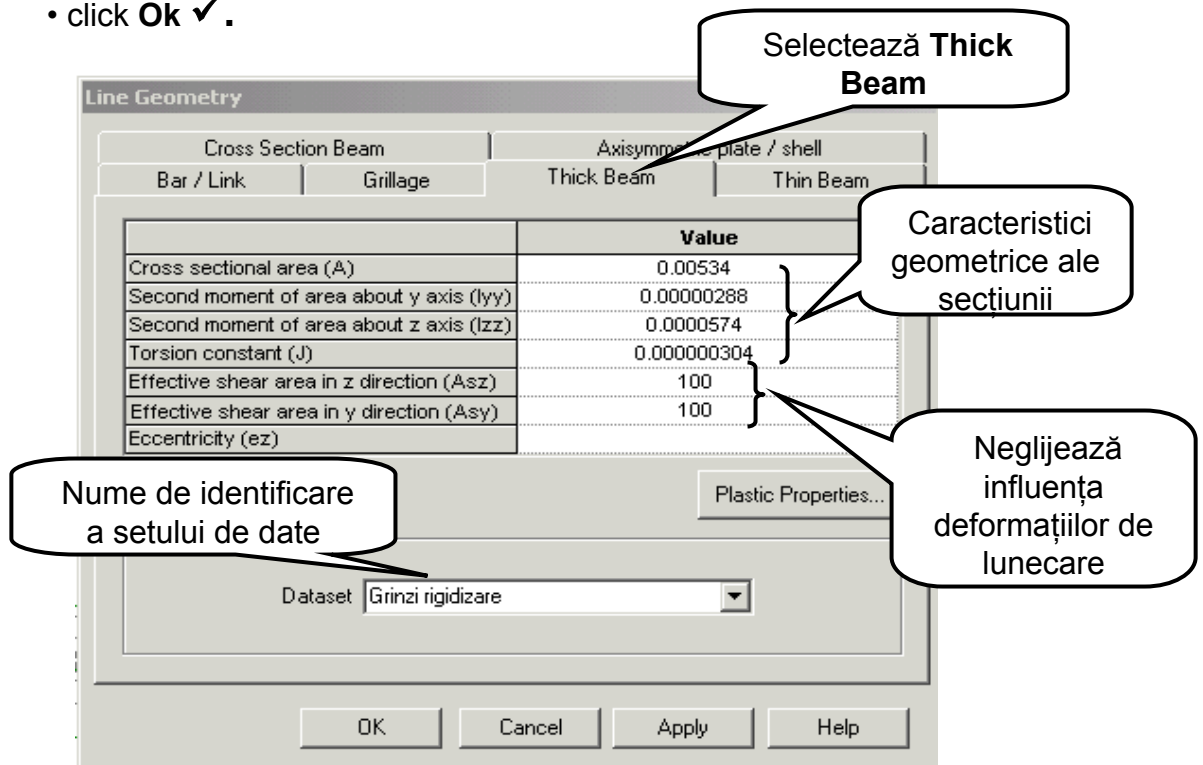


Figura 47.

Setul de date definit va fi afișat în fereastra **Tree view** la secțiunea **Geometric și Beam**.

Pentru a defini caracteristicile geometrice ale secțiunilor pilonului și hobanelor, a căror formă poate fi considerată ca standard, se va apela la opțiunea de calcul a acestora direct selectând din meniul bară **Utilities** urmată de **Section Property Calculator** și **Standard Section...** Această ultimă opțiune va deschide o fereastră care permite să se aleagă tipul secțiunii – vezi Figura 48.

Click cu butonul stânga al mouse-ului pe secțiunea tubulară și se va deschide o casetă de dialog care permite introducerea elementelor geometrice ce permit calculul caracteristicilor geometrice ale secțiunii – Vezi Figura 49.

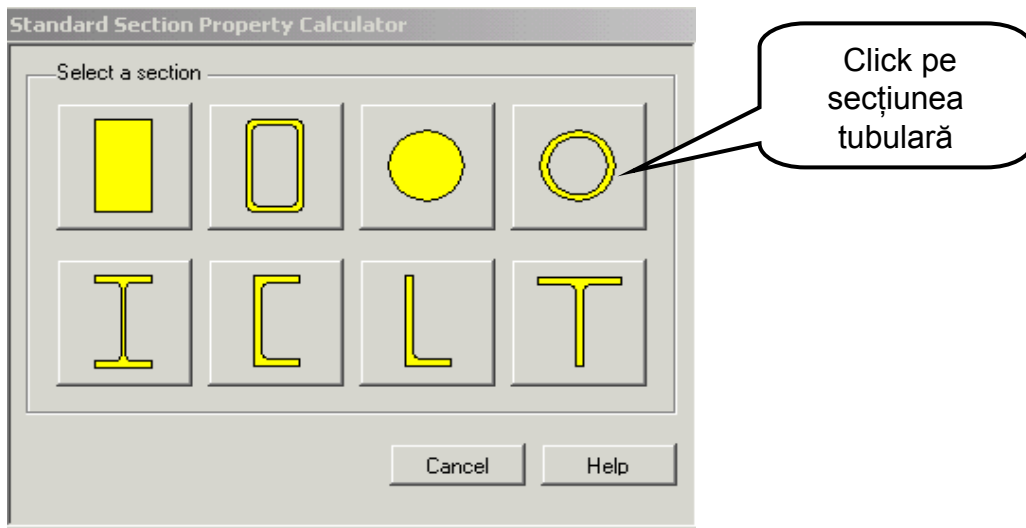


Figura 48.

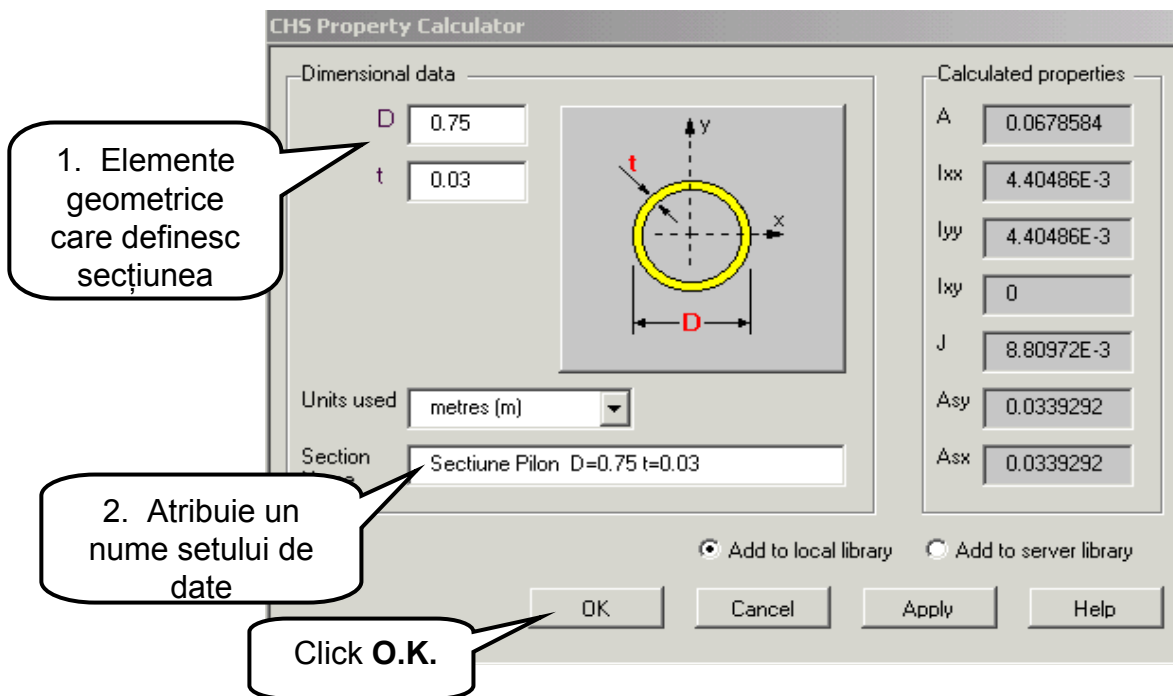


Figura 49.

Setul de date va fi automat salvat într-o bibliotecă locală a programului de unde va putea fi mai târziu utilizat în orice aplicație. Pentru a utiliza în această aplicație setul de date **Sectiune Pilon** se parcurg următorii pași:

- se deschide meniul **Attributes**;
- se alege opțiunea **Geometric** și apoi **Section Library...**;
- în caseta de dialog se selectează la **Library** opțiunea **User Sections**, iar la **Names** se alege **Sectiune Pilon** – vezi Figura 50.;

- la opțiunea **Usage** se selectează **3D Frame** întrucât pilonul face parte dintr-o structură în spațiu ;
- se bifează **Exclude Shear Deformations** pentru a specifică faptul că se neglijează deformațiile de lunecare;
- Click **O.K.** pentru a aduce setul de date **Secțiune Pilon** în fereastra **Tree view** – vezi Figura 51.

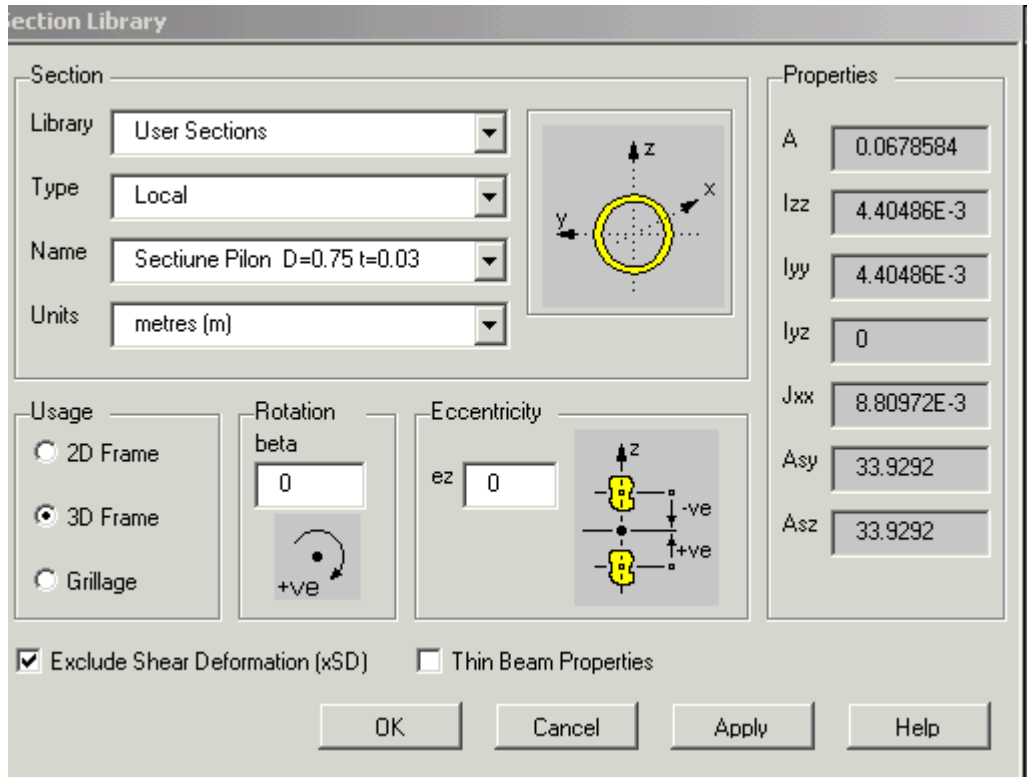


Figura 50.

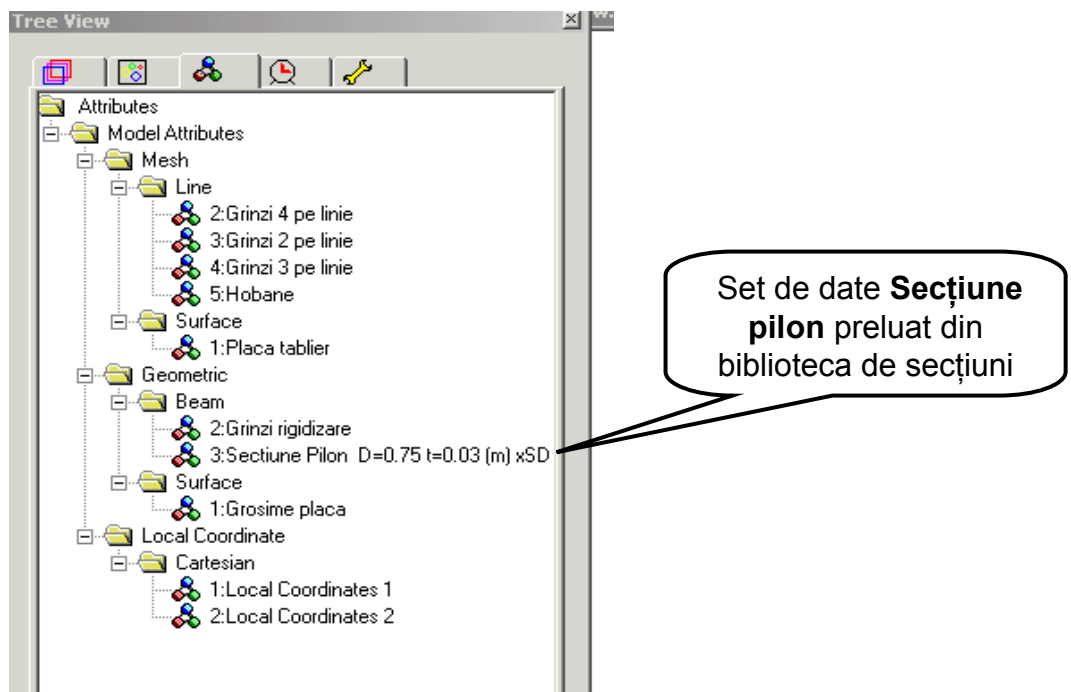


Figura 51.

Hobanele podului sunt discretizate cu elemente tip **Bar** (bară dublu articulată) la care singura caracteristică geometrică care interesează este aria secțiunii transversale. Pentru o secțiune circulară plină cu diametrul de 0,08 m aria secțiunii are valoarea $A = 0,005026 \text{ m}^2$. Această valoare va fi furnizată selectând din meniul bară **Attributes** urmată de opțiunea **Geometric** și apoi de **Line...**

Ca urmare se va deschide fereastra de dialog din Figura 52. În care se selectează tipul de element pentru care se definește caracteristica secțiunii – **Bar/Link**.

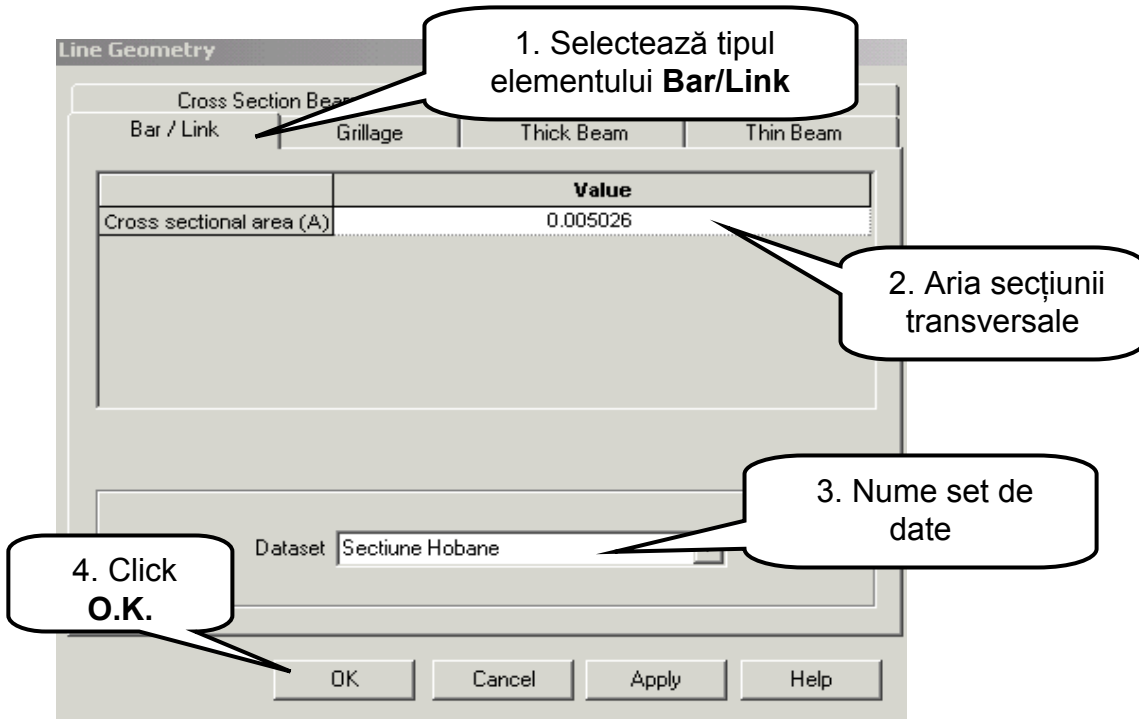


Figura 52.

Setul de date **Sectiune Hobane** va fi salvat în fereastra **Tree view** – vezi Figura 53.

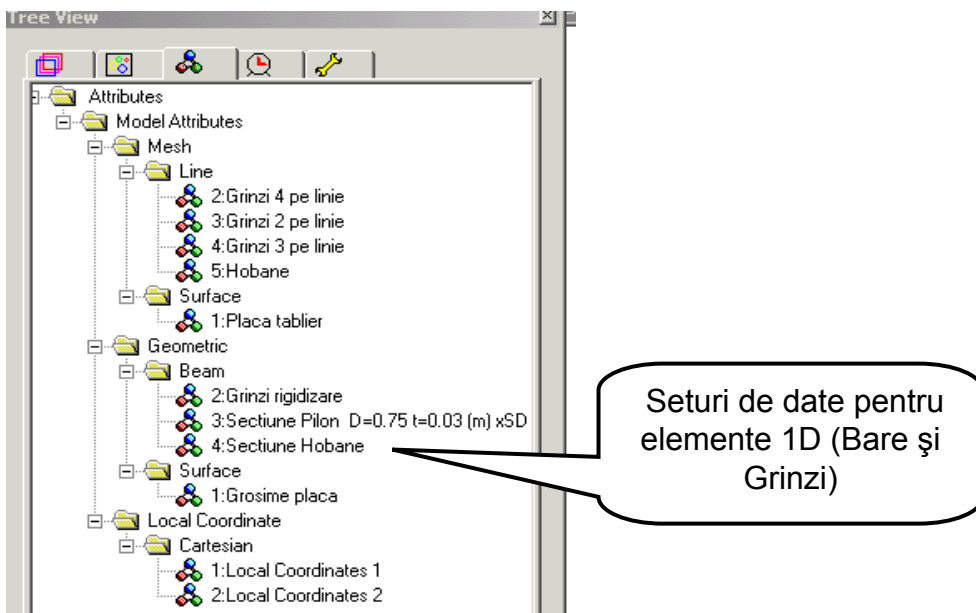



Figura 53.

B) Atribuirea caracteristicilor geometrice

Atribuirea seturilor de date cu caracteristici geometrice fiecărui element specific din modelul geometric se realizează parcurgând următorii pași standard:

- în fereastra de lucru se selectează liniile sau suprafețele cărora urmează să li se atribue un anumit set de date cu caracteristici geometrice. Selectarea elementelor geometrice se poate face utilizând opțiunile oferite de comanda **Group**.
- în fereastra fereastra **Treeview** se deschide meniul cu attribute ale modelului și cu butonul din stânga al mouse-ului se selectează setul de date care urmează a fi atribuit.;
- se ține apăsat butonul mouse-ului și se trage în zona selectată;
- se eliberează butonul mouse-ului;
- în fereastra de jos a ecranului se afișază informații asupra elementelor geometrice cărora li s-a atribuit setul de date selectat:

Pentru a atribui setul de date numit **Grosime placa** tuturor suprafețelor tablierului se va activa din fereastra **Tree view** opțiunea **Group** prin click cu butonul din stânga al mouse-ului pe icoana . Se selectează grupul **Placa Tablier** și apoi prin click cu butonul din dreapta al mouse-ului se deschide un meniu din care se alege opțiunea **Select Members**. La închiderea meniului se poate observa că toate suprafețele tablierului au fost selectate – vezi Figura 54.

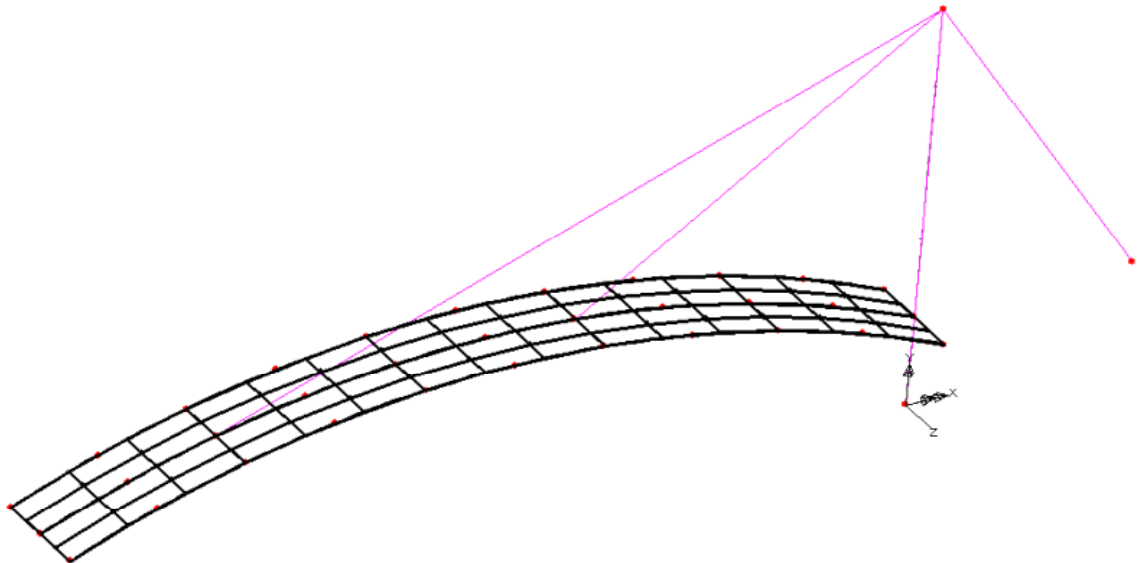


Figura 54.

Pentru a atribui setul de date **Grosime placa** elementelor selectate, în meniul **Tree view** se activează meniul care conține attributele modelului prin click pe icoana .

Cu butonul din stânga al mouse-ului se selectează setul de date **Grosime placa** și se trage în zona elementelor selectate. La eliberarea butonului mouse-ului setul de date va fi atribuit elementelor selectate.

Procedând într-o manieră similară se va atribui setul de date geometrice **Grinzi rigidizare** la liniile care reprezintă axele grinzilor de rigidizare a plăcii tablierului.

În fereastra **Tree view** se selectează meniul **Groups** și în cadrul acestuia se alege grupul **Grinzi longitudinale**. Cu butonul din dreapta al mouse-ului se deschide meniul de opțiuni din care se alege opțiunea **Select Members**. La închiderea meniului se observă în fereastra de lucru că elementele grupului sunt selectate, vezi Figura 55.

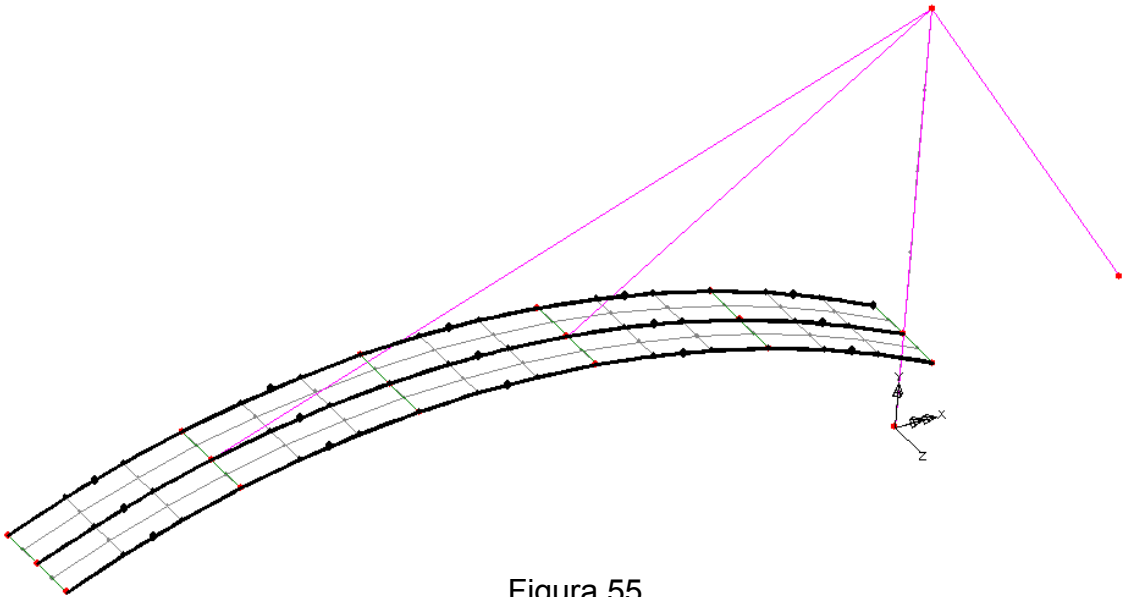


Figura 55.

În continuare din fereastra **Tree view** se selectează meniul cu atributele modelului din care se alege setul de date geometrice **Grinzi rigidizare** care se atribuie elementelor selectate.

Urmând aceeași procedură se selectează grupul **Grinzi transversale** cărui i se atribuie setul de date geometrice **Grinzi rigidizare**.

Verificarea atribuirii corecte a seturilor de date geometrice la elementele modelului geometric se poate realiza prin activarea meniului cu atribute ale modelului din fereastra **Tree view**, urmată de selectarea cu butonul din dreapta a mouse-ului a numelui setului de date dorit. Se deschide un meniu de opțiuni din care se alege opțiunea **Select Assignments**, care are ca efect selectarea în fereastra de lucru a acelor elemente geometrice care au atribuite setul de date ales.

Parcurgând pașii prezentați mai sus, alegând pentru verificare modul de atribuirea a setului de date cu caracteristici geometrice **Grinzi rigidizare**, se poate observa că sunt selectate toate liniile la care acest set de date a fost atribuit – vezi Figura 56.

În continuare, prin parcurgerea pașilor menționați mai sus se atribuie setul de date **Sectiune Pilon** grupului de elemente numit **Pilon** și setul de date **Sectiune Hobane** grupului de elemente numit **Hobane**.

Verificarea atribuirii corecte a acestor seturi de date se poate realiza grafic pe ecran prin parcurgerea aceluiași pași utilizați la verificarea atribuirii setului de date **Grinzi rigidizare**.

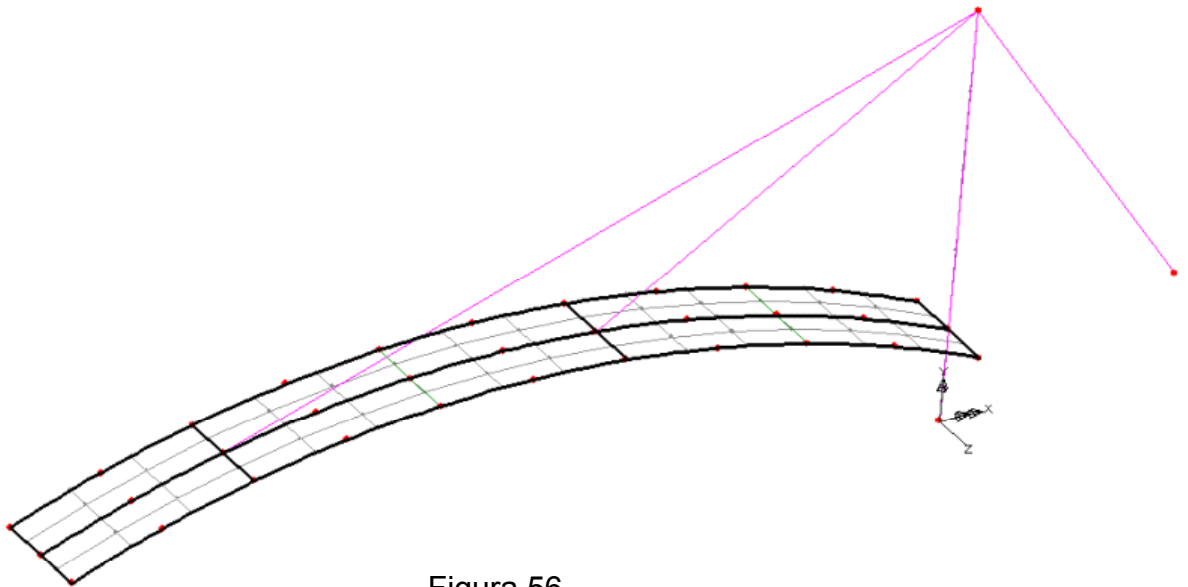


Figura 56.

1.2.4. Caracteristici fizico-mecanice ale materialului

Caracterizarea comportării materialelor din care sunt confecționate diferite elemente structurale, necesită definirea unor seturi de date care cuprind caracteristici fizico - mecanice ale acestora. În cadrul acestei analize cele două materiale: betonul armat și oțelul vor fi considerate cu caracteristici elastice și izotrope.

O dată definite aceste seturi de date, ele vor fi atribuite elementelor corespunzătoare din modelul geometric: linii în cazul grinzilor sau barelor și suprafețelor în cazul plăcilor.

A) Definirea caracteristicilor elastice ale materialului

La definirea caracteristicilor materialelor se va apela la biblioteca cu caracteristici ale materialelor de care dispune programul:

- se deschide meniul **Attributes**;
- se alege opțiunea **Material** și apoi **Material Library...**;
- în caseta de dialog se selectează ca material **Concrete** (Beton) și ca urmare în caseta **Properties** se afișează automat caracteristicile fizico – mecanice ale materialului – vezi Figura 57.;
- click **Ok** ✓ .

Setul de date definit va fi afișat în fereastra **Tree view**, în meniul de atribute sub numele **Concrete Ungraded** (N,m,kg,C). Numele setului de date poate fi schimbat urmând o procedură standard pentru programele de tip Windows. Se selectează cu butonul din dreapta al mouse-ului numele setului de date **Concrete Ungraded**. Se deschide un meniu de opțiuni din care se alege **Rename**, care permite scrierea prin suprapunere a numelui dorit, **Beton** – vezi Figura 58.

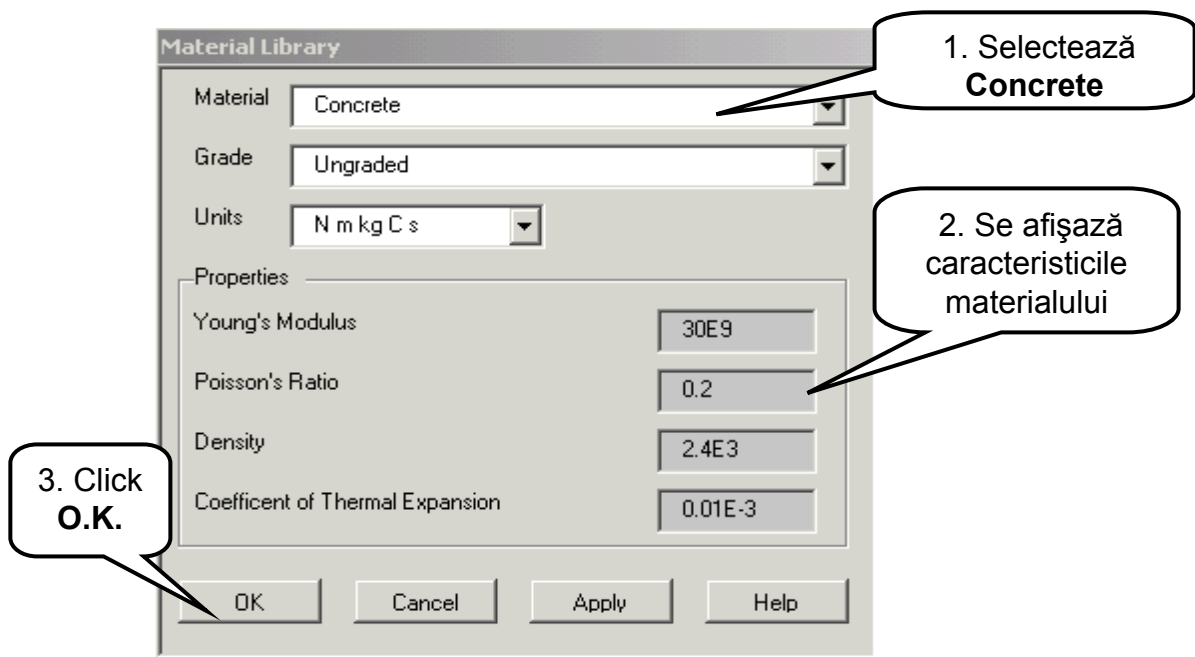


Figura 57.

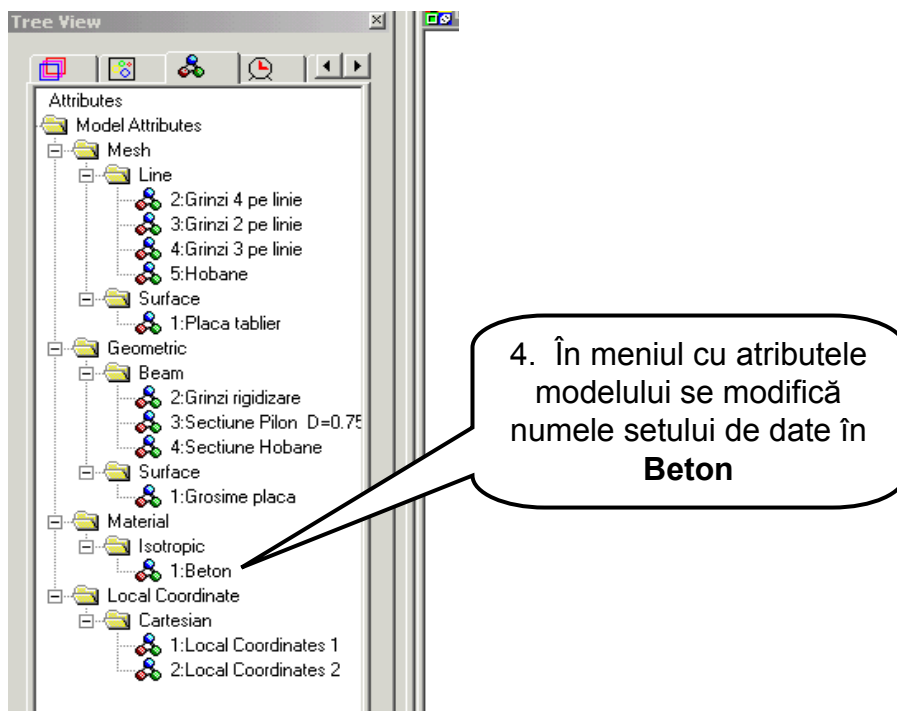


Figura 58.

Pentru definirea caracteristicilor fizico – mecanice ale Oțelului se parcurg aceiași pași ca la definirea materialului Beton, selectând în caseta de dialog ce urmează după **Material Library...** ca material **Mild Steel** – vezi Figura 59.

După salvarea setului de date în meniul cu atribute din fereastra **Tree view** se poate schimba numele acestuia în **Otel**.

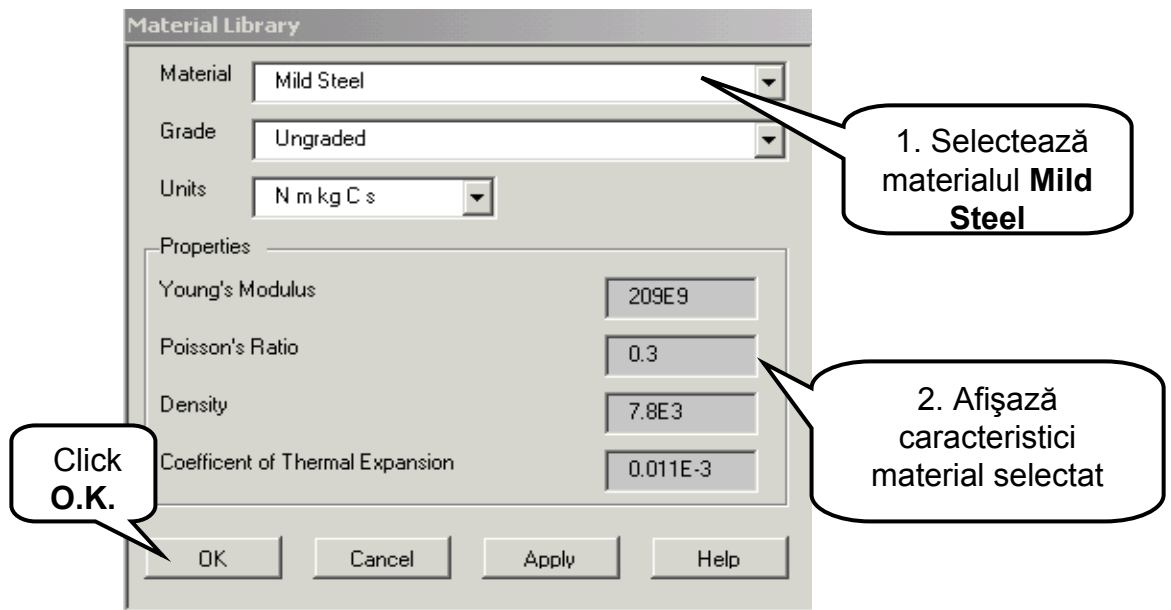


Figura 59.

B) Atribuirea caracteristicilor de material modelului geometric

Atribuirea seturilor de date cu caracteristici ale materialelor fiecărui element specific din modelul geometric se realizează parcurgând următorii pași standard:

- în fereastra de lucru se selectează liniile sau suprafețele cărora urmează să li se atribuie un anumit set de date cu caracteristici de material. Selectarea elementelor geometrice se poate face utilizând opțiunile oferite de comanda **Group**;
- în fereastra fereastra **Treeview**, se deschide meniul de atribute și din acesta, cu butonul din stânga al mouse-ului se selectează setul de date care urmează a fi atribuit;
- se ține apăsat butonul mouse-ului și se trage în zona selectată;
- se eliberează butonul mouse-ului;
- în fereastra de jos a ecranului se afișază informații asupra elementelor geometrice cărora li s-a atribuit setul de date selectat.

De exemplu pentru a se atribui setul de date **Beton** plăcii tablierului, în prima etapă se selectează suprafețele care alcătuiesc placa tablierului apelând la meniul **Group** din fereastra **Tree view**. În etapa a doua din meniul cu atribute ale modelului se selectează setul de date **Beton** care se trage cu butonul din stânga al mouse-ului în fereastra de lucru. La eliberarea butonului mouse-ului se deschide o casetă de dialog care permite alegerea tipului de elemente (linii sau suprafețe) cărora urmează să li se atribuie setul de date – vezi Figura 60.

Cu opțiunea **Assign to surfaces** bifată se apasă butonul **O.K.** care va atribui suprafețelor selectate caracteristicile materialului **Beton**.

Proceduând similar se atribuie tuturor celorlalte elemente de tip grindă sau bare caracteristicile materialului **Otel**.

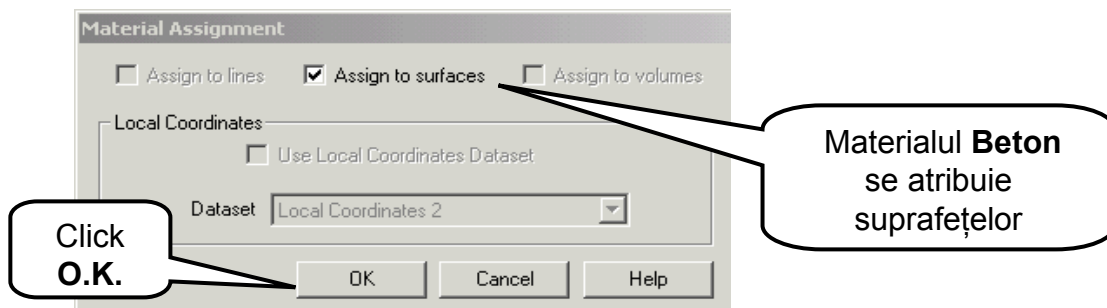


Figura 60.

Parcurgând pașii prezentați la verificarea atribuirii corecte a caracteristicilor geometrice și alegând pentru verificare modul de atribuire a setului de date cu caracteristici ale materialului **Otel**, se poate ușor observa că rezultă selectate toate liniile la care acest set de date a fost atribuit – vezi Figura 61

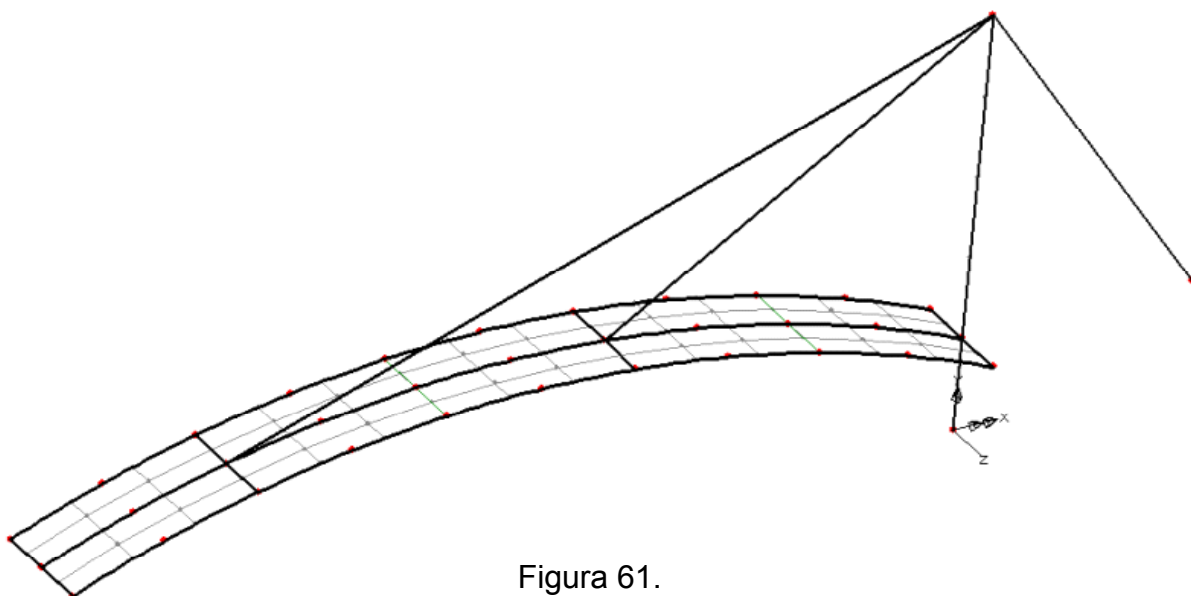


Figura 61.

1.2.5. Condiții de rezemare

Condițiile de rezemare ale structurii se referă la deplasările împiedicate ale punctelor de rezemare, cu componente exprimate în sistemul global de axe.

În cazul structurilor spațiale nodurile modelului discret dispun de câte trei grade de libertate translații în raport cu axele **OX**, **OY** și **OZ** și respectiv trei rotații în raport cu a aceleași axe. Structura analizată are trei puncte de rezemare: nodul de rezemare al pilonului prin un reazem încastat, nodul de ancorare al hobanelor prin un reazem articulat și punctele de rezemare ale tablierului prin un reazem simplu pe direcție verticală. Condițiile de rezemare vor prevedea deplasări de tip translații și rotații egale cu zero pe direcțiile gradelor de libertate blocate.

A) Definirea condițiilor de rezemare

Condițiile de rezemare se definesc parcurgând următoarele etape:

- se deschide meniul **Attributes**;
- se alege opțiunea **Support, Structural**;
- în caseta de dialog se definesc condițiile de rezemare prin selectarea gradelor de libertate blocate (**Fixed**);
- pentru identificarea caracteristicilor definite, setului de date i se va atribui un nume
- click **Ok** ✓.

În Figura 62. se prezintă caseta de dialog cu opțiunile selectate pentru definirea **Reazemului încastrat**

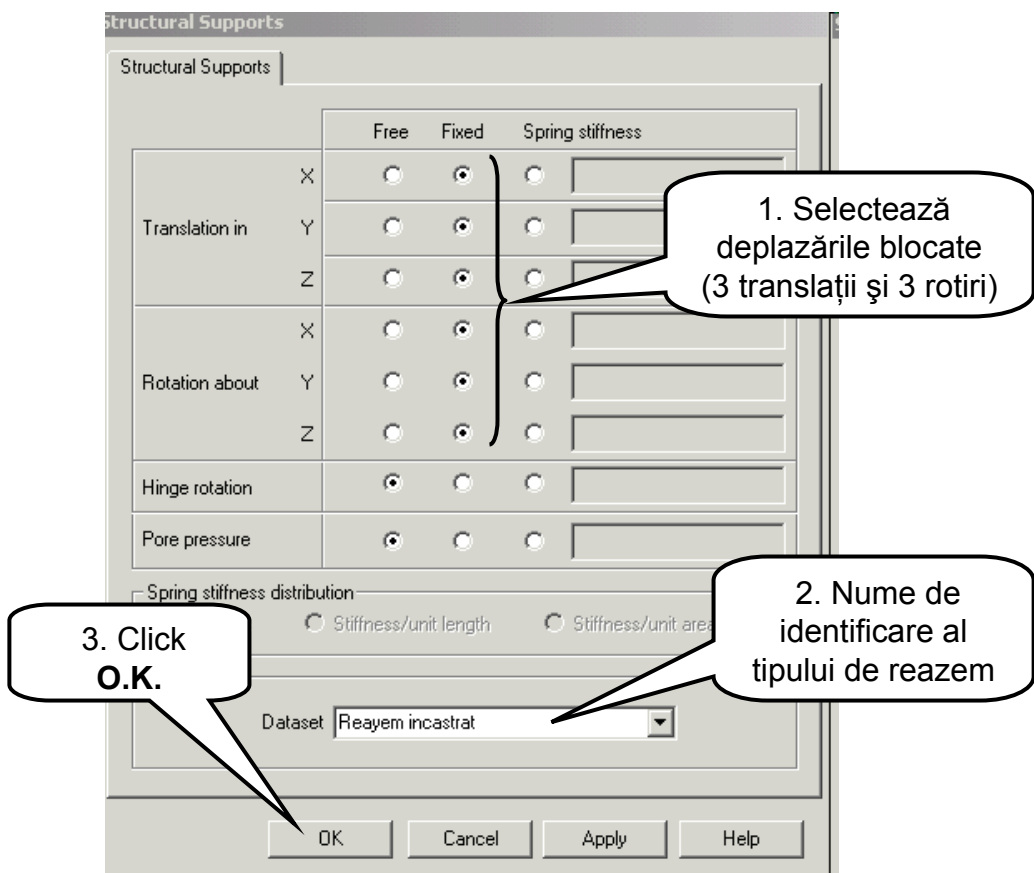


Figura 62.

Casetele de dialog utilizate la definirea gradelor de libertate blocate pentru **Reazemul articulată** și **Reazemul simplu** sunt prezentate în Figurile 63 și 64.

După salvarea celor trei tipuri de reazeme, acestea vor fi regăsite cu numele atribuit în meniul cu atributele modelului din fereastra **Tree view**.

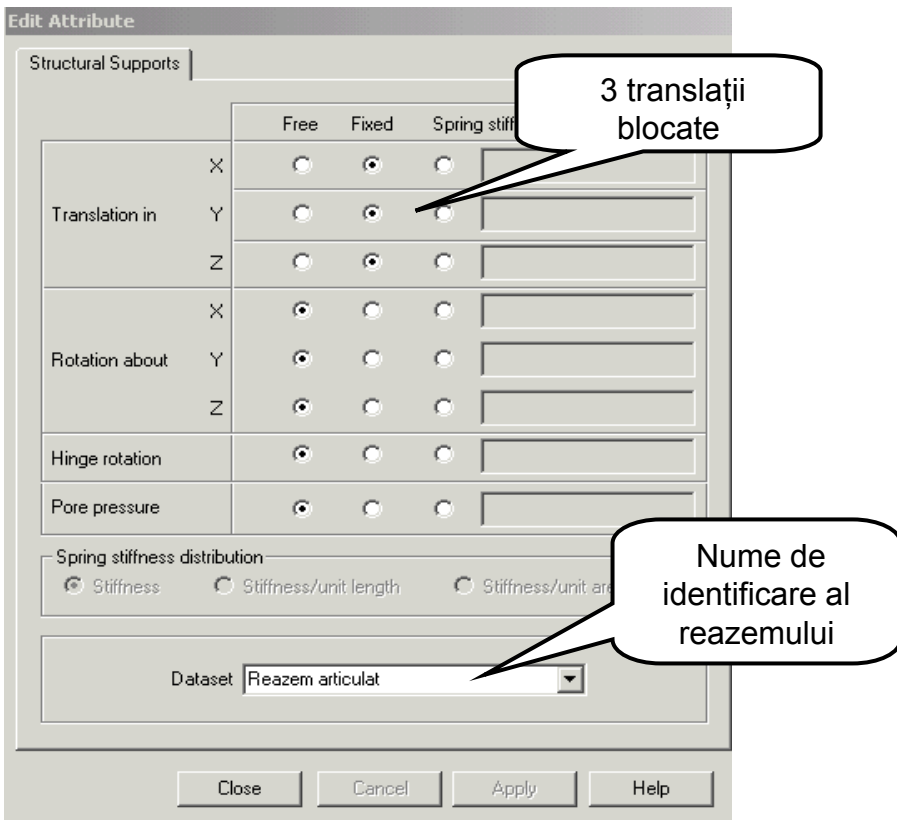


Figura 63.

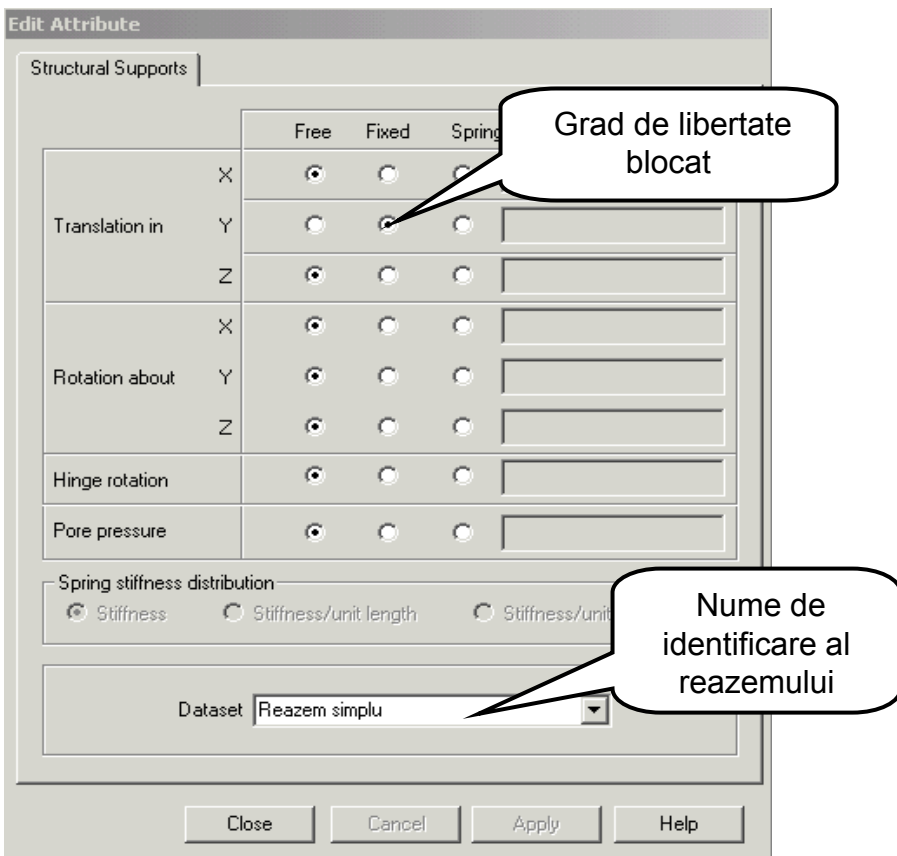


Figura 64.

B) Atribuirea condițiilor de rezemare modelului geometric

Atribuirea seturilor de date care definesc tipurile de rezeme la punctele de rezemare ale structurii, se face urmând etapele standard deja parcurse la atribuirea celorlalte caracteristici ale modelului.

- se selectează punctele sau liniile la care se vor atribui condițiile de rezemare;
- din fereastra **Tree view**, cu butonul din stânga al mouse-ului se selectează setul de date cu tipul de rezem ce va fi atribuit;
- se ține apăsat butonul mouse-ului, se trage în zona selectată a modelului;
- se eliberează butonul mouse-ului;
- în caseta de dialog care apare pe ecran vă asigurați că rezemarea este atribuită tipului de element selectat (punct sau linie);
- click **OK** și în fereastra de lucru se pot observa gradele de libertate fixate.

De exemplu, pentru a atribui setul de date **Rezem simplu** punctelor de rezemare ale tablierului, se vor selecta în fereastra de lucru liniile care reprezintă antretoaza de capăt. Cu butonul din stânga al mouse-ului se selectează din meniul cu atribute al ferestrei **Tree view** setul de date **Rezem simplu** și se trage în fereastra de lucru. La eliberarea butonului în fereastra de lucru sunt afișate prin săgeți gradele de libertate blocate – vezi Figura 65.

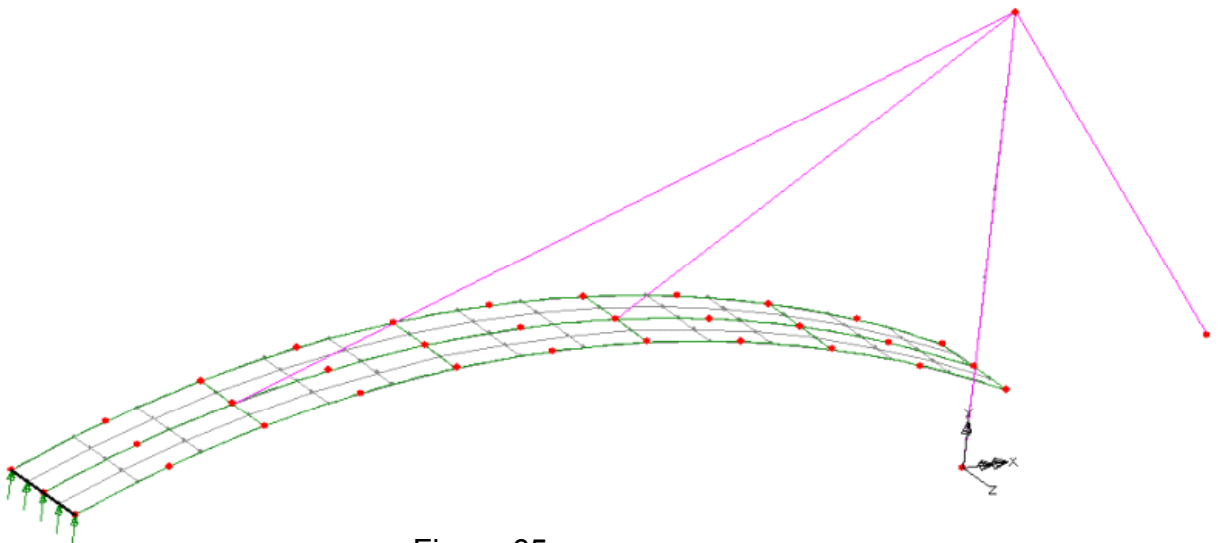


Figura 65.

Similar se vor atribui seturile de date **Rezem încastrat** și **Rezem articulată** la punctele de rezemare ale pilonului respectiv ale hobanei de capăt – vezi Figura 57.

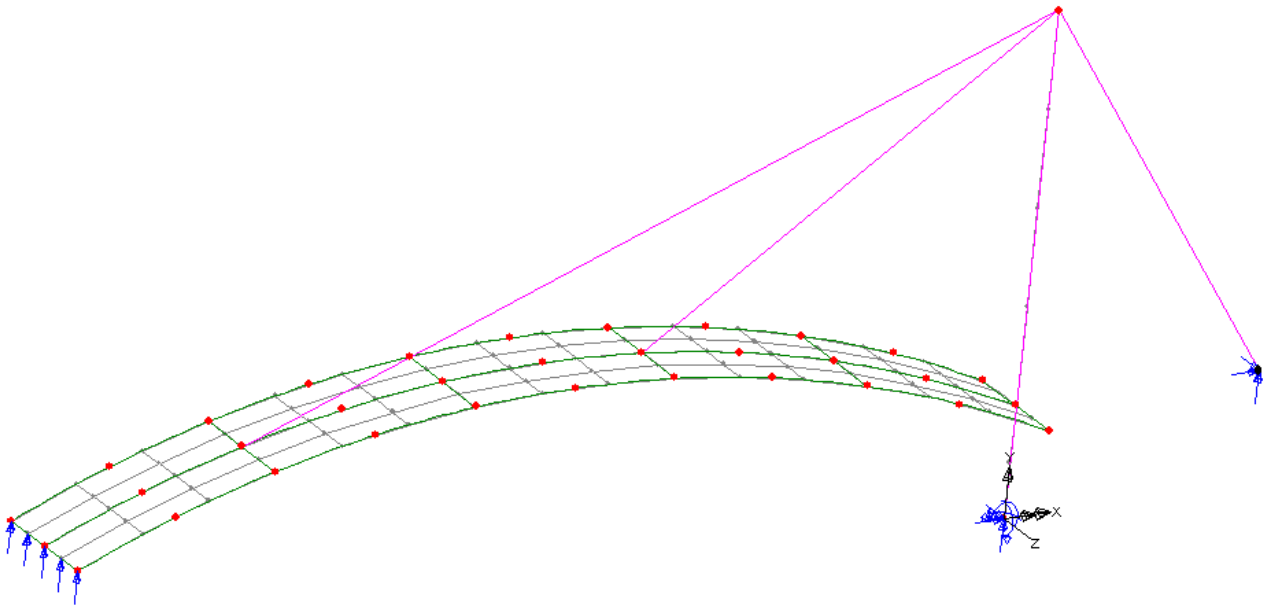


Figura 67.

1.2.6. Ipoteze de încărcare

Ipoteza 1 – Încărcare cu o forță uniform distribuită pe tablier

Forța distribuită are valoare de 5000 N/m^2 , direcție normală pe placa tablierului și sens de sus în jos. Ea va fi definită în raport cu sistemul local de axe al elementelor finite ale plăcii tablierului.

Pentru a verifica orientarea sistemului de axe al elementelor plăcii tablierului se va afișa în ecranul de lucru numai grupul numit **Placa Tablier** selectând cu butonul din dreapta numele grupului și apoi activând opțiunea **Set as Only Visible**.

Vizualizarea sistemului local de axe se realizează parcurgând următorii pași:

- click dublu pe opțiunea **Mesh** din fereastra din stânga, meniul **Layers** – Figura 68.;

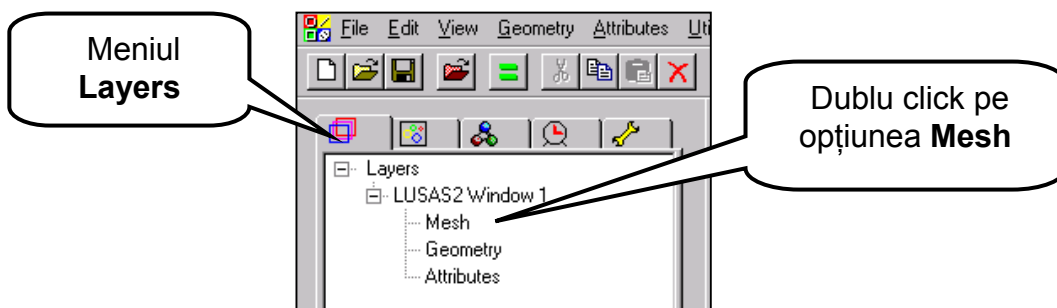


Figura 68.

- în caseta de dialog selectați opțiunea de afișare a sensului axelor elementelor finite (**Show element Axes**) - Figura 69.;

- click **Ok** ✓.

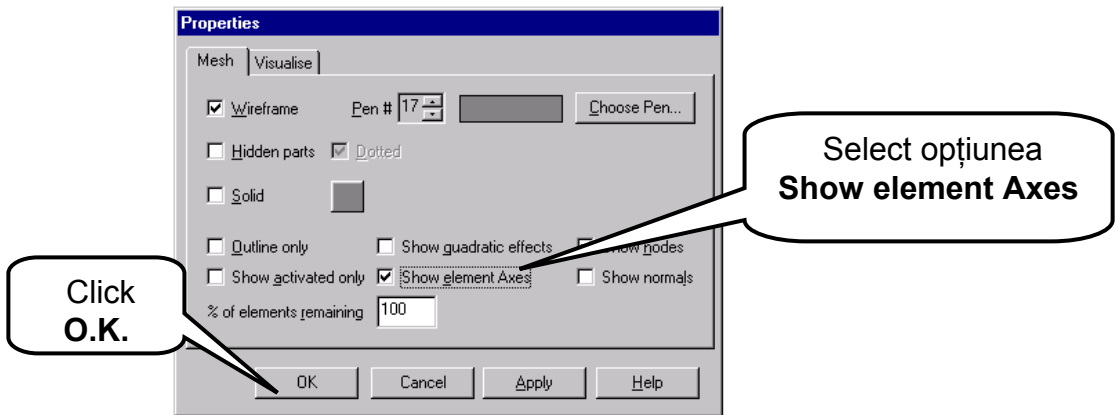


Figura 69.

- în ecranul de lucru vor fi afișate elementele tip **Shell** cu axele locale – Figura 70.;

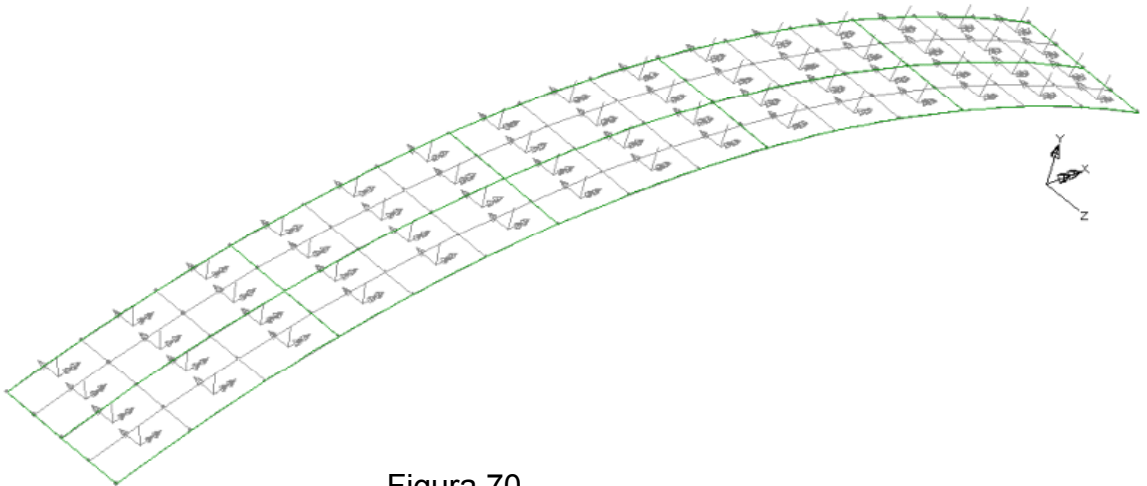


Figura 70.

- pentru fiecare element sistemul local de axe constă în axa **ox** (două săgeți) cu sensul în direcția longitudinală tablierului, axa **oy** (o săgeată) cu sensul în direcție transversală tablierului și axa **oz** (fără săgeată) cu direcție normală pe tablier.

Verificați că toate elementele finite au sistemul de axe local cu aceeași orientare ca cel din Figura 70.

- dezactivarea opțiunii de afișare a axelor locale se face prin click dublu în fereastra din stânga, meniul **Layers**, pe opțiunea **Mesh** – Figura 68.;
- în caseta de dialog de-selectați opțiunea de afișare a sensului axelor elementelor (**Show element Axes**) – Figura 69. ;
- click **Ok** ✓.

Redesenarea întregului model discret se realizează selectând din fereastra **Tree view** meniul **Groups** și cu butonul din dreapta a mouse-ului se selectează **Groups** iar din meniul care se deschide se alege opțiunea **Visible**.

A) Definirea încărcării distribuite

Forța distribuită va fi definită în raport cu sistemul de axe locale și are direcția axei **oz**. Se parcurg următorii pași:

- se deschide meniul **Attributes**, opțiunea **Loading** și apoi **Structural...**;
- în caseta de dialog se alege încărcarea de tip **Local Distributed** – Figura 71.;
- se completează intensitatea forței distribuite pe direcția axei **z** cu **- 5000**;

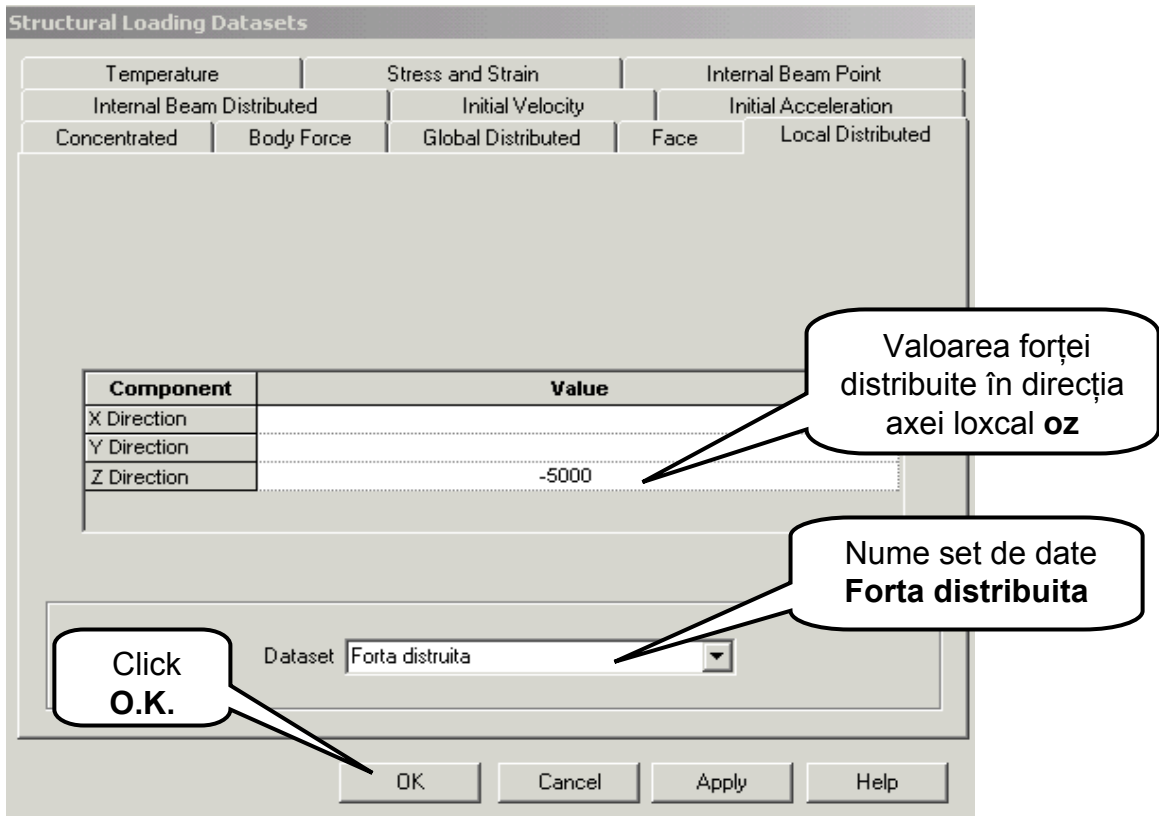


Figura 71.

- se atribuie numele **Forta distribuita** setului de date definit;
- click **Ok** ✓;
- în fereastra din stânga, meniul **Treewiew** va apare numele încărcării definite.

B) Atribuirea forței distribuite

Forța distribuită definită va fi atribuită plăcii tablierului în **Ipoteza 1** de încărcare prin parcurgerea următorilor pași:

- se selectează placa tablierului cu ajutorul meniului **Groups** din fereastra **Tree view**;
- în fereastra **Tree view** și meniul cu atribute ale modelului se selectează încărcarea **Forța distribuită**, apăsând butonul din stânga al mouse-ului;
- se ține apăsat butonul mouse-ului și se trage în zona selectată;
- se eliberează butonul mouse-ului;

- în caseta de dialog care apare pe ecran – Figura 72. vă asigurați că încărcarea este atribuită suprafețelor în cazul 1 de încărcare (**Load case 1**) și cu factorul 1 de multiplicare;

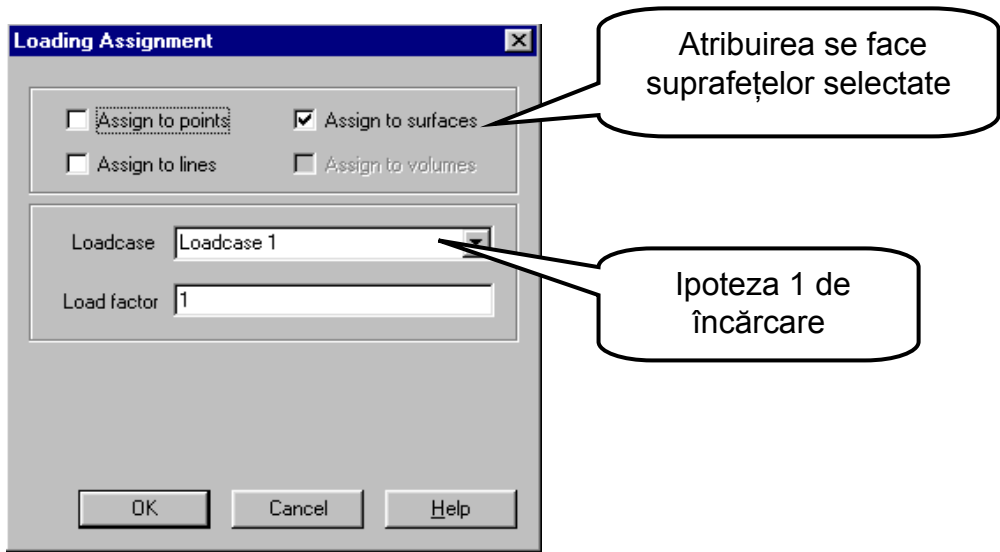


Figura 72.

- click **Ok** ✓;
- în ecranul de lucru este afișată structura cu încărcarea distribuită alocată în Ipoteza 1 de încărcare – vezi Figura 73.;
- din fereastra **Tree view** apăsând butonul din dreapta al mouse-ului pe **Loading**, alegeți opțiunea **Visualisations** ;
- în caseta de dialog care apare puteți selecta culoarea, mărimea și simbolul cu care să fie reprezentate pe ecran încărcările.

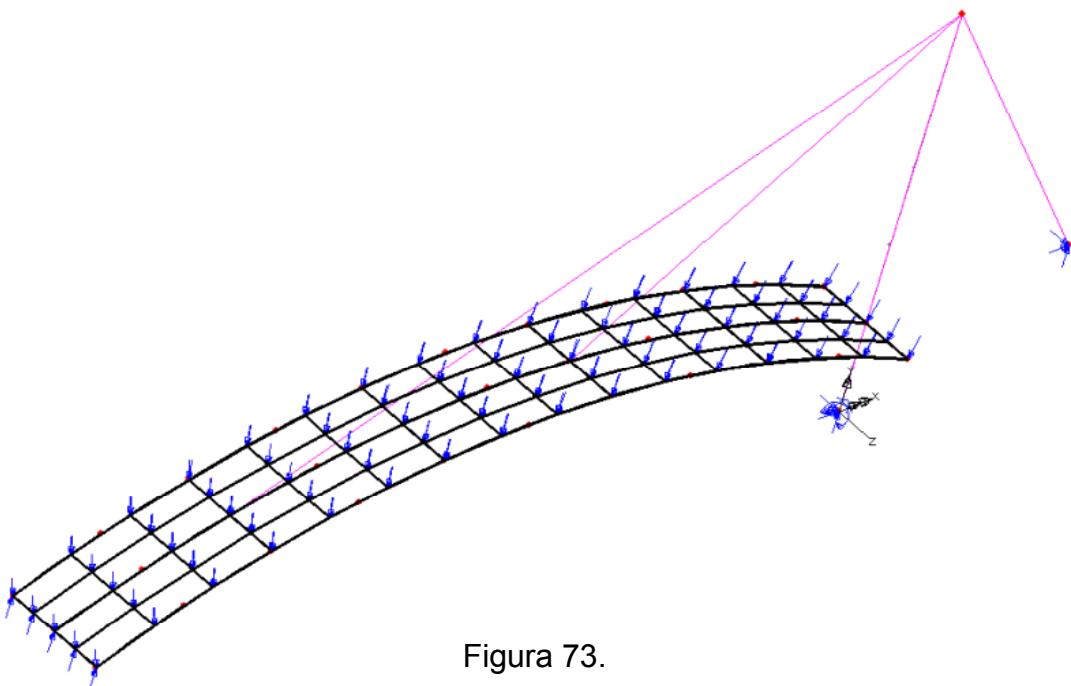


Figura 73.

Ipoteza 2 – Încărcare cu o diferență de temperatură între fețele plăcii tablierului

Temperatura diferită între fețele plăcii tablierului se manifestă prin două efecte:

- un efect în planul median al plăcii care constă într-o creștere a temperaturii inițiale cu 35 C ($t_0 = (20+50)/2$) și,
- un efect pe grosimea plăcii de 200C ($dT/dz = (50 - 20)/0.15$).

A) Definirea încărcării cu variație de temperatură

- se deschide meniul **Attributes**, opțiunea **Loading** și apoi **Structural...**
- în caseta de dialog se alege încărcarea de tip **Temperature** – Figura 74.
- se completează câmpurile casetei de dialog cu cele prezentate în Figura 74.

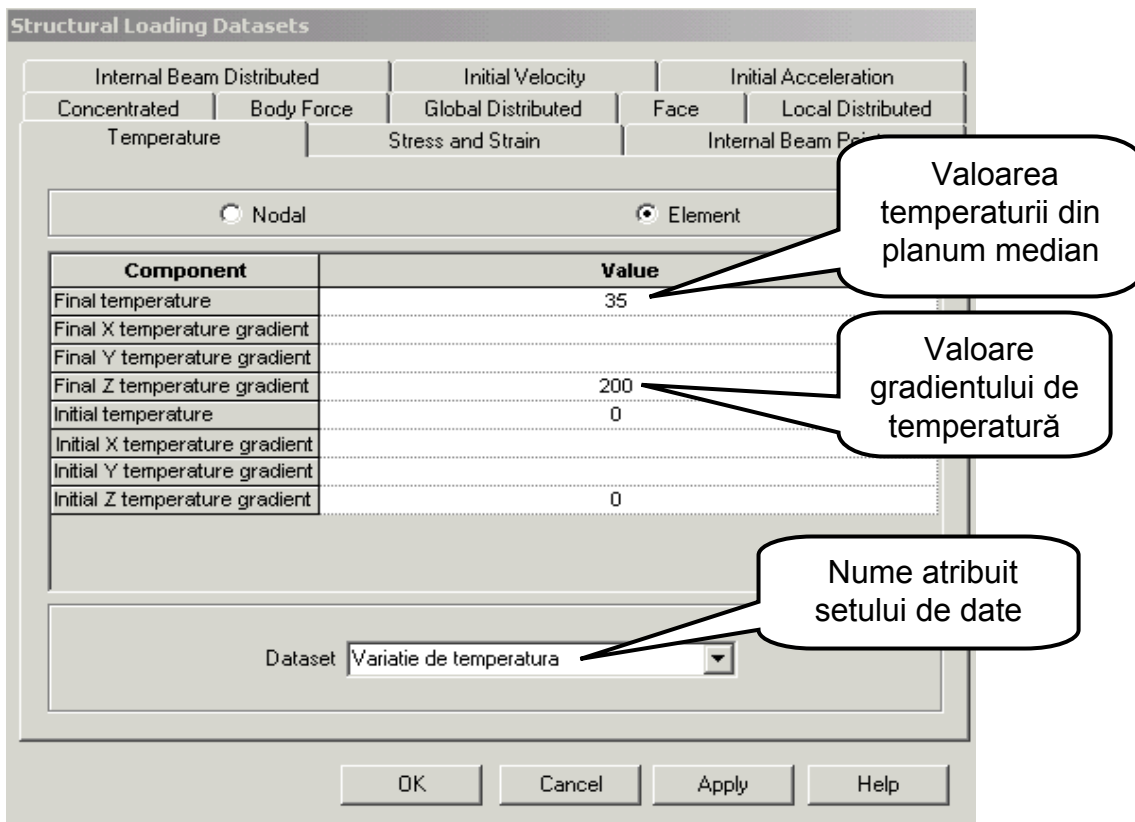


Figura 74.

- se atribuie numele **Variatie de temperatura** setului de date definit;
- click **Ok** ✓;
- în fereastra din stânga, meniul **Treeview** va apare numele încărcării definite.

B) Atribuirea variației de temperatură

Variația de temperatură definită mai sus va fi atribuită plăcii tablierului în **Ipoteza 2** de încărcare prin parcurgerea următorilor pași

- se selectează placa tablierului cu ajutorul meniului **Groups** din fereastra **Tree view**;

- în fereastra **Tree view** și meniul cu atribute ale modelului se selectează încărcarea **Variatie de temperatura**, apăsând butonul din stânga al mouse-ului;
- se ține apăsat butonul mouse-ului și se trage în zona selectată;
- se eliberează butonul mouse-ului;
- în caseta de dialog care apare pe ecran – Figura 75. vă asigurați că încărcarea este atribuită suprafețelor în cazul 2 de încărcare (**Load case 2**) și cu factorul **1** de multiplicare;

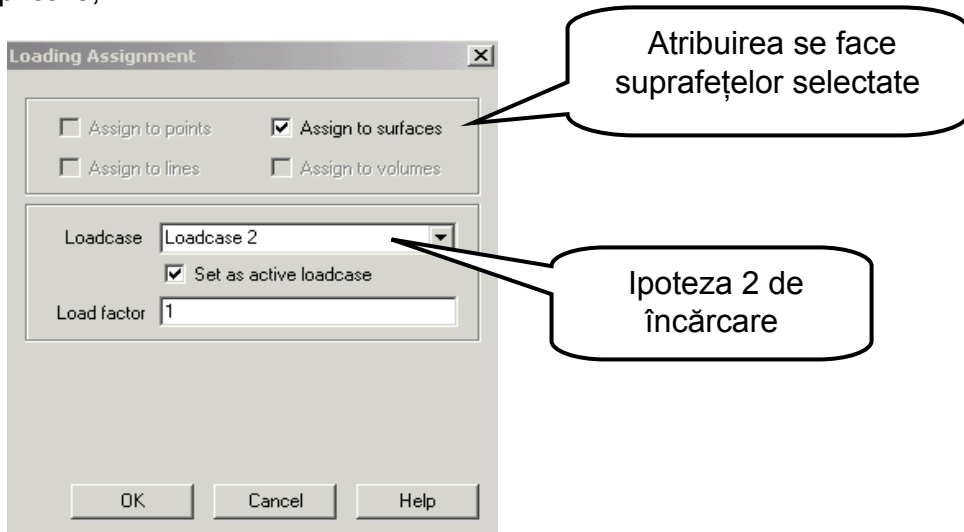


Figura 75.

- click **Ok** ✓;
- în ecranul de lucru este afișată structura cu încărcarea din variație de temperatură, reprezentată cu ceruțele la nodurile tablierului, alocată în Ipoteza 2 de încărcare – vezi Figura 76.

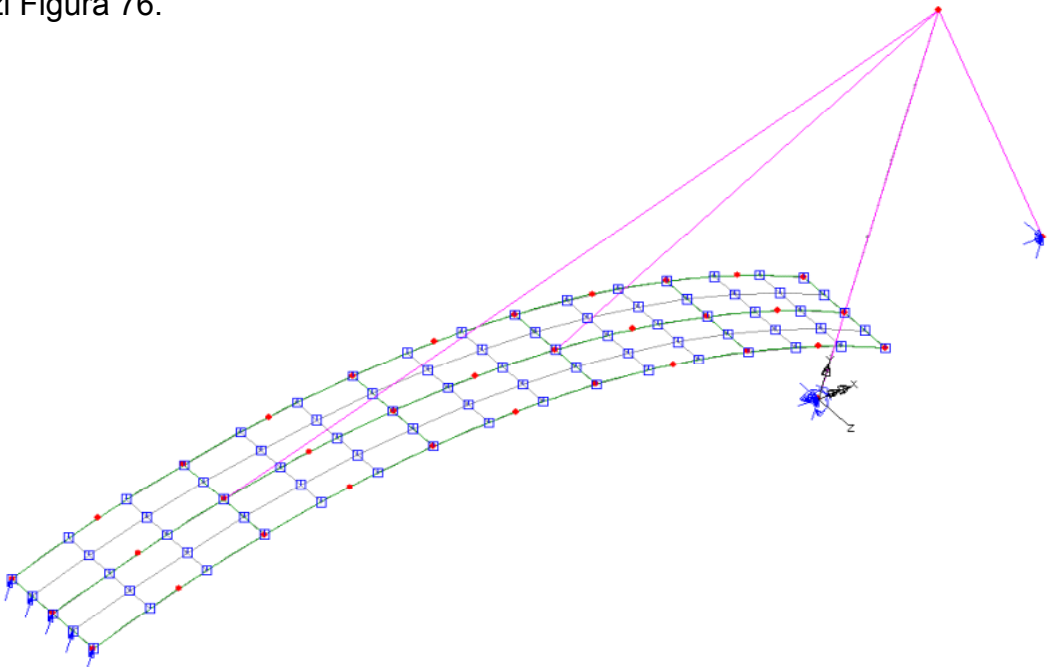


Figura 76.

Ipoteza 3 – Încărcare cu cedare de reazem a încastrării pilonului.

Valoarea cedării de reazem este de 3 cm și are direcție verticală.

Cedarea de reazem reprezintă o valoare impusă deplasării pe direcția unuia sau mai multor grade de libertate ale nodurilor structurii. În consecință prin aceasta ipoteză de încărcare se va impune deplasării pe direcție verticală a nodului de reazem a pilonului valoarea cunoscută a deplasării de -0.03m

A) Definirea încărcării cu cedare de reazem

- se deschide meniul **Attributes**, opțiunea **Loading** și apoi **Prescribed...**;
- în caseta de dialog se alege încărcarea de tip **Prescribed Displacement (deplasări impuse)** și se selectează opțiunea **Total** care permite aplicarea integrală a cedării de reazem;
- se completează câmpul casetei de dialog cu valoarea cedării de reazem pe direcția axei **OY** (semnul minus = deplasarea este în sens invers axei OY) - vezi Figura 77.;
- se atribuie numele **Cedare de reazem** setului de date definit;
- click **Ok** ✓;
- în fereastra din stânga, meniul **Treeview** va apare numele încărcării definite.

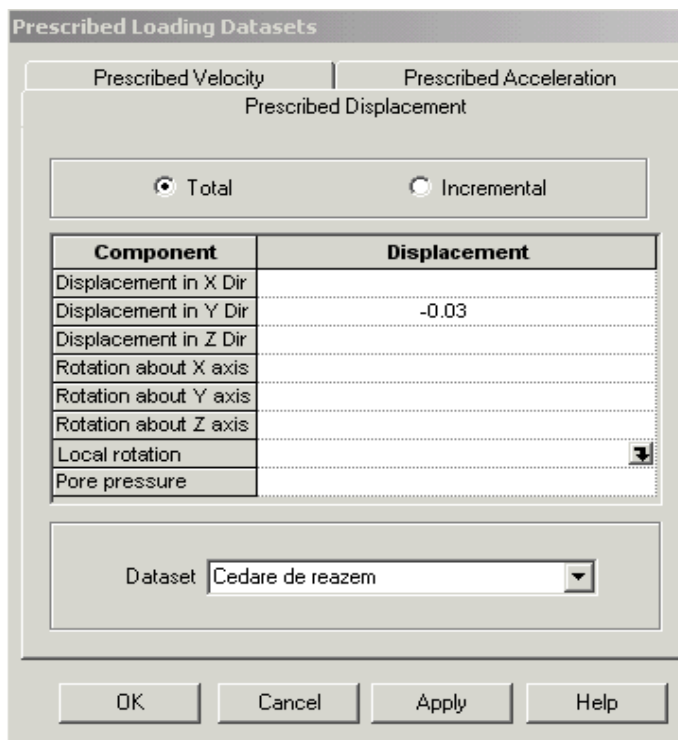


Figura 77.

B) Atribuirea cedării de reazem nodului de încastrare al pilonului

Cedarea de reazem definită mai sus va fi atribuită nodului de încastrare al pilonului în **Ipoteza 3** de încărcare prin parcurgerea următorilor pași:

- se selectează nodul de încastrare al pilonului prin click cu butonul din stânga al mouse-ului direct pe nodul P1;

- în fereastra **Tree view** și meniul cu atribute ale modelului se selectează încărcarea **Cedare de reazem**, apăsând butonul din stânga al mouse-ului;
- se ține apăsat butonul mouse-ului și se trage în zona selectată;
- se eliberează butonul mouse-ului;
- în caseta de dialog care apare pe ecran – Figura 78. vă asigurați că încărcarea este atribuită punctelor (**Points**) în cazul 3 de încărcare (**Load case 3**) și cu factorul de multiplicare **1**;

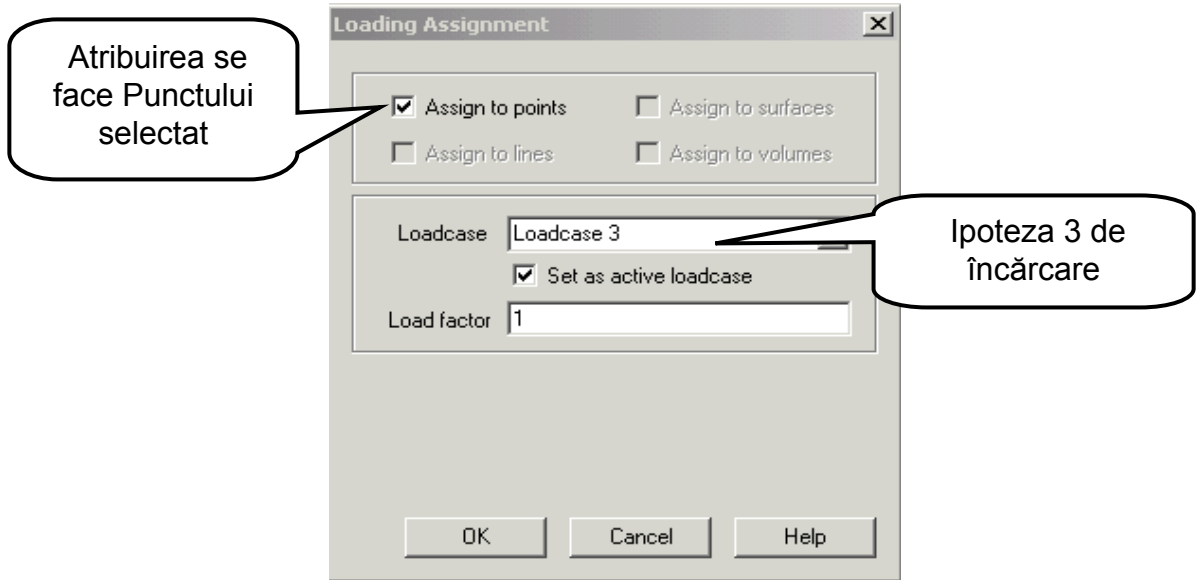


Figura 78.

- click **Ok** ✓;
- în ecranul de lucru este afișată structura cu încărcarea din cedare de reazem, reprezentată printr-o săgeată la nodul de încastrare, cu sensul invers axei OY– vezi Figura 79.

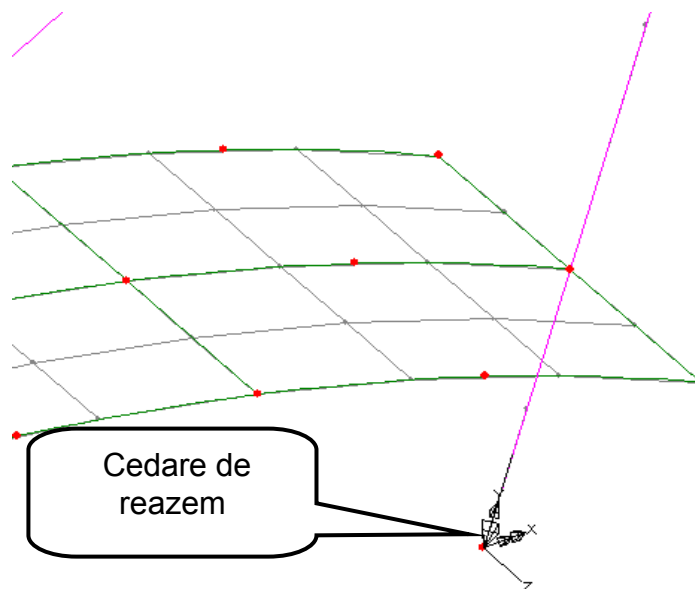



Figura 79.



Salvați pentru ultima oară fișierul !

II. Efectuarea analizei

Comportarea modelului discret cu elemente finite al structurii podului, se determină apelând modulul **Solver** al programului de calcul, parcurgând următorii pași:

- se apelează opțiunea **Solve now** direct prin butonul  situat pe bara cu unelte;
- în caseta de dialog (Figura 80.) se verifică dacă sunt selectate opțiunile:

Solve now, Wait for solution, Load output file, Plot file;

- click **Save** ✓.

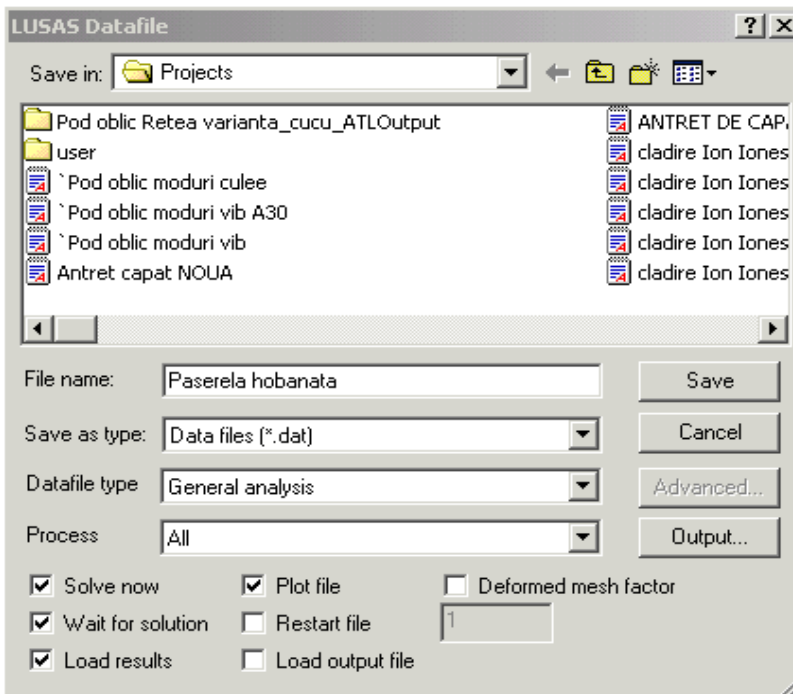


Figura 80.



Dacă datele de intrare privind descrierea modelului de calcul sunt corecte, la terminarea analizei, pe ecranul calculatorului va apare mesajul **LUSAS SUCCESSFULLY COMPLETED**. Rezultatele analizei sunt conținute în fișierul **Paserela hobanata.mys**.

Dacă datele de intrare conțin unele erori, analiza nu se mai efectuează, fișierul cu rezultate nu se mai generează, iar erorile pot fi cu ușurință localizate și analizate pe baza informațiilor cuprinse în fișierul text **Paserela hobanata.out**

III. Prezentarea rezultatelor

După efectuarea analizei programul încarcă automat fișierul de rezultate (Paserela hobanata.mys) permițând utilizatorului să selecteze diferite tipuri de rezultate și să le reprezinte atât în format text cât și sub formă de imagini grafice.

3.1. Deformata structurii

Înainte de a selecta un anumit tip de rezultate este indicată vizualizarea deformatei structurii care pune în evidență eventualele erori de modelare (geometrie, condiții de rezemare, ipoteze de încărcare).

Pentru a vedea mai bine deformata structurii, pe ecran se va păstra numai geometria structurii (**Geometry**), condițiile de rezemare (**Attributes**) și deformata structurii (**Deformed mesh**). Celelalte informații din meniul **Layers** se vor șterge – vezi Figura 81.

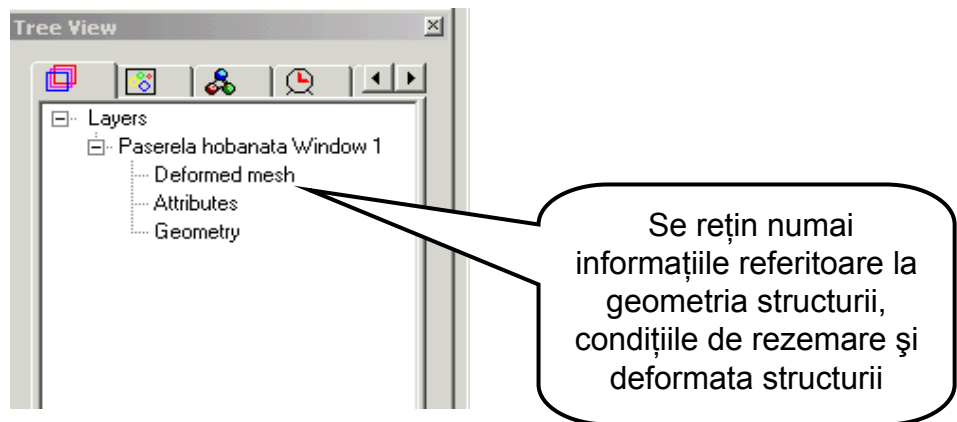


Figura 81.

Forma deformată a structurii poate fi afișată pe ecran parcurgând următorii pași:

- click cu butonul dreapta al mouse-ului în fereastra de grafică, în afara modelului
- în meniul care apare se selectează **Deformed mesh** care va adăuga la meniul **Layers** din fereastra **Tree view** această opțiune și deschide o fereastră de dialog în care se va modifica mărimea celei mai mari ordonate a deformatei. Opțional aceasta este de 6 mm. Pentru a accentua forma deformată aceasta se va modifica la 20 mm – vezi Figura 82.;

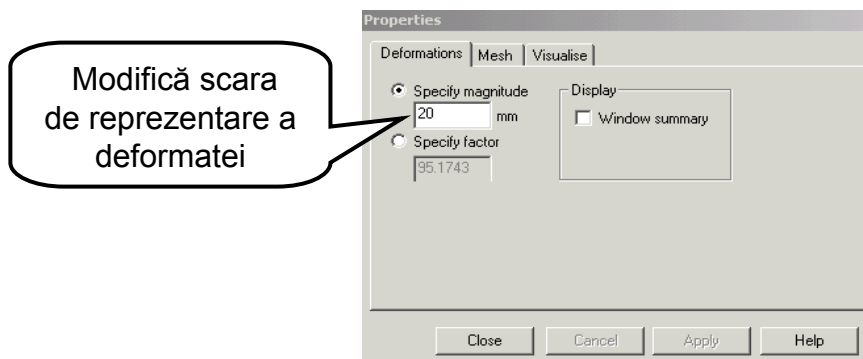


Figura 82.

- click **close** pentru a închide fereastra de dialog;
- pe ecran va fi afișată structura în poziție deformată pentru cazul activ de încărcare (**Loadcase 1**) – Figura 83.

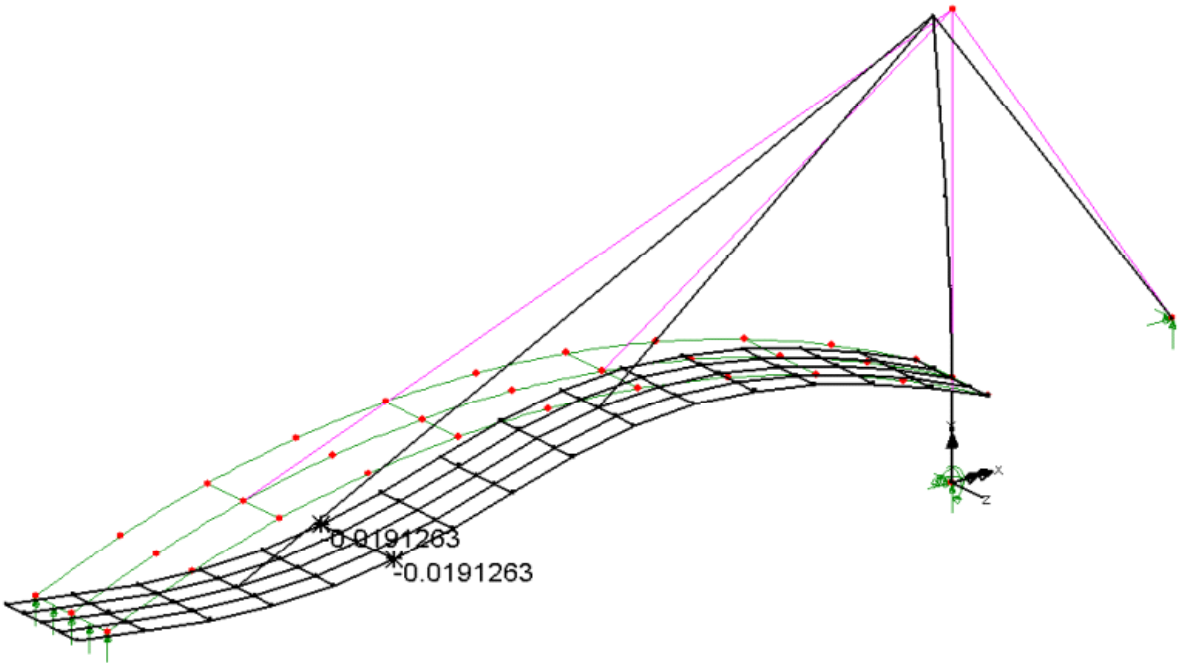


Figura 83.

Valoarea maximă a componentei deplasării pe direcție verticală poate fi afișată prin:

- click cu butonul dreapta al mouse-ului în fereastra de grafică, în afara modelului;
- în meniul care apare se selectează **Values** care va adăuga la meniul **Layers** din fereastra **Tree view** această opțiune și deschide o fereastră de dialog în care se vor selecta opțiunile din Figura 84.

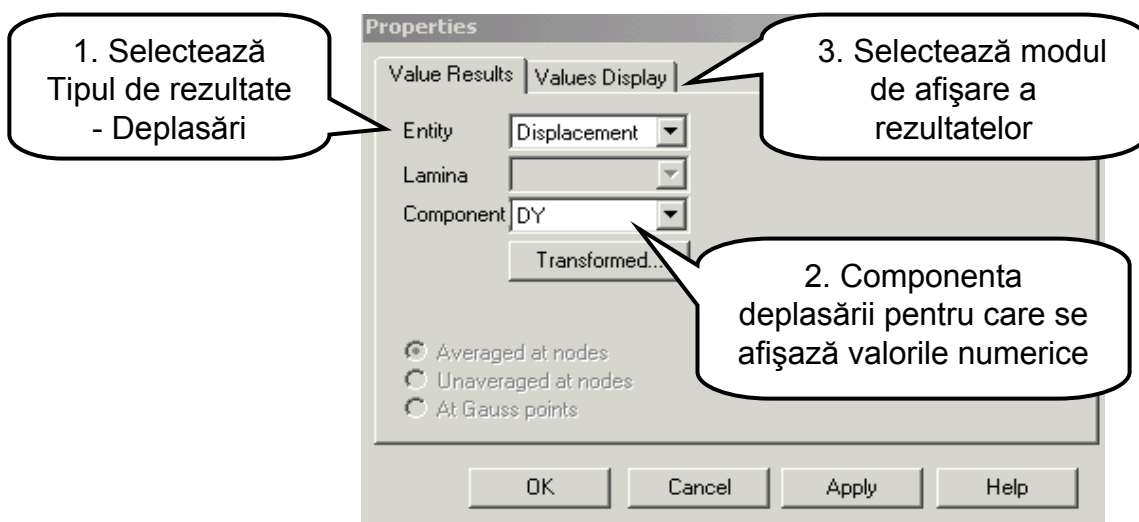


Figura 84.

Formatul și numărul de valori numerice afișate pot fi specificate activând meniul **Values Display** și selectând opțiunile prezentate în Figura 85.

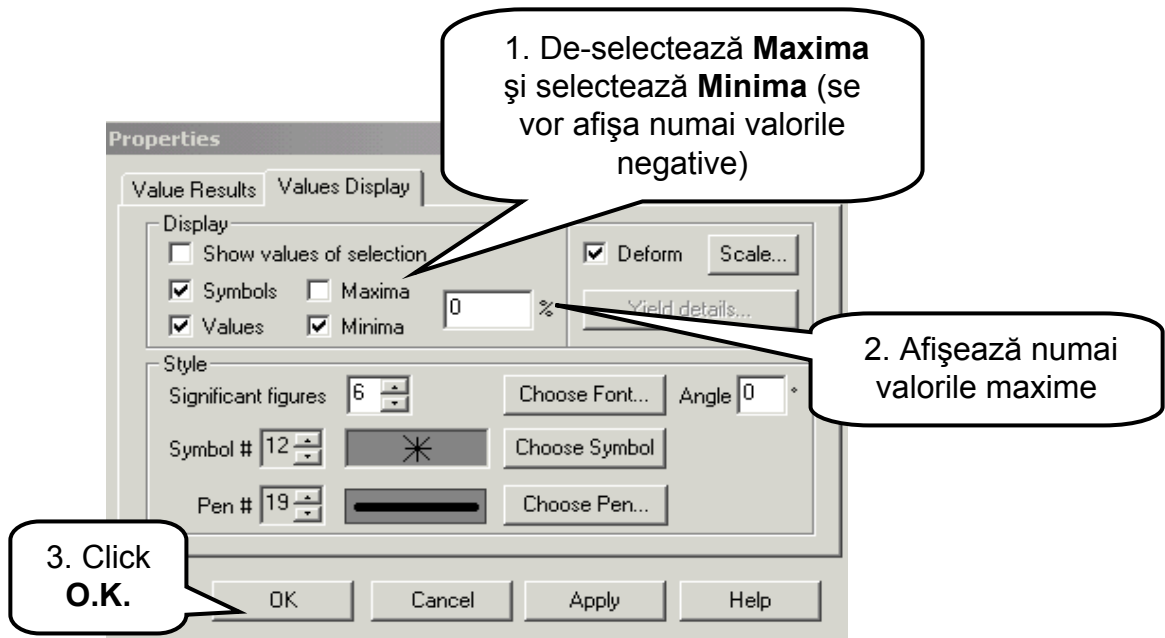



Figura 85.

Valorile maxime ale deplasării pe direcție verticală (direcția **OY**) sunt prezentate în Figura 83.

Forma deformată a structurii corespunzătoare ipotezei de încărcare cu variație de temperatură a plăcii tablierului (**Loadcase 2**) și valoarea maximă a deplasării pe direcție verticală se obține parcurgând următoarea secvență:

- în meniul **Tree view** se selectează butonul  **Cazuri de încărcare**;
- cu butonul din dreapta al mouse-ului se selectează din **Results file**, cazul 2 de încărcare (**Loadcase 2**);
- se alege opțiunea **Set active**;
- pe ecran se afișează deformata corespunzătoare ipotezei 2 de încărcare—Figura 86.

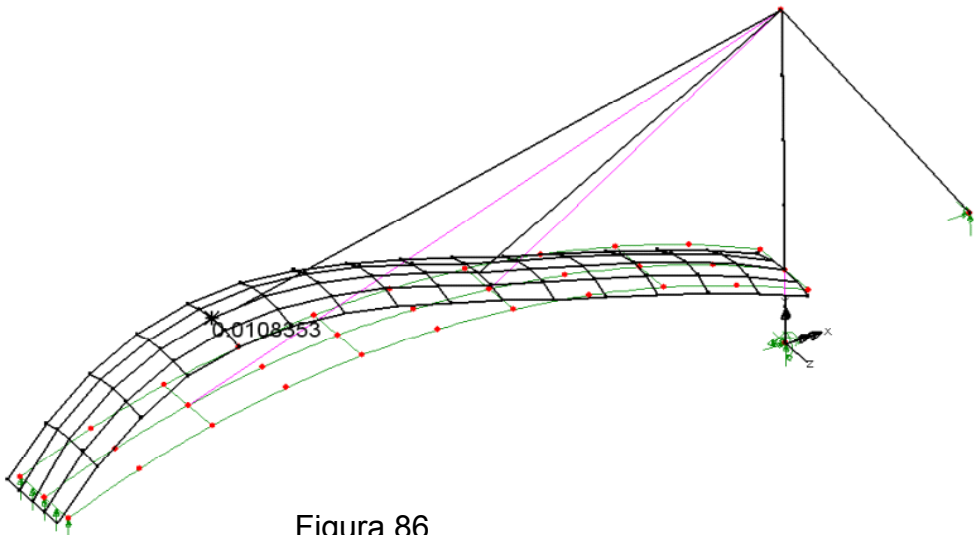


Figura 86.

Parcurgând aceiași pași și selectând cazul 3 de încărcare (**Loadcase 3**) ca ipoteză de încărcare curentă, rezultă forma deformată corespunzătoare – Figura 87.

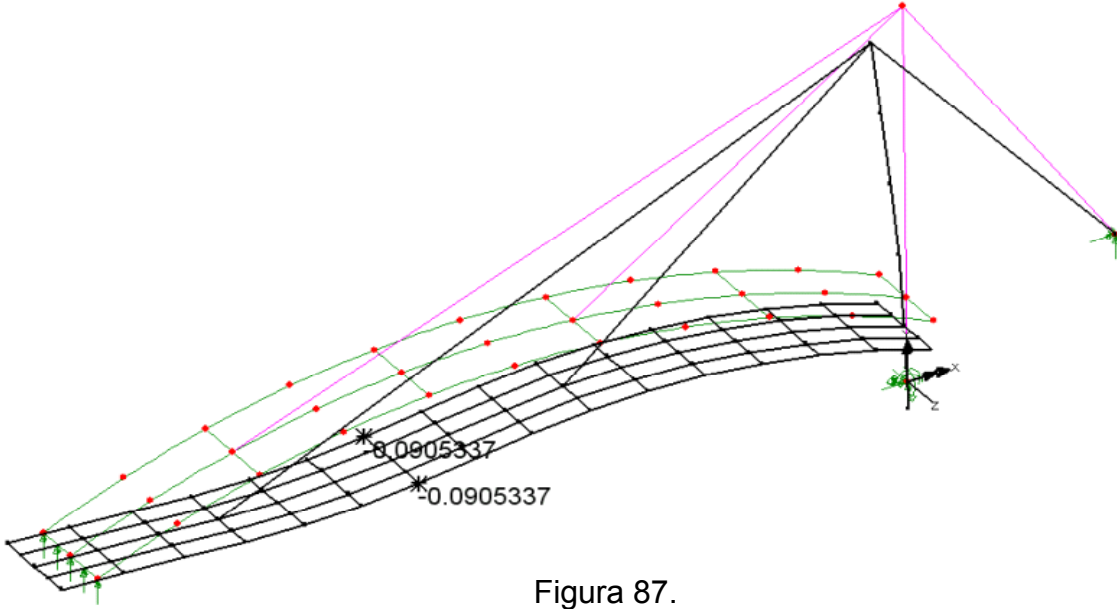


Figura 87.

3.2. Definirea combinației ipotezelor de încărcare

Efectul cumulat al mai multor cazuri de încărcare asupra structurii se poate analiza prin generarea unor combinații ale acestora. În continuare se va genera o combinație de încărcare între Ipoteza 1 multiplicată cu factorul 1.20 și Ipoteza 2 multiplicată cu factorul de încărcare 0.80. Se parcurg următorii pași:

- se deschide meniul **Utilities**;
- se alege opțiunea **Combination** și apoi **Basic**;
- în fereastra **Tree view**, în meniul **Cazuri de încărcare**, va fi afișată combinația (**Combination 4**) – vezi Figura 88.;

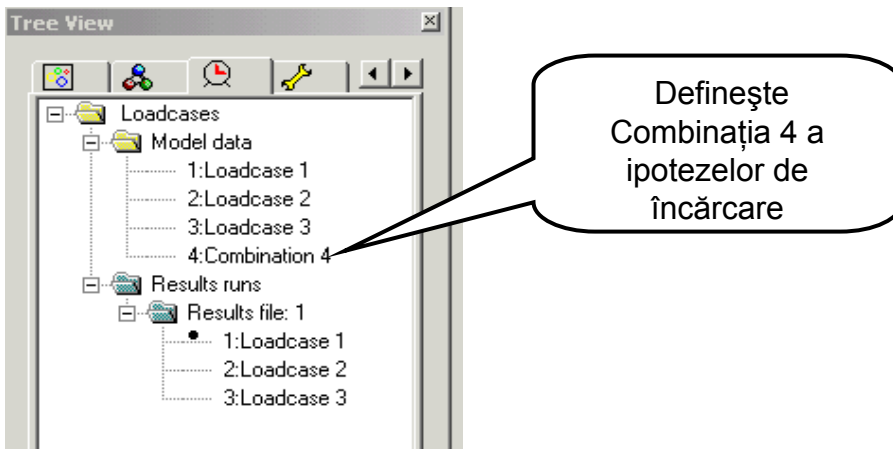


Figura 88.

- în caseta de dialog se selectează **Results file: 1**. Sub caseta **Results file: 1** vor fi afișate cele trei cazuri de încărcare analizate;
- se selectează cazul 1 de încărcare (**Loadcase 1**) pentru a fi inclus în combinație;
- cu butonul >> se include cazul 1 de încărcare în combinație;
- se selectează cazul 2 de încărcare (**Loadcase 2**) pentru a fi inclus în combinație;
- cu butonul >> se include cazul 2 de încărcare în combinație – vezi Figura 89.

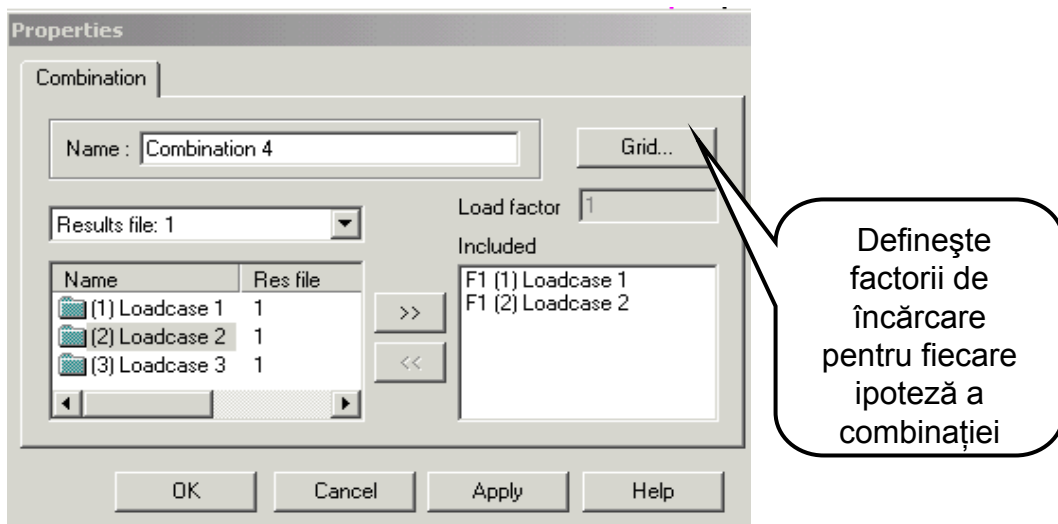


Figura 89.

- prin apăsarea butonului **Grid...** se deschide o fereastră de dialog care permite setarea factorilor de multiplicare pentru fiecare caz de încărcare – vezi Figura 90.

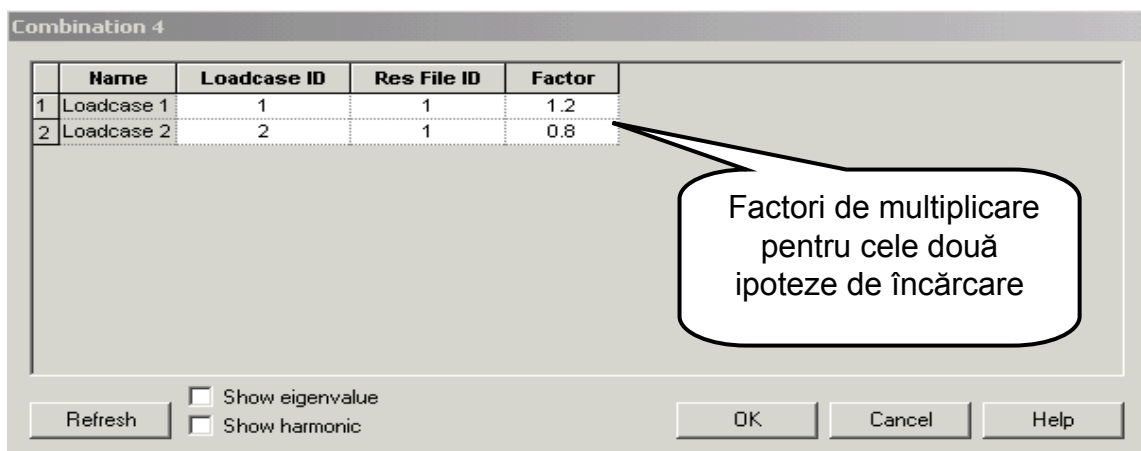


Figura 90.

- click **OK** pentru a reveni la meniul anterior;
- click **OK** pentru a termina definirea combinației;
- se activează combinația 4;
- pe ecran va fi afișată deformată structuurii corespunzătoare cazului activ de încărcare (combinația 4) – vezi Figura 91.

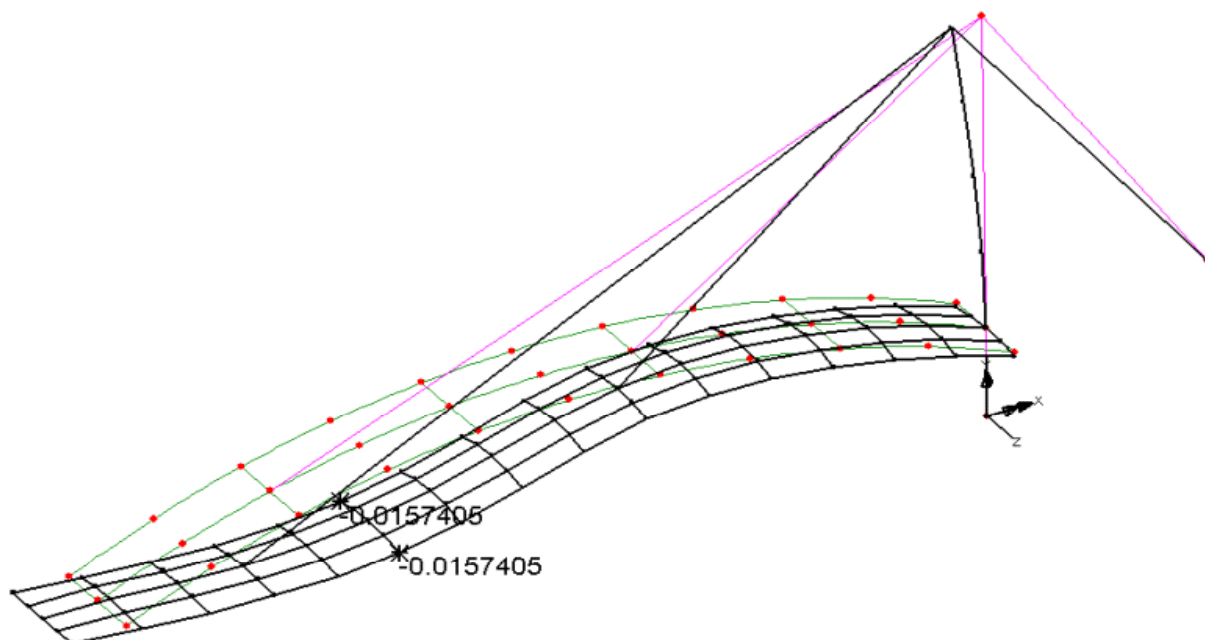


Figura 91.

3.3. Diagrame de eforturi

Modelul discret al podului hobanat cuprinde atât elemente finite unidimensionale (bare și grinzi în spațiul 3D) cât și elemente bidimensionale de placă încovoiată combinată cu starea de membrană (elemente Shell). Reprezentarea grafică a stărilor de eforturi se va face separat pentru cele două categorii de elemente.

Selectarea elementelor structurale pentru care se desenează diagramele de eforturi se face apelând la facilitățile oferite de opțiunea de grupare a acestora pe categorii funcționale.

Prezentarea diagramei de eforturi este mai facilă dacă pe ecran rămân active numai informațiile privind geometria structurii (**Geometry**) și modelul cu elemente finite (**Mesh**). Celelalte informații pot fi făcute invizibile din fereastra **Tree view** selectând opțiunea **Layers** și ștergând acele informații care nu interesează.

În continuare se vor desena diagramele de momente încovoiătoare M_z pentru elementele de grindă care constituie rigidizările tablierului (grinzi longitudinale și transversale) în ipoteza 1 de încărcare. Se parcurg următorii pași:

- se activează cazul 1 de încărcare (**Loadcase 1**);
- din fereastra **Tree view** și meniul **Groups** se selectează ca vizibile grupurile **Grinzi longitudinale** și **Grinzi transversale**;
- click butonul dreapta al mouse-ului în fereastra de grafică, în afara modelului;
- în meniul afișat se selectează opțiunea diagrame de eforturi (**Diagrams**);
- în caseta de dialog se selectează tipul de rezultate (**Stress**) și componenta M_z a cărei variație va fi prezentată – vezi Figura 92.;

- în aceeași casetă de dialog se selectează modul de afișare al rezultatelor

(**Diagram Display**) (Figura 93.): diagrame cu sau fără valori, culoarea, procentul din lungimea barei pe care este reprezentată diagrama;

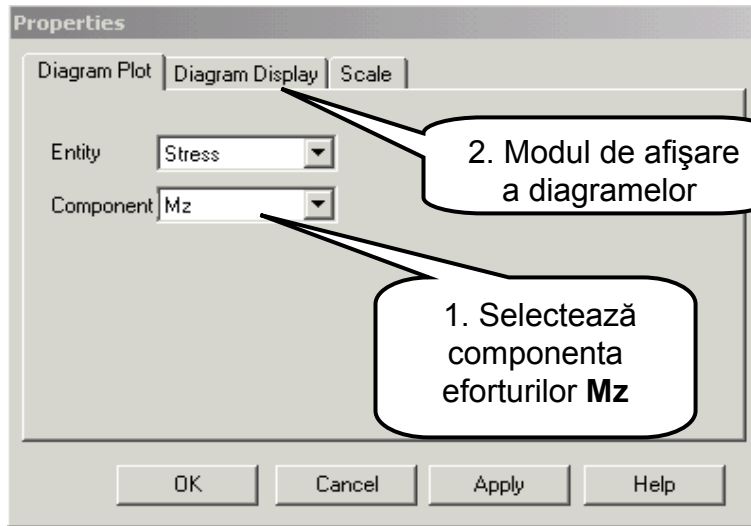


Figura 92.

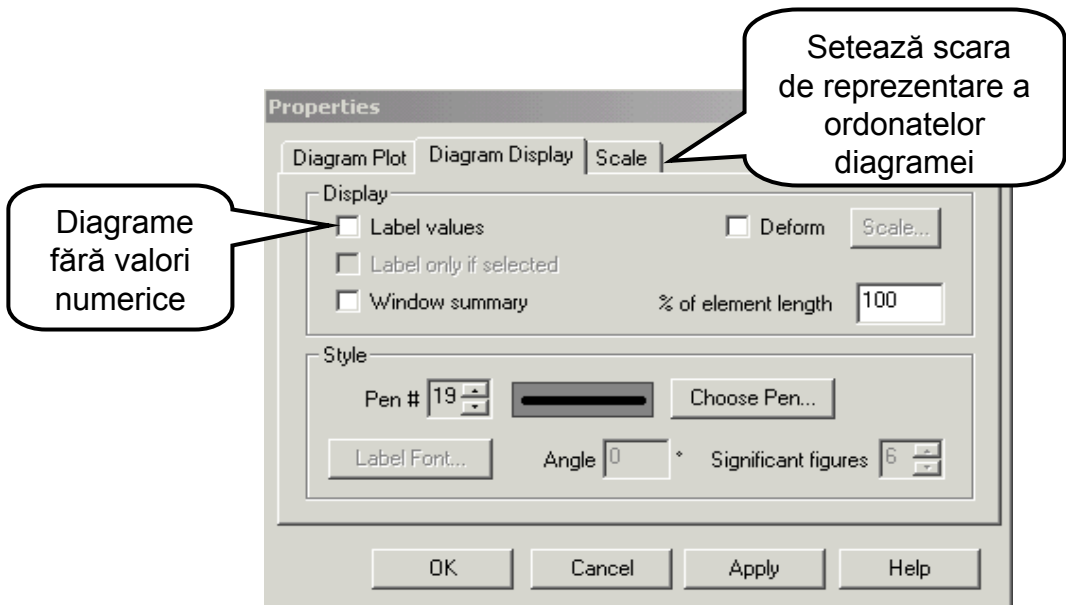


Figura 93.

- click **OK** pentru a reveni la meniul anterior;
- click **OK** ✓;
- pe ecran va fi afișată diagrama de momente încovoietoare M_z - Figura 94.;
- similar se procedează pentru alte diagrame de eforturi din cazul activ de încărcare (cazul 1) (**N** – Figura 95.) sau din alte cazuri de încărcare și combinații ale acestora.

Valorile maxime pozitive și negative ale ordonatele diagramelor de eforturi se pot vizualiza parcurgând aceeași pași ca în cazul deplasărilor.

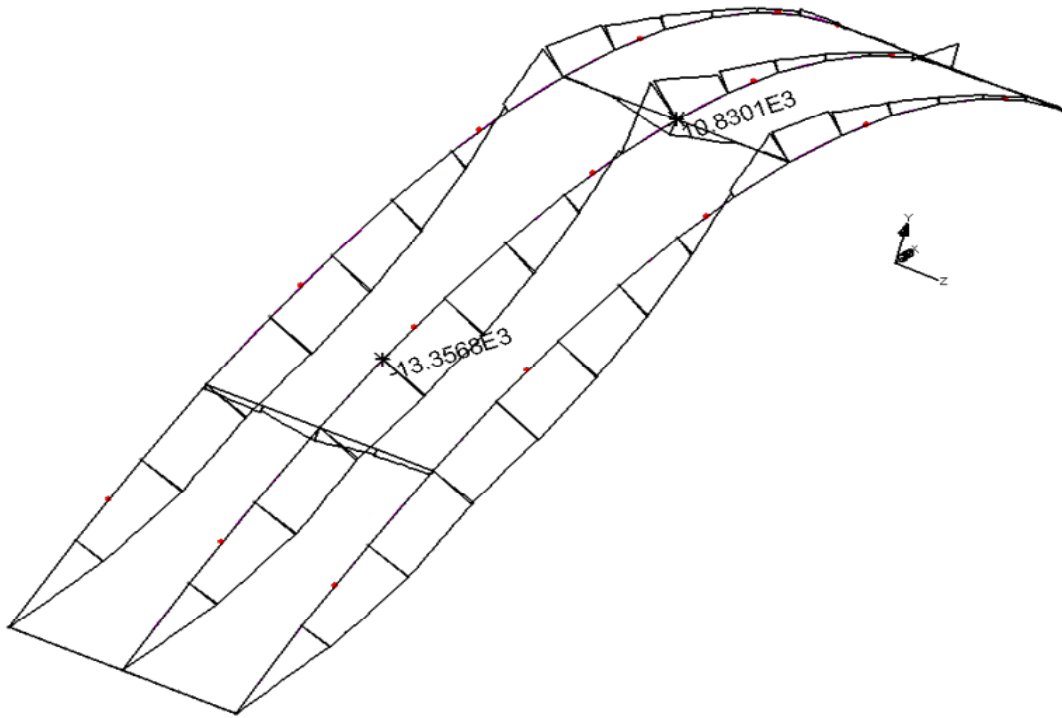


Figura 94.

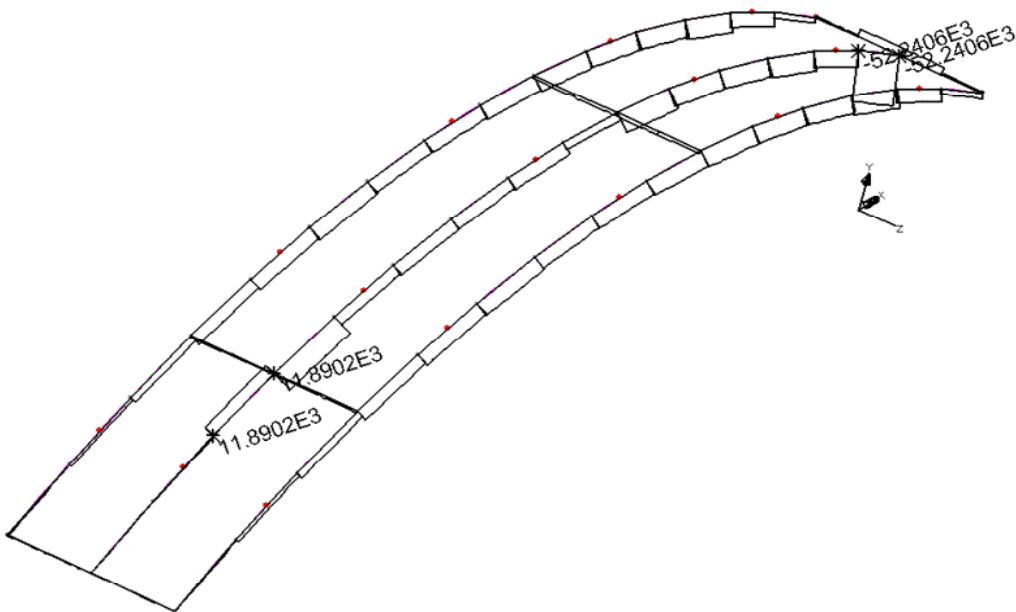


Figura 95.

Diagramele de efort axial (**N**) pentru elementele hobanelor se obțin selectând din meniul **Groups** ca vizibile numai grupul **Hobane (Set as Only Visible)** și din meniul **Diagrams** alegând componenta **F_x**.

Diagramele de efort axial în hobane, corespunzător Ipotezei 1 de încărcare sunt prezentate în Figura 96.

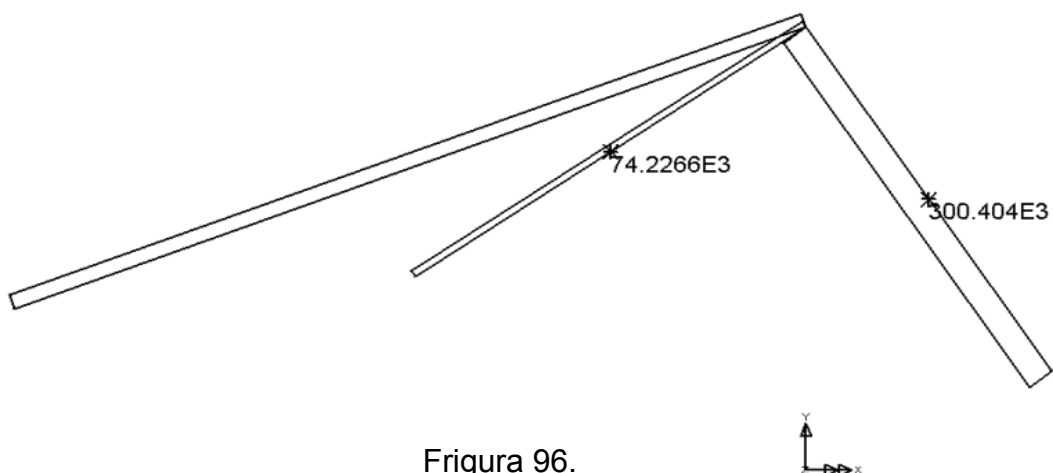


Figura 96.

Pentru elemente bidimensionale programul permite vizualizarea variației eforturilor secționale sau a tensiunilor fie sub formă de izocurve diferit colorate însoțite de o legendă, fie sub forma unor izosuprafețe diferit colorate însoțite de o legendă.

În continuare se prezintă pașii necesari de urmat pentru reprezentarea grafică a variației momentelor încovoietoare M_x în placa tablierului pentru Ipoteza 1 de încărcare. Pentru o mai bună interpretare a rezultatelor reprezentarea variației momentelor încovoietoare se va face pe forma deformată a tablierului.

Prezentarea diagramelor de tensiuni sau eforturi este mai facilă dacă pe ecran rămân active numai informațiile privind geometria deformată a structurii (**Deformed mesh**). Celelalte informații pot fi făcute invizibile din fereastra **Tree view** selectând opțiunea **Layers** și ștergând acele informații care nu interesează.

Pentru a desena variația momentelor încovoietoare M_x în placa tablierului corespunzător Ipotezei 1 de încărcare se parcurg următorii pași:

- se activează cazul 1 de încărcare (**Loadcase 1**);
- din fereastra **Tree view** și meniul **Groups** se selectează ca vizibil grupul **Placa tablier (Set as Only Visible)**;
- click butonul dreapta al mouse-ului în fereastra de grafică, în afara modelului
- în meniul care apare se selectează opțiunea izocurve (**Contours**);
- în caseta de dialog se selectează categoria de rezultate (**Stress**): momente încovoietoare M_x – vezi Figura 97.;
- în aceeași casetă de dialog se selectează modul de afișare al rezultatelor (**Contour Display**): izosuprafețe (**Filled**) cu legendă (**Contour key**) și desenare pe forma deformată (**Deform**) – Figura 98.;
- click **OK**.

Variația momentelor încovoietoare M_x este prezentată grafic prin izosuprafețe în Figura 99. Deasemenea, sunt prezentate valorile semnificative ale eforturilor pe diferite benzi de culore.

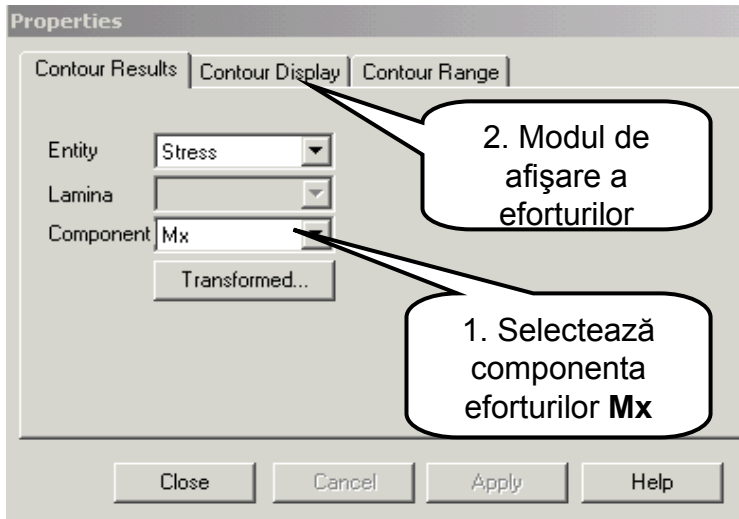


Figura 97.

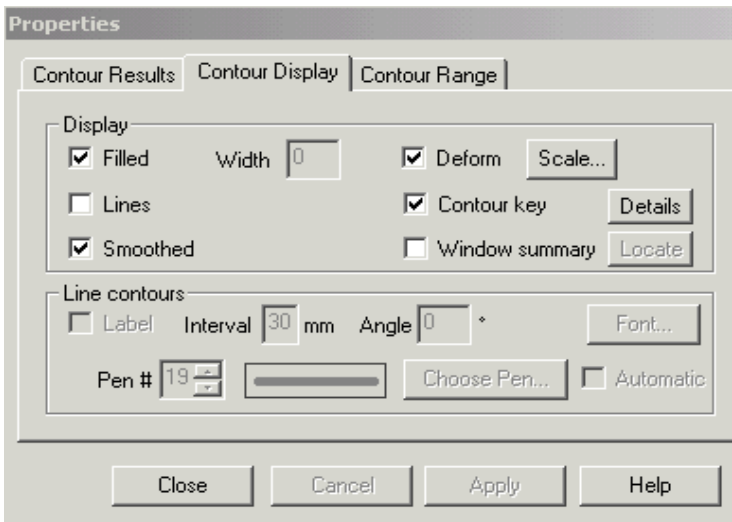


Figura 98.

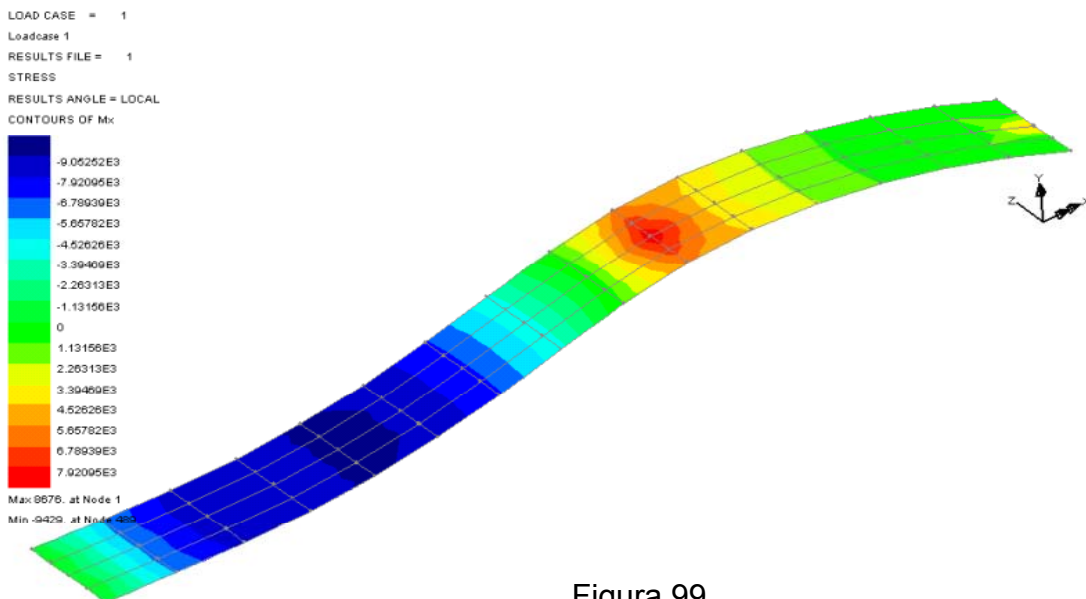


Figura 99.

3.3.1. Grafice de variație a momentelor încovoietoare de-a lungul unei direcții

- se aduce modelul în planul lui (XY);
- se deschide meniul **Utilities** și se alege opțiunea **Graph through 2D**;
- cursorul mouse-ului se modifică permițând secționarea modelului;
- se poziționează și se apasă butonul din stânga al mouse-ului la stânga în axa de simetrie a plăcii;
- țineți apăsat butonul mouse-ului și trasați o linie în lungul căreia se va vizualiza variația momentelor încovoietoare M_x – Figura 100.;
- eliberați butonul mouse-ului;
- linia care a rezultat va fi axa X a graficului (distanța);
- valorile momentelor încovoietoare M_x vor fi reprezentate pe axa Y a graficului;

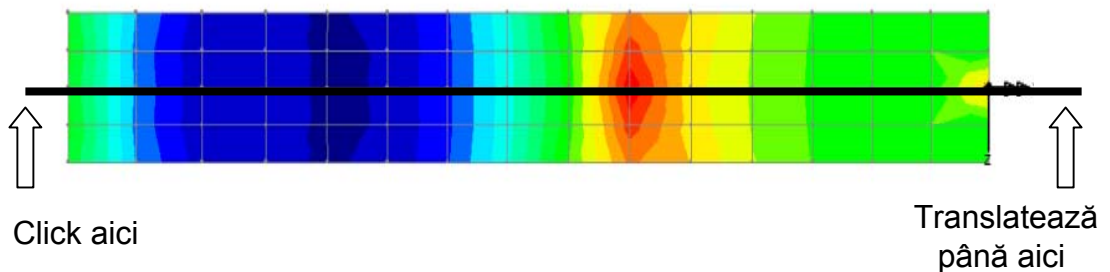


Figura 100.

- în caseta de dialog afișată Figura 101. selectați tipul de rezultate (**Results component**): momente încovoietoare pe direcția axei X (**Stress, M_x**);
- click pe butonul **Next**;

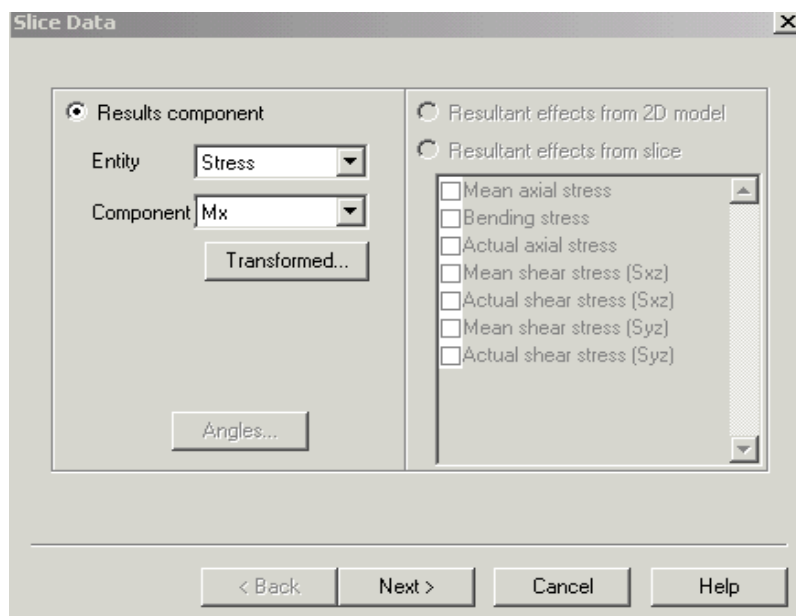


Figura 101.

- în caseta de dialog – Figura 102. completați titlul graficului **Variatie Mom. Incov.Mx**, numele axei X - **Distante**, numele axei Y - **Moment Mx**;
- asigurați-vă că este selectată scara grafi-cului **Automatic** și opțiunea **Show grid**;
- click **Finish** ✓;

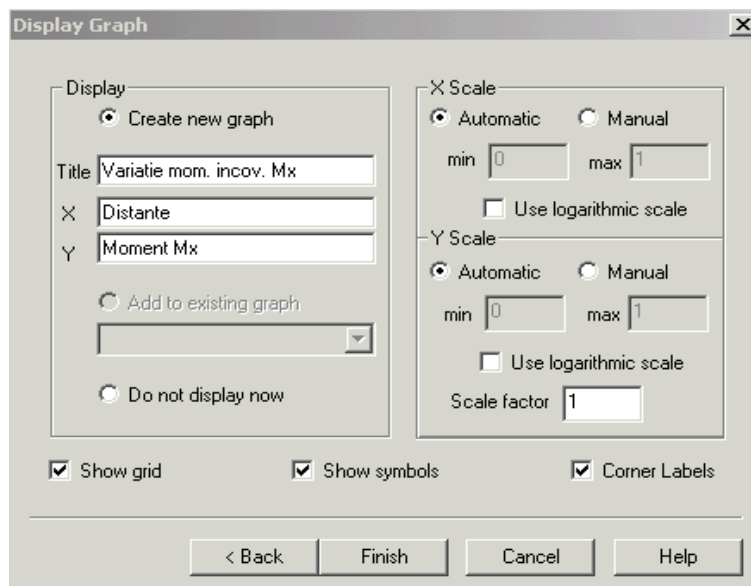


Figura 102.

- pe ecran va apare graficul cerut – Figura 103.;
- se procedează similar pentru obținerea graficelor de variație a altor mărimi statice.

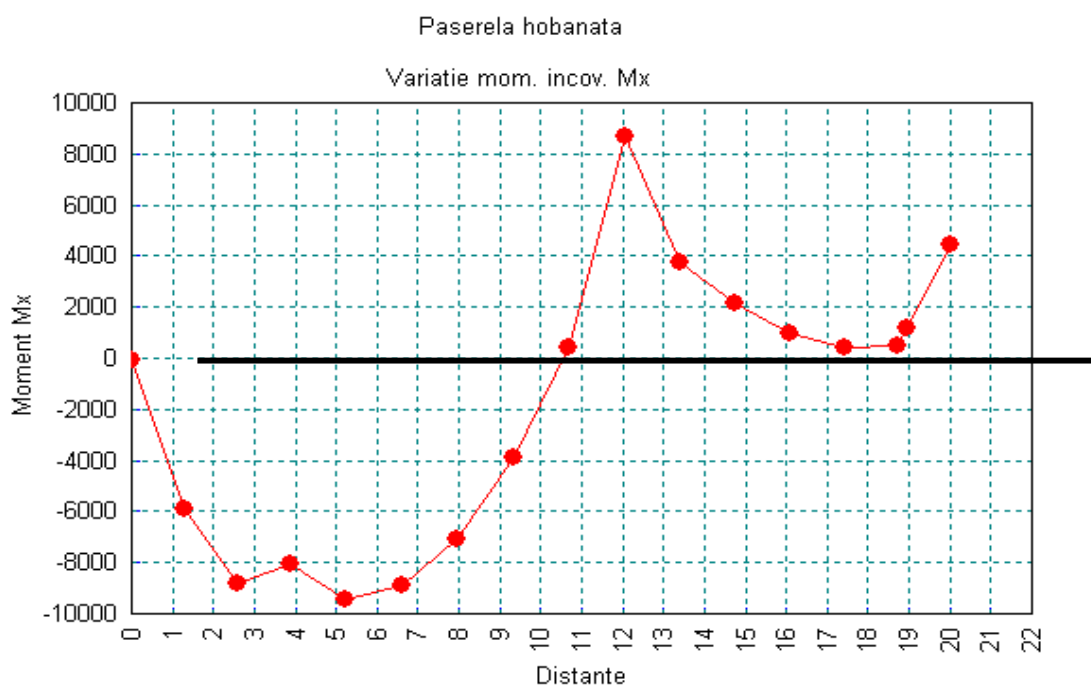


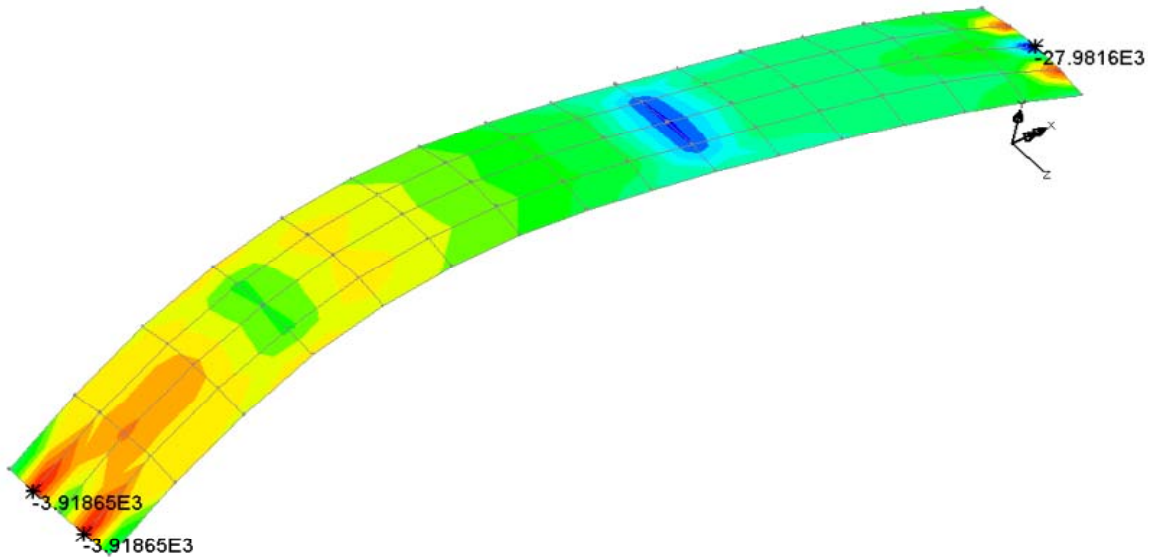
Figura 103.

Din analiza curbei de variație a momentului încovoiator M_x în axa plăcii tablierului rezultă influența rezemării acesteia în dreptul hobanelor. Diagrama de momente prezintă vârfuri în secțiunile de prindere a hobanelor de tablier.

TEME propuse pentru rezolvare

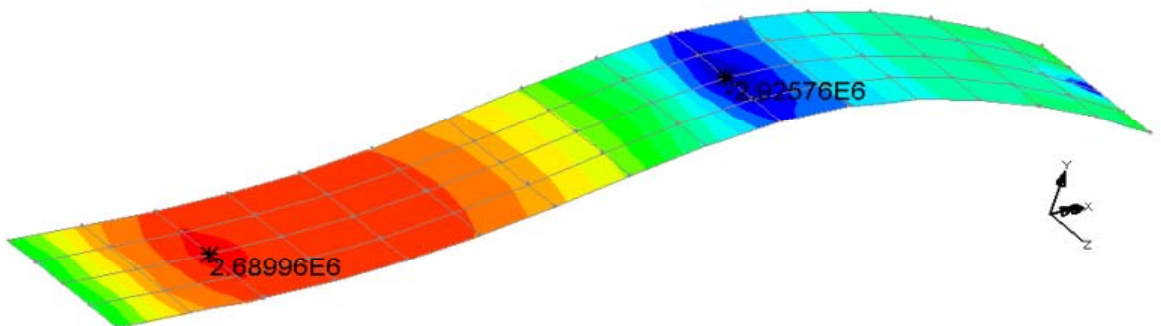
1. Reprezentați variația momentului încovoiator M_x prin izosuprafețe pe forma deformată a tablierului cu evidențierea valorilor maxime ale acestora corespunzătoare Ipotezei 2 încărcare.

Răspuns:



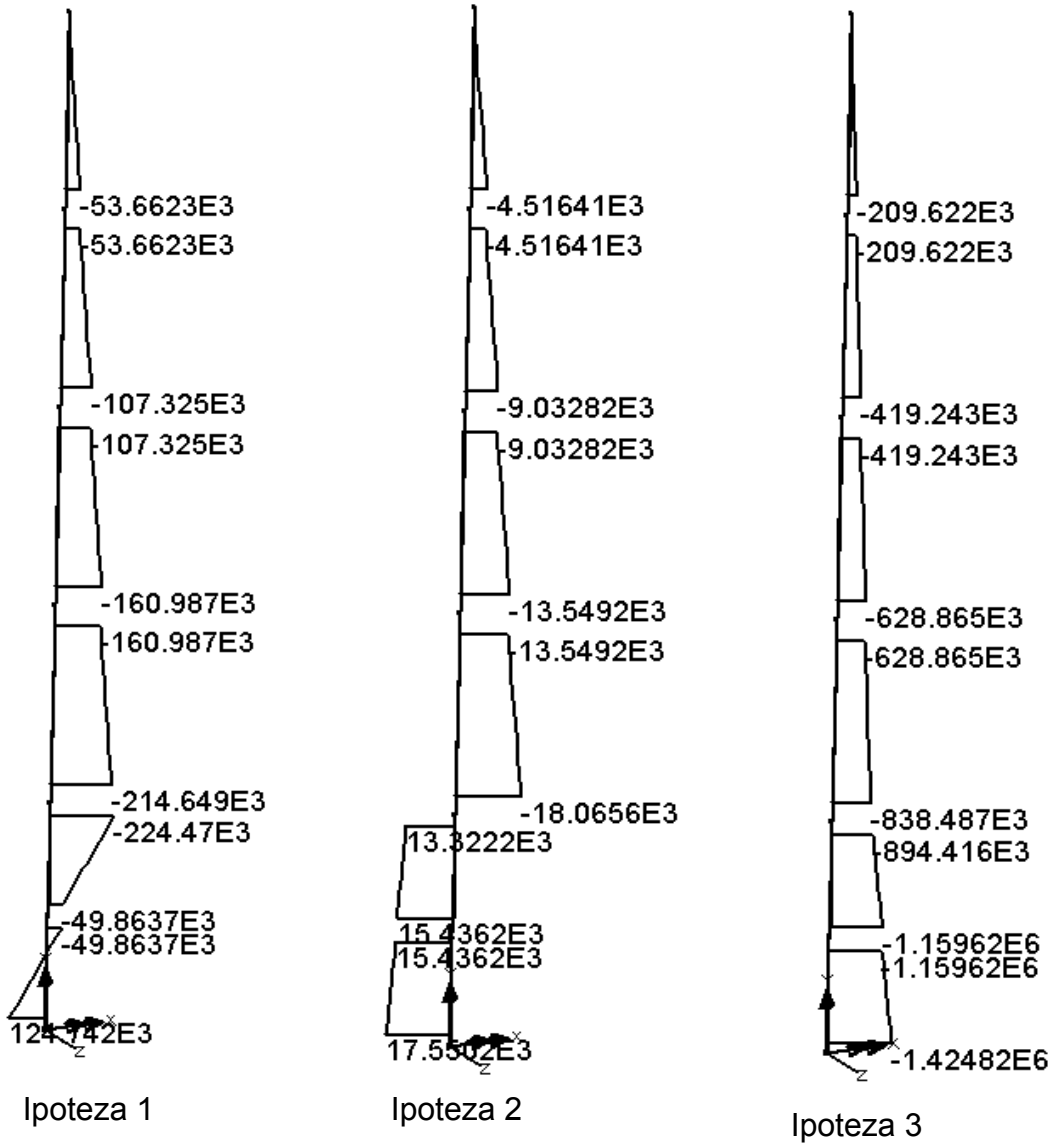
2. Reprezentați variația tensiunilor S_x la fibra inferioară a plăcii tablierului prin izosuprafețe pe forma deformată, cu evidențierea valorilor maxime ale acestora corespunzătoare Ipotezei 3 încărcare

Răspuns:



3. Reprezentați diagramele de momente încovoietoare Mz pentru pilonul podului, cu evidențierea valorilor diagramei corespunzător celor trei Ipoteze de încărcare

Răspuns:



4. Tipăriți valorile reacțiilor din secțiunea de încastrare a pilonului, pentru Ipoteza 1 de încărcare

Răspuns

Node	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
410	-1.75e+005	4.27e+005	-2.58e-008	-1.23e-007	-3.58e-007	1.25e+005