FORMULAREA cu ELEMENTE FINITE a PROBLEMELOR INGINEREȘTI de CÂMP.

a) Tipuri de probleme inginerești guvernate de ecuații de câmp.

- Transferul de căldură
- Membrana elastică
- Torsiunea liberă a grinzilor
- Curgerea laminară a fluidelor
- Curgerea lichidelor prin medii poroase
- Câmpuri electrostatice
- Câmpuri electromagnetice.

b) Ecuații care guvernează procesul de tip câmp.

- matematic sunt reprezentate de ecuații diferențiale:

$\nabla^2 \phi = 0$ tip Laplace

$\nabla^2 \phi = p$ tip Poisson

- Ecuațiile pot fi scrise sub forma generală:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(K_x \frac{\partial \phi}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(K_y \frac{\partial \phi}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(K_z \frac{\partial \phi}{\partial z}\right) + Q = 0$$

cu condițiile de margine:

$\phi = \phi_1$ pe suprafața S_1

$K_x \frac{\partial \phi}{\partial x} l_x + K_y \frac{\partial \phi}{\partial y} l_y + K_z \frac{\partial \phi}{\partial z} l_z + q = 0$ pe suprafața S_2

$K_x \frac{\partial \phi}{\partial x} l_x + K_y \frac{\partial \phi}{\partial y} l_y + K_z \frac{\partial \phi}{\partial z} l_z + h(\phi - \phi_\infty) = 0$ pe suprafața S_3

unde:

q, K_x, K_y, K_z - coeficienți care depind de x, y, z dar independenți de variabila ϕ

l_x, l_y, l_z - cosinușii directori ai normalei la suprafața de frontieră.

c) Particularizarea ecuațiilor de câmp

c1) Transfer de căldură

ϕ = funcția temperaturii

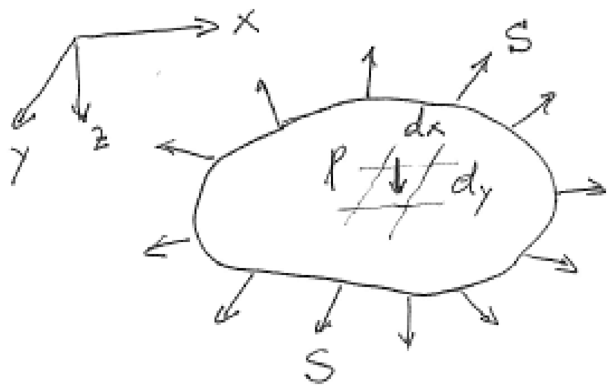
K_x, K_y, K_z = coeficienții de conductibilitate termică ale materialului în direcțiile x, y, z

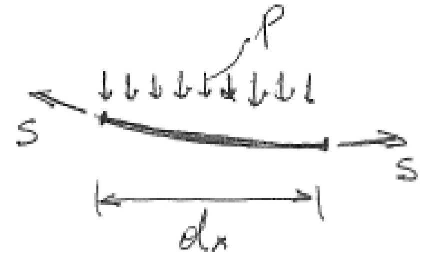
Q = sursa de căldură (concentrată)

h = coeficientul de convecție la suprafață

q = fluxuri termice aplicate pe suprafață.

c2) Membrana elastică





p = încărcarea normală pe suprafața mediană

s = tensiunea în membrană

- Ecuația diferențială care guvernează fenomenul este obținută prin exprimarea echilibrului unui element de membrană:

$$\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = \frac{p}{S} \qquad \nabla^2 w = \frac{p}{S}$$

C3) Torsiunea liberă

- Ecuația diferențială care modelează fenomenul torsiunii libere se obține din ecuația generală cu particularizările:
  - fenomenul se produce în planul xoy
  - $K_x = K_y = 1$
  - $Q = 2G\theta_1$
  - condiții de margine: ϕ = constant pe frontieră (de regulă $\phi = 0$)

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = -2G\theta_1$$

unde:

ϕ = funcția eforturilor a lui Prandtl

G = modulul de elasticitate transversal al materialului

θ_1 = unghiul de torsiune pe unitatea de lungime a grinzii

c4) Curgerea laminară a fluidelor

- Ecuația diferențială rezultă din ecuația generală considerând:

$K_x = K_y = 1$ și $Q = 0$

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = 0 \qquad \nabla^2 \phi = 0$$

unde funcția necunoscută ϕ poate fi funcția potențial a vitezelor sau a curentului

C5) Curgerea lichidelor prin medii poroase

• Ecuația diferențială care modelează fenomenul se obține pentru cazul plan sub forma:

$$K_x \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + Q = 0$$

unde K_x și K_y reprezintă coeficienții de permeabilitate ai mediului iar Q este sursa fluidului. Funcția necunoscută ϕ este potențialul fluidului.

C6) Câmpuri electrostatice.

• Coeficienții K modelează permeativitatea mediului în trei direcții, Q reprezintă sursele interne de curent, iar funcția necunoscută ϕ reprezintă intensitatea câmpului electric.

d) Formularea variațională a problemelor de câmp.

- Ecuațiile cu elemente finite a problemelor de câmp pot fi obținute în principal pe două căi:

  a) formularea variațională care are la bază minimizarea unei funcționale

  b) formularea reziduală care pornind de la ecuația diferențială care descrie fenomenul și de la o distribuție presupusă a variabilelor necunoscute, va minimiza erorile (reziduurile) care apar prin utilizarea distribuției aproximative a variabilelor.

- Formularea variațională = Minimizarea unei funcționale obținută din ecuațiile diferențiale care modelează fenomenul și din condițiile de margine

- Funcționala are proprietatea că orice funcție care minimizează funcționala satisface ecuația diferențială și condițiile de margine

- Tehnica de obținere a funcționalei = calcul variațional, combină ecuația diferențială cu condițiile de margine sub forma:

$$I=\int_V \frac{1}{2}\left[K_x\left(\frac{\partial^2\phi}{\partial x^2}\right)^2+K_y\left(\frac{\partial^2\phi}{\partial y^2}\right)^2+K_z\left(\frac{\partial^2\phi}{\partial z^2}\right)^2-2Q\phi\right]dV+$$

$$+\int_{S_2} q\,\phi\, dS+\int_{S_3}\frac{1}{2}h\left(\phi-\phi_\infty\right)^2 dS$$

- Pentru a scrie funcționala în o formă compactă se fac următoarele notații

$$\{g\}^T = \left[\frac{\partial\phi}{\partial x} \; \frac{\partial\phi}{\partial y} \; \frac{\partial\phi}{\partial z} \right]$$ – vectorul gradienților variabilei de câmp

$$[D] = \begin{bmatrix} K_x & 0 & 0 \\ 0 & K_y & 0 \\ 0 & 0 & K_z \end{bmatrix}$$ – matricea proprietăților materialului.

- Cu aceste notații funcționala devine:

$$I = \int_V \frac{1}{2}[\{g\}^T[D]\{g\} - 2Q\phi]\mathrm{d}V + \int_{S_2} q\phi \, \mathrm{d}S + \int_{S_3} \frac{h}{2}(\phi^2 - 2\phi\phi_\infty + \phi_\infty^2)\mathrm{d}S$$

- Întrucât variabila de câmp ϕ va fi modelată pe cale discretă cu elemente finite, funcționala va fi exprimată ca sumă a contribuțiilor fiecărui element finit:

$$I = \sum_{e=1}^{E} I^{(e)}$$; unde:

$$I^{(e)} = \int_{V^{(e)}} \frac{1}{2}[\{g^{(e)}\}^T[D^{(e)}]\{g^{(e)}\} - 2Q^{(e)}\phi]\mathrm{d}V + \int_{S_2^{(e)}} q^{(e)}\phi \, \mathrm{d}S + \int_{S_3^{(e)}} \frac{h}{2}(\phi^2 - 2\phi\phi_\infty + \phi_\infty^2)\mathrm{d}S$$

E = numărul total de elem. finite ale modelului discret

- Variația funcției ϕ în interiorul fiecărui element finit este exprimată sub forma:

$$\phi = [N^{(e)}]\{\Phi^{(e)}\}$$

unde $[N^{(e)}]$ este matricea funcțiilor de interpolare pentru elementul (e) iar $\{\Phi^{(e)}\}$ este vectorul variabilelor nodale necunoscute pentru elementul (e).

- Vectorul gradienților variabilei de câmp ϕ poate fi exprimat funcție de vectorul variabilelor nodale:

$$\{g^{(e)}\} = [B^{(e)}]\{\Phi^{(e)}\}$$

unde $[B^{(e)}]$ conține diferențiale ale funcțiilor $[N^{(e)}]$

- Cu notațiile de mai sus funcționala pentru un element finit devine:

$$I^{(e)} = \int_{V^{(e)}} \frac{1}{2}\{\Phi^{(e)}\}^{T}[B^{(e)}]^{T}[D^{(e)}][B^{(e)}]\{\Phi^{(e)}\}\mathrm{d}V$$
$$- \int_{V^{(e)}} Q^{(e)}[N^{(e)}]\{\Phi^{(e)}\}\mathrm{d}V + \int_{S_2^{(e)}} q^{(e)}[N^{(e)}]\{\Phi^{(e)}\}\mathrm{d}S$$
$$+ \int_{S_3^{(e)}} \frac{h}{2}\{\Phi^{(e)}\}^{T}[N^{(e)}]^{T}[N^{(e)}]\{\Phi^{(e)}\}\ \mathrm{d}S - \int_{S_3^{(e)}} h\phi_{\infty}[N^{(e)}]\{\Phi^{(e)}\}\mathrm{d}S$$
$$+ \int_{S_3^{(e)}} \frac{h}{2}\phi_{\infty}^{2}\ \mathrm{d}S$$

- Conform principiilor variaționale, variabilele nodale se determină din condiția de minimizare a funcționalei care se exprimă prin: diferențierea funcționalei în raport cu variabilele nodale și punând condiția ca aceasta să fie = 0.

- În MEF, diferențierea funcționalei în raport cu fiecare variabilă nodală necunoscută, va conduce pentru un sistem cu „n" grade de libertate la „n" ecuații algebrice. Grupând în vectorul $\{\Phi_S\}$ variabilele nodale necunoscute pentru tot sistemul, diferențiala funcționalei se exprimă

$$\frac{\partial I}{\partial\{\Phi_s\}} = \frac{\partial}{\partial\{\Phi_s\}}\sum_{e=1}^{E} I^{(e)} = \sum_{e=1}^{E}\frac{\partial I^{(e)}}{\partial\{\Phi^{(e)}\}}$$

- Pentru un element finit (e) condiția de minimizare conduce la:

$$\frac{\partial I^{(e)}}{\partial\{\Phi^{(e)}\}} = \Bigg(\int_{V^{(e)}}[B^{(e)}]^{\mathrm{T}}[D^{(e)}][B^{(e)}]\mathrm{d}V + \int_{S_3^{(e)}} h[N^{(e)}]^{\mathrm{T}}[N^{(e)}]\mathrm{d}S\Bigg)\{\Phi^{(e)}\} - \int_{V^{(e)}} Q^{(e)}[N^{(e)}]^{\mathrm{T}}\mathrm{d}V + \int_{S_2^{(e)}} q^{(e)}[N^{(e)}]^{\mathrm{T}}\mathrm{d}S - \int_{S_3^{(e)}} h\phi_\infty[N^{(e)}]^{\mathrm{T}}\mathrm{d}S$$

expresie care poate fi scrisă condensat

$$\frac{\partial I^{(e)}}{\partial\{\Phi^{(e)}\}} = [k^{(e)}]\{\Phi^{(e)}\} - \{F^{(e)}\}$$

unde: $[k^{(e)}]$ - este echivalentul matricei de rigiditate a elementului

$\{F^{(e)}\}$ - este echivalentul forțelor echivalente nodale

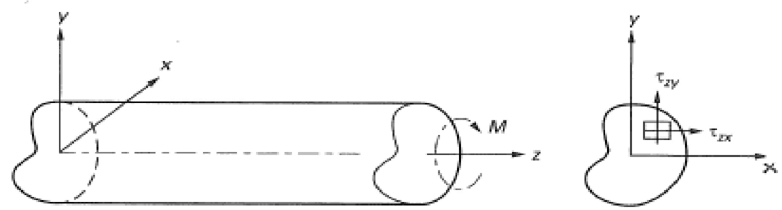
- Pentru întregul sistem

$$\frac{\partial I}{\partial\{\Phi_S\}} = \sum_{e=1}^{E}\left([k^{(e)}]\{\Phi^{(e)}\} - \{F^{(e)}\}\right) = 0$$

se obține sistemul ecuațiilor de condiție asamblat din contribuțiile elementelor finite ce alcătuiesc modelul discret.

e) Torsiunea liberă a grinzilor

- Se consideră o grindă cu secțiune transversală de formă oarecare solicitată la torsiune liberă
- Toate tensiunile cu excepția τ_{zy} și τ_{zx} sunt $= 0$

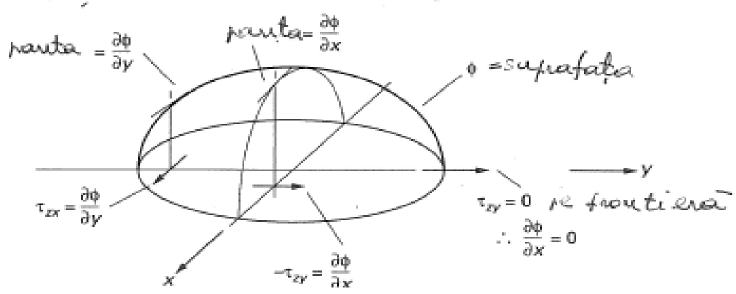


$$\sigma_{xx} = \sigma_{yy} = \sigma_{zz} = \tau_{xy} = 0$$

- Cel mai bun procedeu analitic pentru determinarea distribuției de tensiuni constă în utilizarea funcției lui Prandtl ϕ = funcția tensiunilor
- Funcția tensiunilor ϕ definită prin:

$$\tau_{zx} = \frac{\partial \phi}{\partial y} \qquad \tau_{zy} = -\frac{\partial \phi}{\partial x}$$

poate fi imaginată ca o suprafață care acoperă secțiunea transversală:



- Combinând ecuațiile de echilibru și de compatibilitate se obține ecuația diferențială care modelează torsiunea grinzilor:

$$\frac{\partial^2\phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\phi}{\partial y^2} = -2G\theta_1$$

unde G = modulul de elasticitate transversal
θ_1 = rotirea de torsiune/unitatea de lungime

- Întrucât tensiunile τ normale pe conturul secțiunii transversale sunt $= 0$, rezultă că panta suprafeței ϕ pe contur trebuie $= 0$ și în consecință variabila ϕ = constantă pe frontieră. Pentru simplitate se alege:

$\phi = 0$ pe frontieră (condiție de margine)

- Ecuația diferențială și condițiile de margine mai sus amintite sunt derivate din ecuația diferențială generală a proceselor de câmp considerând:

$K_x = K_y = 1$
$Q = -2G\theta_1$
$K_z = q = h = 0$

- Soluția cu elemente finite a ecuațiilor de câmp poate fi aplicată direct pentru rezolvarea problemei distribuției tensiunilor la grinzile solicitate la torsiune liberă.

- Necunoscutele problemei – funcția tensiunilor ϕ

- Momentul de torsiune se poate obține prin sumarea efectelor tensiunilor τ de pe secțiune și are expresia:

$$M = 2\int_A \phi \, dA$$; A = aria secțiunii transversale

- In formularea cu elemente finite a problemei torsiunii libere, vectorul gradienților funcției de tensiuni ϕ are expresia:

$$\{g\} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial \phi}{\partial x} \\ \frac{\partial \phi}{\partial y} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -\tau_{zy} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix}$$; iar matricea [D] devine:

$$[D] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- Ecuațiile de condiție în formularea cu elemente finite au forma:

$$\sum_{e=1}^{E} \left(\int_{V^{(e)}} [B^{(e)}]^{\mathrm{T}}[B^{(e)}]\mathrm{d}V\{\Phi^{(e)}\} - \int_{V^{(e)}} 2G\theta_1[N^{(e)}]^{\mathrm{T}}\mathrm{d}V \right) = 0$$

sau:

$$\sum_{e=1}^{E} \left([k^{(e)}]\{\Phi^{(e)}\} - \{F^{(e)}\} \right) = 0$$

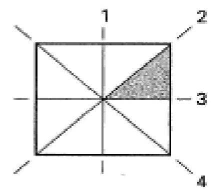
unde $\{\phi^{(e)}\}$ cuprinde valorile nodale ale funcției ϕ a tensiunilor.

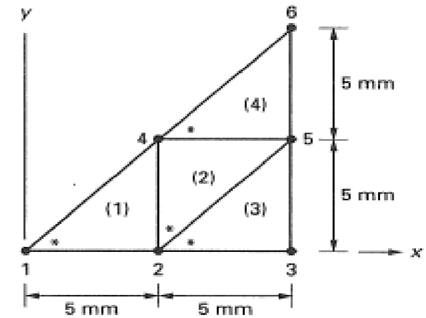
- Momentul de torsiune echivalent se poate determina sub forma:

$$M = \sum_{e=1}^{E} 2\int_{A^{(e)}} \phi^{(e)} \, \mathrm{d}A$$

f). Exemplu Numeric.

- Să se determine distribuţia tensiunilor τ pentru o secţiune transversală de formă pătrat 20x20 mm solicitată la torsiune cu unghiul de torsiune de 0,5° pe o lungime de 1000 mm. Modulul de elasticitate transversal $G = 80 \times 10^3$ MPa





- Secţiunea transversală dispune de 4 axe de simetrie, permiţând modelarea a numai 1/8 din aceasta.

- Modelarea secţiunii transversale se face cu elemente finite de formă triunghiulară liniare – distribuţia funcţiei ϕ pe un EF are variaţie liniară.

- Calcule aferente elem. finit (1)
  - variaţia funcţiei tensiunilor ϕ pe element

$$\phi^{(1)} = N_1\phi_1 + N_2\phi_2 + N_4\phi_4$$

ϕ_i = valoarea funcţiei ϕ la nodul „i"

unde:

$$\begin{Bmatrix} N_1 \\ N_2 \\ N_4 \end{Bmatrix} = \frac{1}{2A} \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_4 & b_4 & c_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ x \\ y \end{Bmatrix}$$

- matricea [B] are expresia:

$$[B^{(1)}] = \frac{1}{2A}\begin{bmatrix} b_1 & b_2 & b_4 \\ c_1 & c_2 & c_4 \end{bmatrix}$$

unde constantele a, b, c au expresiile:

$$\begin{aligned} b_1 &= y_2 - y_4 = -5.0 & c_1 &= x_4 - x_2 = 0.0 \\ b_2 &= y_4 - y_1 = 5.0 & c_2 &= x_1 - x_4 = -5.0 \\ b_4 &= y_1 - y_2 = 0.0 & c_4 &= x_2 - x_1 = 5.0 \end{aligned}$$

; $A = 12{,}5\ mm^2$

$$[B^{(1)}] = 0.2\begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

- matricea de rigiditate este evaluată sub forma:

$$[k^{(e)}] = \int_{V^{(e)}} [B^{(e)}]^{\mathrm{T}}[B^{(e)}]\mathrm{d}V = [B^{(e)}]^{\mathrm{T}}[B^{(e)}]A$$

; grosimea = 1

$$[k^{(1)}] = \begin{bmatrix} 0.5 & -0.5 & 0 \\ -0.5 & 1.0 & -0.5 \\ 0 & -0.5 & 0.5 \end{bmatrix}$$

- vectorul efectelor nodale echivalente este evaluat pe baza expresiei

$$\int_{V^{(e)}} 2G\theta_1[N^{(e)}]^{\mathrm{T}}\mathrm{d}V = 2G\theta_1\int_{A^{(e)}}\begin{Bmatrix} N_i \\ N_j \\ N_k \end{Bmatrix}\mathrm{d}A$$

; prin integrare pe suprafața triunghiului conduce la:

$$\{F^{(e)}\} = \frac{2G\theta_1 A^{(e)}}{3}\begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix}$$

; pentru $\theta_1 = 5°/1000\ mm = 8{,}727 \times 10^{-6}$ rad/mm

$G = 80 \times 10^3$ MPa

rezultă:

$$\{F^{(e)}\} = 5.818\begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix}$$

- Calcule aferente elementelor 2,3 și 4

$$[k^{(2)}] = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.0 & -0.5 \\ 0.0 & 0.5 & -0.5 \\ -0.5 & -0.5 & 1.0 \end{bmatrix} \qquad \{F^{(2)}\} = 5.818 \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix}$$

$$[k^{(3)}] = \begin{bmatrix} 0.5 & -0.5 & 0.0 \\ -0.5 & 1.0 & -0.5 \\ 0.0 & -0.5 & 0.5 \end{bmatrix} \qquad \{F^{(3)}\} = 5.818 \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix}$$

$$[k^{(4)}] = \begin{bmatrix} 0.5 & -0.5 & 0.0 \\ -0.5 & 1.0 & -0.5 \\ 0.0 & -0.5 & 0.5 \end{bmatrix} \qquad \{F^{(4)}\} = 5.818 \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix}$$

- Asamblarea sistemului de ecuații:

$$\begin{bmatrix} 0.5 & -0.5 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ -0.5 & 2.0 & -0.5 & -1.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & -0.5 & 1.0 & 0.0 & -0.5 & 0.0 \\ 0.0 & -1.0 & 0.0 & 2.0 & -1.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & -0.5 & -1.0 & 2.0 & -0.5 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & -0.5 & 0.5 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \\ \phi_5 \\ \phi_6 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 5.818 \\ 17.454 \\ 5.818 \\ 17.454 \\ 17.454 \\ 5.818 \end{Bmatrix}$$

- Impunerea condițiilor de margine:

$\phi_3 = \Phi_5 = \phi_6 = 0$

- Soluția sistemului de ecuații:

$$\{\Phi_S\}^T = [43.635 \;\; 31.999 \;\; 0 \;\; 24.726 \;\; 0 \;\; 0]$$

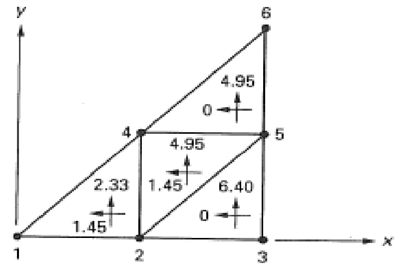
- Evaluarea tensiunilor pentru fiecare element finit

$$\{g^{(1)}\} = [B^{(1)}]\{\Phi^{(1)}\} = \begin{bmatrix} -0.2 & 0.2 & 0.0 \\ 0.0 & -0.2 & 0.2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_4 \end{Bmatrix}$$

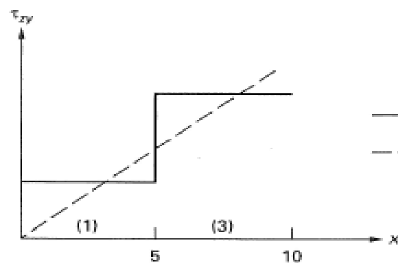
$$\begin{Bmatrix} \tau_{zy} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 2.33 \\ -1.45 \end{Bmatrix} \text{N/mm}^2$$; și similar pentru celelalte EF:

	τ_{zy}	τ_{zx}
2	4.95	−1.45
3	6.40	0.0
4	4.95	0.0

• Distribuția tensiunilor pe secțiunea transversală



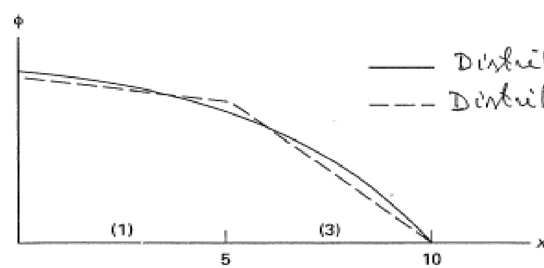
- Notă: Prin modul de alegere a variației funcției ϕ pe un element finit (liniar) rezultă că tensiunile τ sunt constante pe fiecare element finit



—— Distribuție τ_{zy} pe fiecare triunghi

--- Distribuție τ_{zy} prin centrele de greutate ale triunghiurilor.
($\tau_{zy} = 0$ la centru și maxim la marginile secțiunii)

• Variația funcției tensiunilor ϕ pe secțiunea transversală



—— Distribuție reală (teoretică)

--- Distribuție cu EF

Notă : 1) Momentul de torsiune este reprezentat de volumul mărginit de suprafața ϕ

2) Soluția obținută cu EF triunghiuri-liniare conduce la o subevaluare a momentului de torsiune: Remediere = sporirea fineței

- Evaluarea momentului de torsiune aferent unei rotiri de torsiune de $5°$ pe 1000 mm.
  - momentul de torsiune evaluat pe fiecare element finit, funcție de valorile nodale ϕ_i

$$M = 2\int_{A^{(e)}} \phi^{(e)} \mathrm{d}A = 2\int_{A^{(e)}} \{\Phi^{(e)}\}^{\mathrm{T}} [N^{(e)}]^{\mathrm{T}} \mathrm{d}A$$
$$= 2\{\Phi^{(e)}\}^{\mathrm{T}} \int_{A^{(e)}} [N^{(e)}]^{\mathrm{T}} \mathrm{d}A \quad \longrightarrow \quad M^{(e)} = \frac{2A\{\Phi^{(e)}\}^{\mathrm{T}}}{3} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix}$$

- momentul de torsiune aferent elementului (1)

$$M^{(1)} = \frac{2A}{3}(43.635 \quad 31.999 \quad 24.726) \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} = 836.3 \text{ N mm}$$

- momente de torsiune preluate de elementele 2, 3 și 4

$$M^{(2)} = 472.7 \qquad M^{(3)} = 266.6 \qquad M^{(4)} = 206.1 \text{ N mm}$$

- Momentul de torsiune pentru întreaga secțiune.

$$M = 8(836{,}6 + 472{,}7 + 266{,}6 + 206{,}1) = 14\,258{,}6 \text{ N·mm.}$$

Notă: 1) Valoarea teoretică a mom. de torsiune
$M_t = 15\,708$ N·mm.

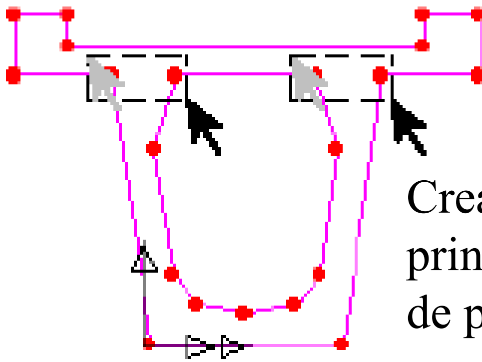
2) Modelarea cu EF subestimează valoarea mom. de torsiune cu 9,3%.

3) Rezultatele pot fi îmbunătățite prin creșterea numărului de EF în modelul discret sau prin utilizarea unor EF rafinate (parabolice în loc de liniare)

Calculul Caracteristicilor Geometrice

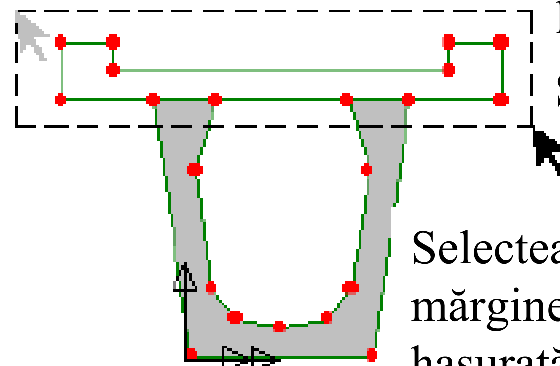
ale Sectiunilor Transversale

- **Se pot evalua caracteristicile geometrice ale secțiunilor transversale închise sau deschise**
- **Secțiunile sunt generate in LUSAS Modeller ca o Suprafață sau grup de Suprafețe**
- **Orice gol in secțiunea transversală va fi modelat ca o Suprafață separată care va fi introdusă în un grup numit Holes**
- **O secțiune poate cuprinde un număr arbitrar de goluri**
- **Unitățile de măsură pot fi alese de utilizator şi pot diferi de cele care sunt utilizate la analiza structurală întrucât automat are loc o conversie a unităților de măsură la momentul în care caracteristicile secțiiunii sunt extrase din biblioteca de secțiuni**
- **Caracteristicile geometrice calculate pot fi salvate in biblioteca de secțiuni aflată pe stația de lucru (local) sau pe server**

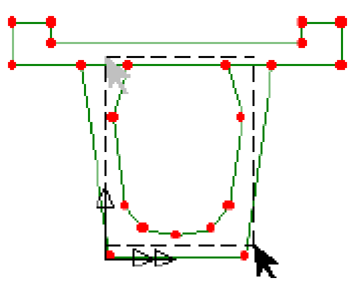


Crează linii
prin selectare
de puncte

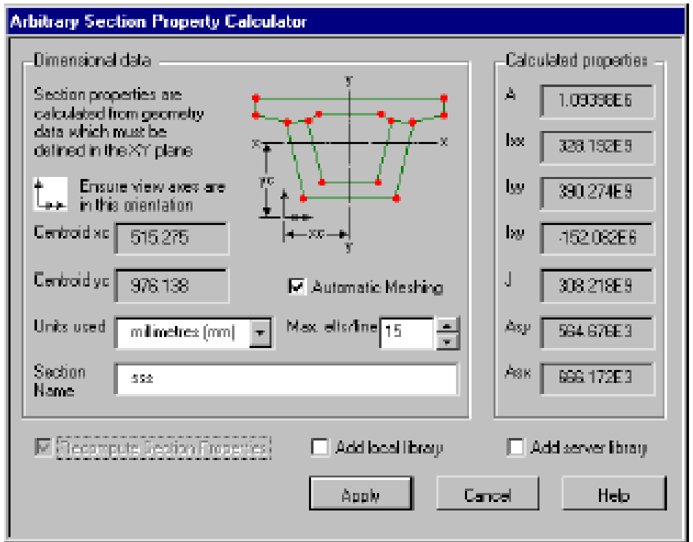
Selectează aceste
linii pentru a forma
Suprafața 1

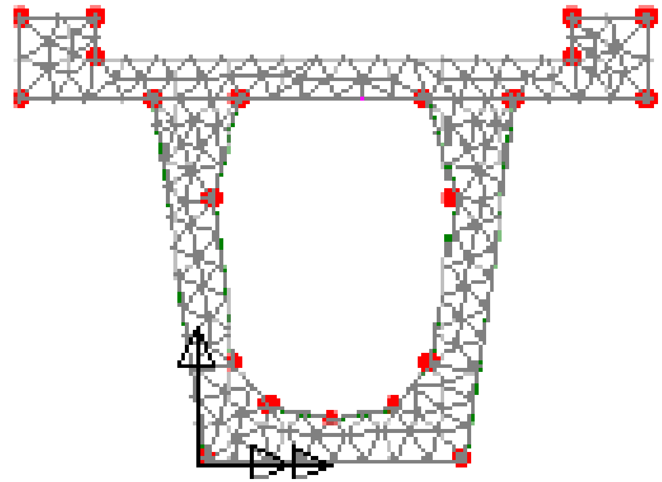


Selectează liniile care
mărginesc aria
haşurată pentru a
genera Suprafața 2



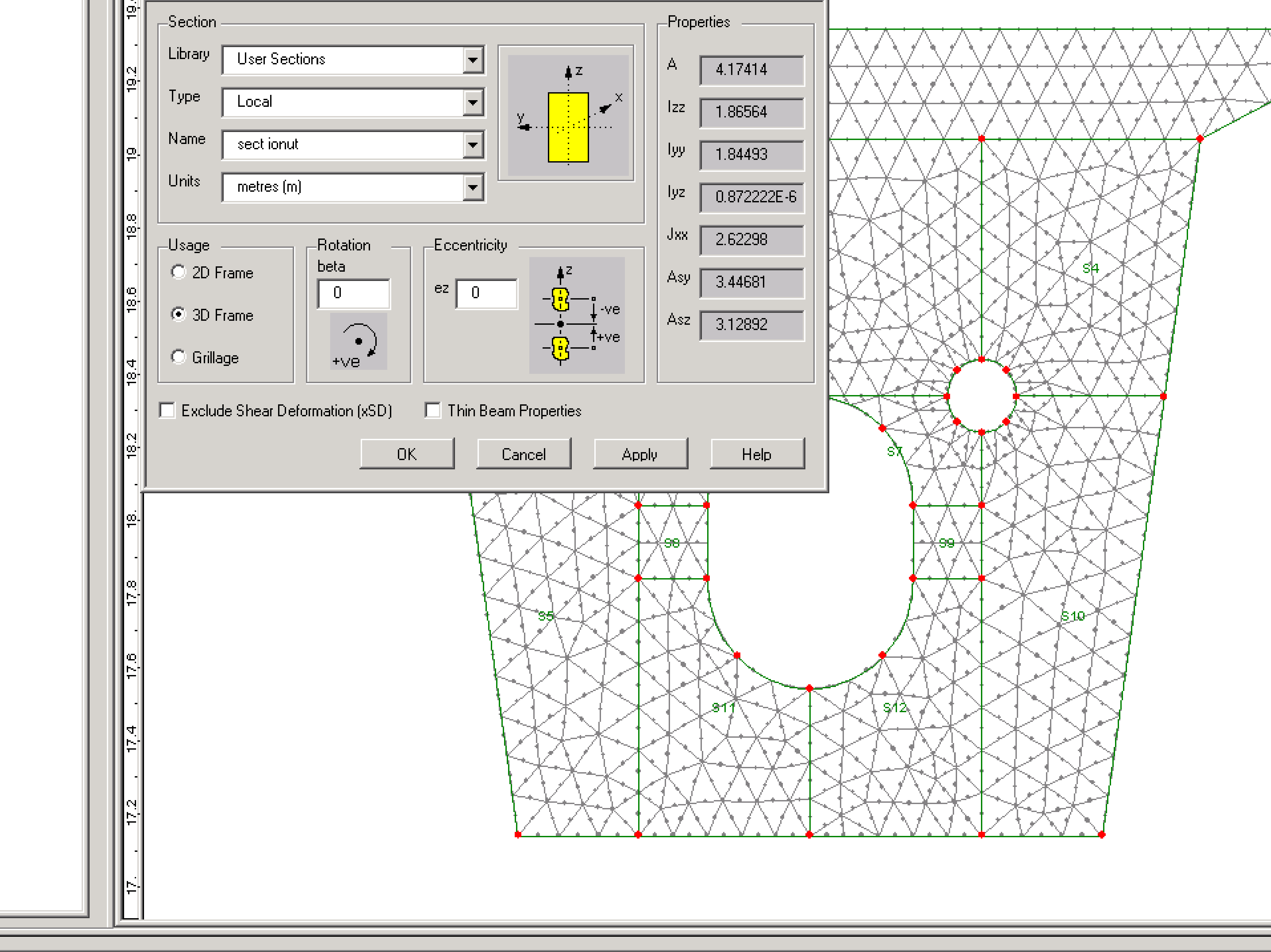
Selecteză liniile interioare
pentru a genera Suprafața 3



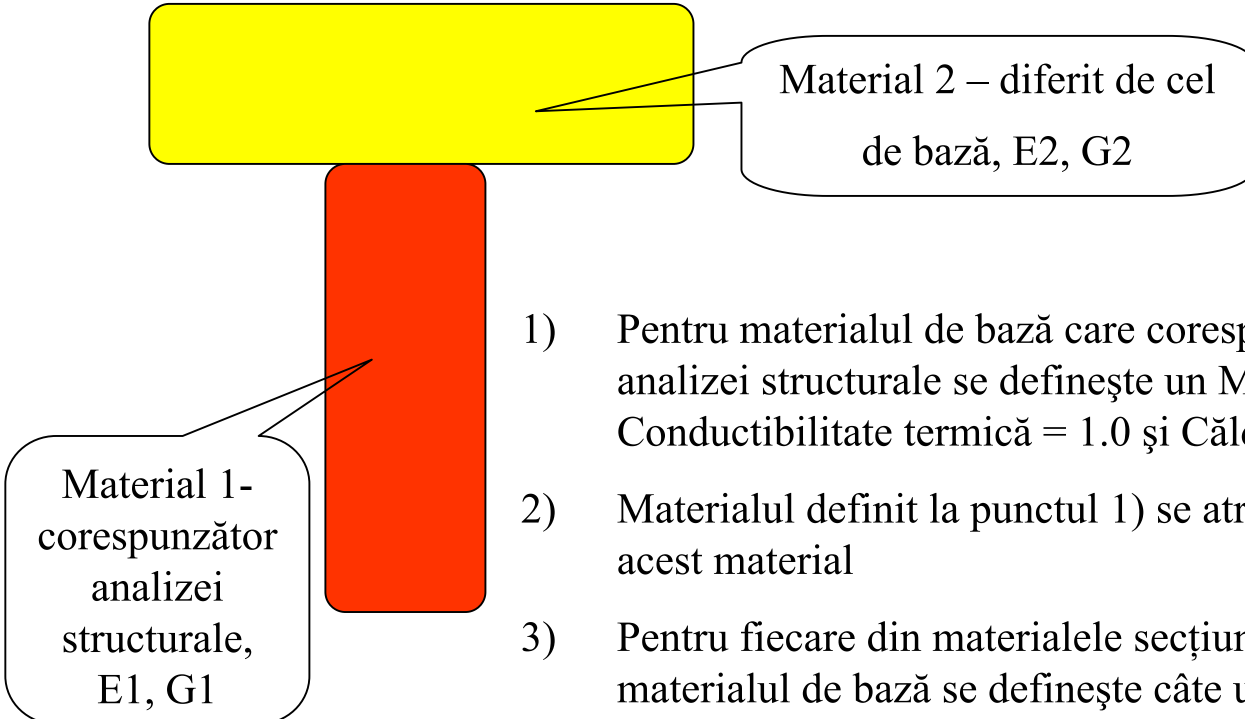


•Implicit discretizarea cu EF va cuprinde 15 elemente pe latura lunga şi minimum 2 elemente pe latura scurtă a fiecărei suprafețe

•Setările implicite pot fi modificate fie prin modificarea opțiunii “Max elts/line” sau prin modificarea opțiunilor din fereastra Surface Mesh din Treeview


Section
Library
User Sections
Type
Local
Name
sect ionut
Units
metres (m)
Properties
A 4.17414
Izz 1.86564
Iyy 1.84493
Iyz 0.872222E-6
Jxx 2.62298
Asy 3.44681
Asz 3.12892
Usage
2D Frame
3D Frame
Grillage
Rotation
beta
0
+ve
Eccentricity
ez
0
-ve
+ve
Exclude Shear Deformation (xSD)
Thin Beam Properties
OK
Cancel
Apply
Help
S4
S7
S8
S9
S5
S10
S11
S12
19.4
19.2
19
18.8
18.6
18.4
18.2
18
17.8
17.6
17.4
17.2
17

Determinarea Caracteristicilor Geometrice ale Secțiunilor Mixte



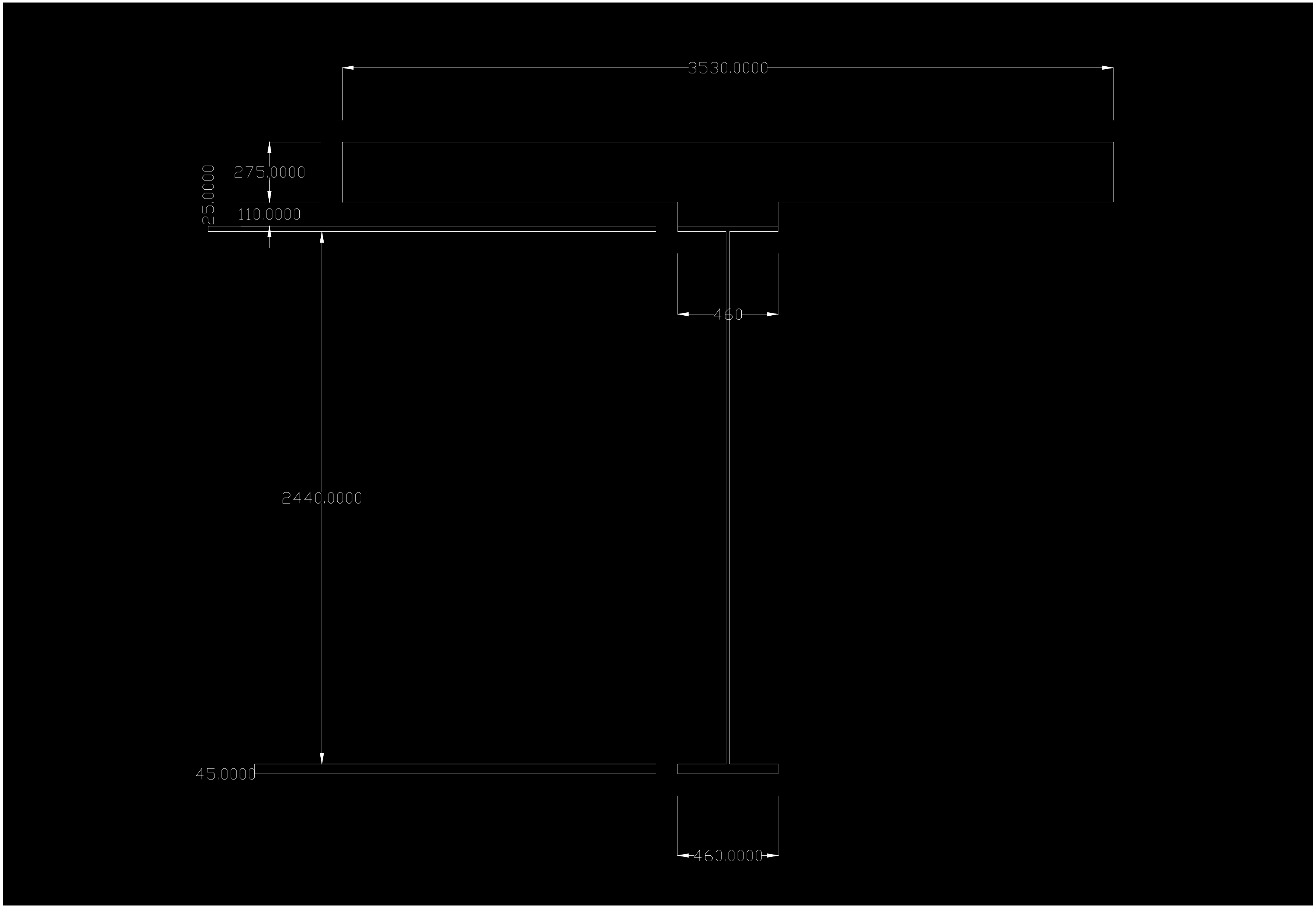
1) Pentru materialul de bază care corespunde celui utilizat în cadrul analizei structurale se defineşte un Material Termic Izotrop cu Conductibilitate termică = 1.0 şi Căldură specifică = 1.0

2) Materialul definit la punctul 1) se atribuie suprafețelor alcătuite din acest material

3) Pentru fiecare din materialele secțiunii care nu fac parte din materialul de bază se defineşte câte un Material Termic Izotrop cu Conductibilitate termică = G1/G2 şi Căldură specifică = E1/E2

4) Materialele definite la punctul 3) se atribuie suprafețelor alcătuite din materialele corespunzătoare

5) Pentru calculul caracteristicilor geometrice ale secțiunii transversale alcătuite din materiale definite se apelează la opțiunea Arbitrary Section Property Calculator în maniera utilizată la secțiuni omogene



3530.0000
275.0000
25.0000
110.0000
460
2440.0000
45.0000
460.0000