

Program SecPropFEM

Program SecPropFEM służy do obliczania charakterystyk geometrycznych cienkościennych przekrojów otwartych. Został napisany i testowany w systemie MATLAB 7.3.0 (R2006b). Program jest funkcją o składni:

`Section = SecPropFEM(Nodes, Elements, WarpNodes)`

gdzie:

`Nodes` – tablica zawierająca numery kolejne wierzchołków, i ich współrzędne (y, z) ,
`Elements` – tablica topologii, zawierająca definicję elementów czworokątnych,
`WarpNodes` – tablica z numerami wyróżnionych węzłów (może być pusta), dla tych węzłów obliczane są współrzędne w układzie głównym centralnym i wartość funkcji spaczenia,
`Section` – wynikowa struktura.

Program rozwiązuje zagadnienie Neumanna

$$\nabla^2 \omega(y, z) \equiv \frac{\partial^2 \omega(y, z)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \omega(y, z)}{\partial z^2} = 0, \quad (1)$$

z naturalnym warunkiem brzegowym na konturze Γ przekroju poprzecznego o wektorze $\mathbf{e}_n = \{e_{n_y} \ e_{n_z}\}$ normalnej zewnętrznej $\mathbf{n}$

$$\left(\frac{\partial \omega(y, z)}{\partial y} - z \right) e_{n_y} + \left(\frac{\partial \omega(y, z)}{\partial z} + y \right) e_{n_z} = 0, \quad (2)$$

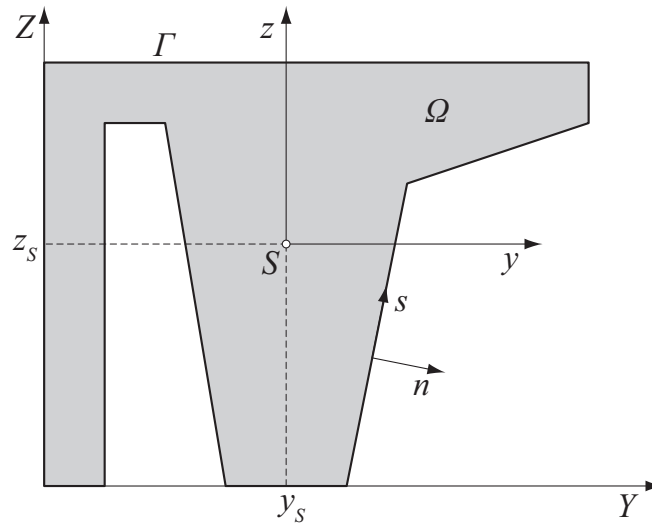
oraz z podstawowym warunkiem brzegowym

$$\omega(y_S, z_S) = 0. \quad (3)$$

w środku zginania S o współrzędnych (y_S, z_S) .

Przykładowy skrypt:

```
Nodes = [  
    1    0    0  
    2   10    0  
    3   0.5   0.4679  
    ...  
  1031   9.5517  0.8977  
];  
  
Elements = [  
    1   304   305   484   482  
    2   305    1   306   484  
    3   482   484   485    3  
    ...
```



Rys. 1. Przekrój poprzeczny profilu cienkościennego

```
869 1031 340 341 1027
];
```

```
MarkNodes = [6 5 92 3 4];
```

```
Section = SecPropFEM(Nodes, Elements, MarkNodes)
```

W wyniku działania programu otrzymamy strukturę Section:

```
Section =
    Area: 59.0995
    Sy: 2.3358e-012
    Sz: 3.3640e-013
    So: -8.0602e-012
    Jy: 8.0853e+003
    Jz: 493.9747
    Jyz: -6.5694e-010
    Jr: 8.5793e+003
    Jt: 39.2345
    Jo: 6.8183e+004
    Jyo: 3.4987e-009
    Jzo: -1.5277e-012
    Jry: 1.0099e+004
    Jrz: 1.1253e+003
    Jro: 352.0739
    UserYc: 2.7050
    UserZc: 14.9184
    UserYs: -2.6243
    UserZs: 14.9593
    Ys: -5.3292
    Zs: 0.0462
    Gamma: 9.9697e-004
    Transform: [2x2 double]
    WarpNodes: [5x4 double]
```

My4: 1.0903e+004
 Mz4: 1.4808e+006
 Mo4: 2.0518e+008
 My3: 1.4323e+003
 Mz3: 1.1066e+003
 Mo3: 2.4420e+004
 Moy2: 8.0718e+003
 Moz2: 2.1468e+003
 Moy: -2.7319
 Moz: -314.9520
 My3z: 175.1253
 My3o: 654.6312
 Mz3y: 1.9298e+003
 Mz3o: 5.1253e+005
 Mo3y: 1.9469e+005
 Mo3z: 2.3138e+007
 My2z2: 8.2034e+004
 My2o2: 1.4098e+006
 My2oy2: 8.1960e+004
 My2oz2: 3.9380e+004
 My2z: 18.7441
 My2o: 113.1077
 My2oy: -4.0762
 My2oz: -4.0549e+003
 Mz2o2: 1.2342e+007
 Mz2oy2: 1.4663e+006
 Mz2oz2: 3.9891e+005
 Mz2y: 8.6669e+003
 Mz2o: 238.9662
 Mz2oy: 745.0466
 Mz2oz: -5.1755e+004
 Mo2oy2: 1.2385e+007
 Mo2oz2: 4.9927e+006
 Mo2y: 1.6276e+005
 Mo2z: 8.7164e+003
 Mo2oy: 5.5594e+003
 Mo2oz: -5.2791e+005
 Myoy2: 8.6934e+003
 Myoz2: 6.4417e+003
 Mzoy2: 374.2829
 Mzoz2: 29.7665
 Myoy: 3.2428e-004
 Myoz: -474.3565
 Mzoy: 8.0657e+003
 Mzoz: 0.0035
 Mooy2: 155.6904
 Mooz2: 190.9111
 Mooy: 109.2331
 Mooz: -7.0502
 My2zo: 2.4241e+005
 Mz2yo: 1.1355e+004
 Mo2yz: 4.0196e+004

Myzoy2:	1.1321e+003
Myzoz2:	451.5591
Myzo:	7.0166e+004
Myzoy:	8.6619e+003
Myzoz:	-24.8622
Myooy2:	4.8034e+003
Myooz2:	1.9853e+003
Mzooy2:	5.5781e+005
Mzooz2:	9.4859e+005
Myooy:	7.0318e+004
Myooz:	-112.2013
Mzooy:	201.2043
Mzooz:	-6.6912e+004

W poniższych wzorach oznaczono:

a – powierzchnia przekroju poprzecznego,

ω – funkcja spaczenia,

y, z – współrzędne punktu w przekroju poprzecznym.

Wynikowa struktura Section zawiera następujące pola:

Area – pole powierzchni przekroju poprzecznego profilu cienkościennego,

$$A = \iint_a dy dz, \quad (4)$$

S_y – moment statyczny względem osi y ,

$$S_y = \iint_a z dy dz, \quad (5)$$

S_z – moment statyczny względem osi z ,

$$S_z = \iint_a y dy dz, \quad (6)$$

S_ω – moment statyczny spaczenia,

$$S_\omega = \iint_a \omega dy dz, \quad (7)$$

J_y – moment bezwładności względem osi y ,

$$J_y = \iint_a z^2 dy dz, \quad (8)$$

J_z – moment bezwładności względem osi z ,

$$J_z = \iint_a y^2 dy dz, \quad (9)$$

J_{yz} – odśrodkowy moment bezwładności,

$$J_{yz} = \iint_a y \cdot z dy dz, \quad (10)$$

J_r – biegunowy moment bezwładności,

$$J_r = \iint_a (y^2 + z^2) \, dy \, dz, \quad (11)$$

J_t – moment bezwładności przy skręcaniu,

$$J_t = \iint_a \left(y^2 + z^2 + y \cdot \frac{\partial \omega}{\partial z} - z \cdot \frac{\partial \omega}{\partial y} \right) \, dy \, dz, \quad (12)$$

J_o – moment bezwładności spaczenia,

$$J_\omega = \iint_a \omega^2 \, dy \, dz, \quad (13)$$

$J_{y\omega}$ – moment odśrodkowy spaczenia,

$$J_{y\omega} = \iint_a y \cdot \omega \, dy \, dz, \quad (14)$$

$J_{z\omega}$ – moment odśrodkowy spaczenia,

$$J_{z\omega} = \iint_a z \cdot \omega \, dy \, dz, \quad (15)$$

J_{ry} – moment wyższego rzędu,

$$J_{ry} = \iint_a (y^2 + z^2) \cdot y \, dy \, dz, \quad (16)$$

J_{rz} – moment wyższego rzędu,

$$J_{rz} = \iint_a (y^2 + z^2) \cdot z \, dy \, dz, \quad (17)$$

$J_{r\omega}$ – moment wyższego rzędu,

$$J_{r\omega} = \iint_a (y^2 + z^2) \cdot \omega \, dy \, dz, \quad (18)$$

$UserY_c, UserZ_c$ – współrzędne (y_C, z_C) środka ciężkości w układzie współrzędnych użytkownika,

$UserY_s, UserZ_s$ – współrzędne (y_S, z_S) środka zginania w układzie współrzędnych użytkownika,

$UserY_q, UserZ_q$ – współrzędne (y_Q, z_Q) głównego punktu zerowej współrzędnej wycinkowej w układzie użytkownika,

Y_s, Z_s – współrzędne (Y_S, Z_S) środka zginania w układzie osi głównych centralnych,

Y_q, Z_q – współrzędne (Y_Q, Z_Q) głównego punktu zerowej współrzędnej wycinkowej w układzie osi głównych centralnych,

Γ – kąt transformacji z układu użytkownika do układu osi głównych,

$Transform$ – tablica transformacji z układu użytkownika do układu osi głównych,

$NodesWarping$ – współrzędne wyróżnionych węzłów i wartość funkcji spaczenia w wyróżnionych węzłach w układzie głównych osi centralnych,

M_{y^4} – moment wyższego rzędu,

$$M_{y^4} = \iint_a y^4 \, dy \, dz, \quad (19)$$

Mz4 – moment wyższego rzędu,

$$M_{z^4} = \iint_a z^4 dy dz, \quad (20)$$

Mo4 – moment wyższego rzędu,

$$M_{\omega^4} = \iint_a \omega^4 dy dz, \quad (21)$$

My3 – moment wyższego rzędu,

$$M_{y^3} = \iint_a y^3 dy dz, \quad (22)$$

Mz3 – moment wyższego rzędu,

$$M_{z^3} = \iint_a z^3 dy dz, \quad (23)$$

Mo3 – moment wyższego rzędu,

$$M_{\omega^3} = \iint_a \omega^3 dy dz, \quad (24)$$

Moy2 – moment wyższego rzędu,

$$M_{\omega, y^2} = \iint_a \left(\frac{\partial \omega}{\partial y} \right)^2 dy dz, \quad (25)$$

Moz2 – moment wyższego rzędu,

$$M_{\omega, z^2} = \iint_a \left(\frac{\partial \omega}{\partial z} \right)^2 dy dz, \quad (26)$$

Moy – moment wyższego rzędu,

$$M_{\omega, y} = \iint_a \frac{\partial \omega}{\partial y} dy dz, \quad (27)$$

Moz – moment wyższego rzędu,

$$M_{\omega, z} = \iint_a \frac{\partial \omega}{\partial z} dy dz, \quad (28)$$

My3z – moment wyższego rzędu,

$$M_{y^3 z} = \iint_a y^3 \cdot z dy dz, \quad (29)$$

My3o – moment wyższego rzędu,

$$M_{y^3 \omega} = \iint_a y^3 \cdot \omega dy dz, \quad (30)$$

Mz3y – moment wyższego rzędu,

$$M_{z^3y} = \iint_a z^3 \cdot y \, dy \, dz, \quad (31)$$

Mz3o – moment wyższego rzędu,

$$M_{z^3\omega} = \iint_a z^3 \cdot \omega \, dy \, dz, \quad (32)$$

Mo3y – moment wyższego rzędu,

$$M_{\omega^3y} = \iint_a \omega^3 \cdot y \, dy \, dz, \quad (33)$$

Mo3z – moment wyższego rzędu,

$$M_{\omega^3z} = \iint_a \omega^3 \cdot z \, dy \, dz, \quad (34)$$

My2z2 – moment wyższego rzędu,

$$M_{y^2z^2} = \iint_a y^2 \cdot z^2 \, dy \, dz, \quad (35)$$

My2o2 – moment wyższego rzędu,

$$M_{y^2\omega^2} = \iint_a y^2 \cdot \omega^2 \, dy \, dz, \quad (36)$$

My2oy2 – moment wyższego rzędu,

$$M_{y^2\omega, y^2} = \iint_a y^2 \cdot \left(\frac{\partial \omega}{\partial y} \right)^2 \, dy \, dz, \quad (37)$$

My2oz2 – moment wyższego rzędu,

$$M_{y^2\omega, z^2} = \iint_a y^2 \cdot \left(\frac{\partial \omega}{\partial z} \right)^2 \, dy \, dz, \quad (38)$$

My2z – moment wyższego rzędu,

$$M_{y^2z} = \iint_a y^2 \cdot z \, dy \, dz, \quad (39)$$

My2o – moment wyższego rzędu,

$$M_{y^2\omega} = \iint_a y^2 \cdot \omega \, dy \, dz, \quad (40)$$

My2oy – moment wyższego rzędu,

$$M_{y^2\omega, y} = \iint_a y^2 \cdot \frac{\partial \omega}{\partial y} \, dy \, dz, \quad (41)$$

My2oz – moment wyższego rzędu,

$$M_{y^2\omega,z} = \iint_a y^2 \cdot \frac{\partial \omega}{\partial z} dy dz, \quad (42)$$

Mz2o2 – moment wyższego rzędu,

$$M_{z^2\omega^2} = \iint_a z^2 \cdot \omega^2 dy dz, \quad (43)$$

Mz2oy2 – moment wyższego rzędu,

$$M_{z^2\omega,y^2} = \iint_a z^2 \cdot \left(\frac{\partial \omega}{\partial y} \right)^2 dy dz, \quad (44)$$

Mz2oz2 – moment wyższego rzędu,

$$M_{z^2\omega,z^2} = \iint_a z^2 \cdot \left(\frac{\partial \omega}{\partial z} \right)^2 dy dz, \quad (45)$$

Mz2y – moment wyższego rzędu,

$$M_{z^2y} = \iint_a z^2 \cdot y dy dz, \quad (46)$$

Mz2o – moment wyższego rzędu,

$$M_{z^2\omega} = \iint_a z^2 \cdot \omega dy dz, \quad (47)$$

Mz2oy – moment wyższego rzędu,

$$M_{z^2\omega,y} = \iint_a z^2 \cdot \frac{\partial \omega}{\partial y} dy dz, \quad (48)$$

Mz2oz – moment wyższego rzędu,

$$M_{z^2\omega,z} = \iint_a z^2 \cdot \frac{\partial \omega}{\partial z} dy dz, \quad (49)$$

Mo2oy2 – moment wyższego rzędu,

$$M_{\omega^2\omega,y^2} = \iint_a \omega^2 \cdot \left(\frac{\partial \omega}{\partial y} \right)^2 dy dz, \quad (50)$$

Mo2oz2 – moment wyższego rzędu,

$$M_{\omega^2\omega,z^2} = \iint_a \omega^2 \cdot \left(\frac{\partial \omega}{\partial z} \right)^2 dy dz, \quad (51)$$

Mo2y – moment wyższego rzędu,

$$M_{\omega^2y} = \iint_a \omega^2 \cdot y dy dz, \quad (52)$$

Mo2z – moment wyższego rzędu,

$$M_{\omega^2 z} = \iiint_a \omega^2 \cdot z \, dy \, dz, \quad (53)$$

Mo2oy – moment wyższego rzędu,

$$M_{\omega^2 \omega, y} = \iiint_a \omega^2 \cdot \frac{\partial \omega}{\partial y} \, dy \, dz, \quad (54)$$

Mo2oz – moment wyższego rzędu,

$$M_{\omega^2 \omega, z} = \iiint_a \omega^2 \cdot \frac{\partial \omega}{\partial z} \, dy \, dz, \quad (55)$$

Myoy2 – moment wyższego rzędu,

$$M_{y\omega, y^2} = \iiint_a y \cdot \left(\frac{\partial \omega}{\partial y} \right)^2 \, dy \, dz, \quad (56)$$

Myoz2 – moment wyższego rzędu,

$$M_{y\omega, z^2} = \iiint_a y \cdot \left(\frac{\partial \omega}{\partial z} \right)^2 \, dy \, dz, \quad (57)$$

Mzoy2 – moment wyższego rzędu,

$$M_{z\omega, y^2} = \iiint_a z \cdot \left(\frac{\partial \omega}{\partial y} \right)^2 \, dy \, dz, \quad (58)$$

Mzoz2 – moment wyższego rzędu,

$$M_{z\omega, z^2} = \iiint_a z \cdot \left(\frac{\partial \omega}{\partial z} \right)^2 \, dy \, dz, \quad (59)$$

Myoy – moment wyższego rzędu,

$$M_{y\omega, y} = \iiint_a y \cdot \frac{\partial \omega}{\partial y} \, dy \, dz, \quad (60)$$

Myoz – moment wyższego rzędu,

$$M_{y\omega, z} = \iiint_a y \cdot \frac{\partial \omega}{\partial z} \, dy \, dz, \quad (61)$$

Mzoy – moment wyższego rzędu,

$$M_{z\omega, y} = \iiint_a z \cdot \frac{\partial \omega}{\partial y} \, dy \, dz, \quad (62)$$

Mzoz – moment wyższego rzędu,

$$M_{z\omega, z} = \iiint_a z \cdot \frac{\partial \omega}{\partial z} \, dy \, dz, \quad (63)$$

Mooy2 – moment wyższego rzędu,

$$M_{\omega\omega,y^2} = \iint_a \omega \cdot \left(\frac{\partial \omega}{\partial y} \right)^2 dy dz, \quad (64)$$

Mooz2 – moment wyższego rzędu,

$$M_{\omega\omega,z^2} = \iint_a \omega \cdot \left(\frac{\partial \omega}{\partial z} \right)^2 dy dz, \quad (65)$$

Mooy – moment wyższego rzędu,

$$M_{\omega\omega,y} = \iint_a \omega \frac{\partial \omega}{\partial y} dy dz, \quad (66)$$

Mooz – moment wyższego rzędu,

$$M_{\omega\omega,z} = \iint_a \omega \frac{\partial \omega}{\partial z} dy dz, \quad (67)$$

My2zo – moment wyższego rzędu,

$$M_{y^2z\omega} = \iint_a y^2 \cdot z \cdot \omega dy dz, \quad (68)$$

Mz2yo – moment wyższego rzędu,

$$M_{z^2y\omega} = \iint_a z^2 \cdot y \cdot \omega dy dz, \quad (69)$$

Mo2yz – moment wyższego rzędu,

$$M_{\omega^2yz} = \iint_a \omega^2 \cdot y \cdot z dy dz, \quad (70)$$

Myzoy2 – moment wyższego rzędu,

$$M_{yz\omega,y^2} = \iint_a y \cdot z \cdot \left(\frac{\partial \omega}{\partial y} \right)^2 dy dz, \quad (71)$$

Myzoz2 – moment wyższego rzędu,

$$M_{yz\omega,z^2} = \iint_a y \cdot z \cdot \left(\frac{\partial \omega}{\partial z} \right)^2 dz dz, \quad (72)$$

Myzo – moment wyższego rzędu,

$$M_{yz\omega} = \iint_a y \cdot z \cdot \omega dy dz, \quad (73)$$

Myzoy – moment wyższego rzędu,

$$M_{yz\omega,y} = \iint_a y \cdot z \frac{\partial \omega}{\partial y} dy dz, \quad (74)$$

Myzoz – moment wyższego rzędu,

$$M_{yz\omega,z} = \iint_a y \cdot z \cdot \frac{\partial \omega}{\partial z} dy dz, \quad (75)$$

Myooy2 – moment wyższego rzędu,

$$M_{y\omega\omega,y} = \iint_a y \cdot \omega \cdot \left(\frac{\partial \omega}{\partial y} \right)^2 dy dz, \quad (76)$$

Myooz2 – moment wyższego rzędu,

$$M_{y\omega\omega,z} = \iint_a y \cdot \omega \cdot \left(\frac{\partial \omega}{\partial z} \right)^2 dy dz, \quad (77)$$

Mzooy2 – moment wyższego rzędu,

$$M_{z\omega\omega,y} = \iint_a z \cdot \omega \cdot \left(\frac{\partial \omega}{\partial y} \right)^2 dy dz, \quad (78)$$

Mzooz2 – moment wyższego rzędu,

$$M_{z\omega\omega,z} = \iint_a z \cdot \omega \cdot \left(\frac{\partial \omega}{\partial z} \right)^2 dy dz, \quad (79)$$

Myooy – moment wyższego rzędu,

$$M_{y\omega\omega,y} = \iint_a y \cdot \omega \cdot \frac{\partial \omega}{\partial y} dy dz, \quad (80)$$

Myooz – moment wyższego rzędu,

$$M_{y\omega\omega,z} = \iint_a y \cdot \omega \cdot \frac{\partial \omega}{\partial z} dy dz, \quad (81)$$

Mzooy – moment wyższego rzędu,

$$M_{z\omega\omega,y} = \iint_a z \cdot \omega \cdot \frac{\partial \omega}{\partial y} dy dz, \quad (82)$$

Mzooz – moment wyższego rzędu,

$$M_{z\omega\omega,z} = \iint_a z \cdot \omega \cdot \frac{\partial \omega}{\partial z} dy dz. \quad (83)$$

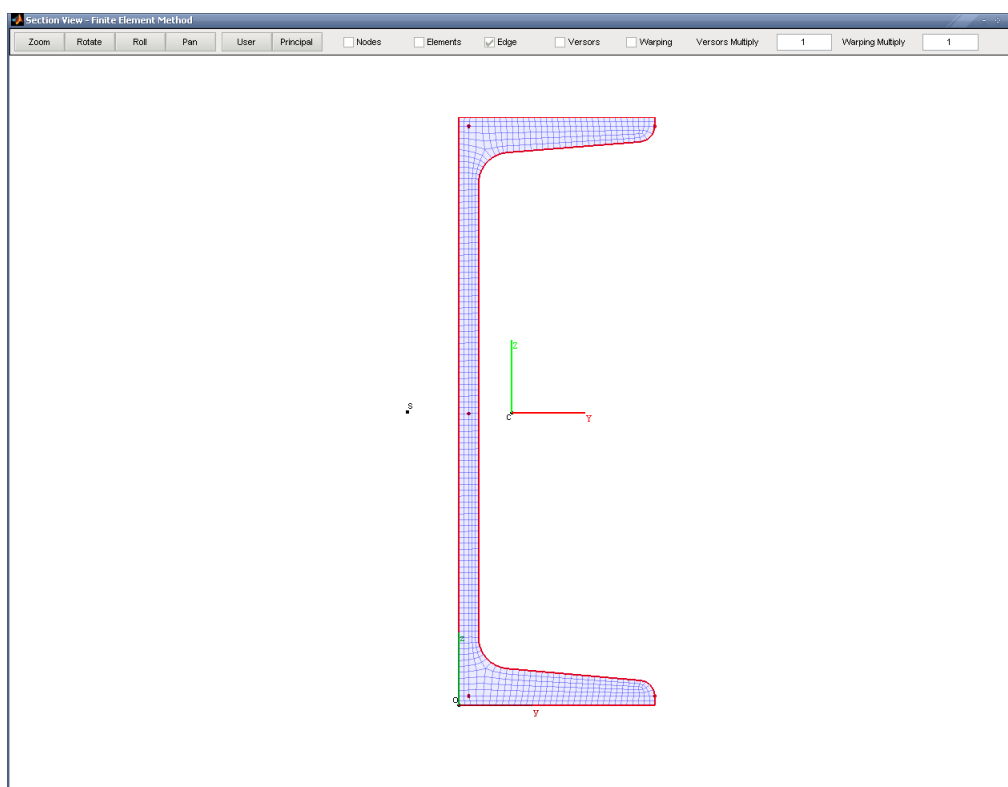
Na górnym pasku znajdują się narzędzia:

Zoom	– powiększanie i zmniejszanie szkicu przekroju,
Rotate	– dowolny obrót szkicu,
Roll	– obrót szkicu w płaszczyźnie ekranu,
Pan	– przesuwanie szkicu,

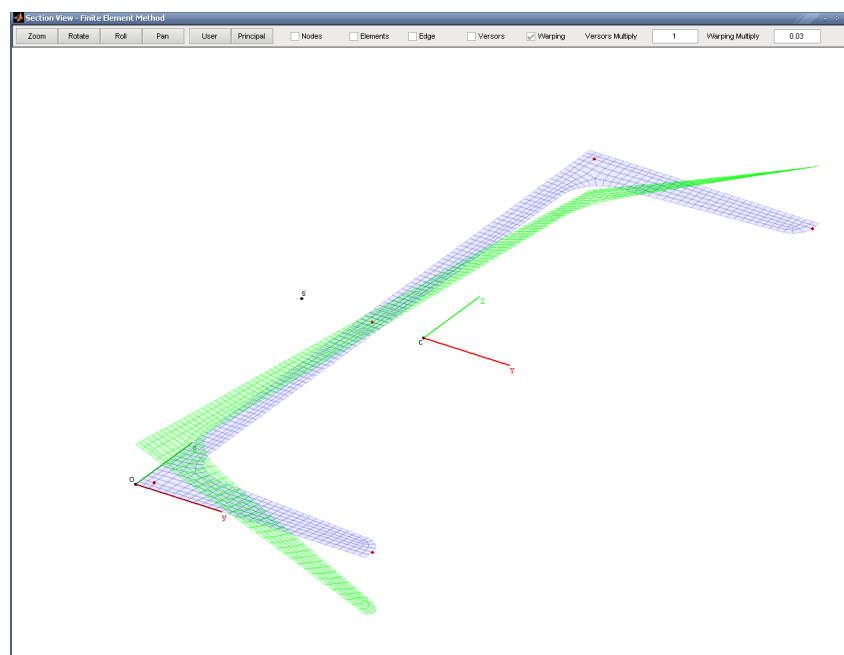
<input type="button" value="User"/>	–	włączenie widoku w układzie współrzędnych użytkownika,
<input type="button" value="Principal"/>	–	włączenie widoku w układzie współrzędnych głównych centralnych,
☐ Nodes	–	włączenie wyświetlania numerów węzłów,
☐ Elements	–	włączenie wyświetlania numerów elementów,
☐ Edge	–	włączenie wyświetlania zewnętrznej krawędzi,
☐ Versors	–	włączenie wyświetlania normalnych zewnętrznej krawędzi,
☐ Warping	–	włączenie wyświetlania funkcji spaczenia,

Można ponadto zmienić wartości parametrów:

Versors Multiply	<input type="text" value="1"/>	–	wartość mnożnika skali używanej przy rysowaniu normalnych zewnętrznej krawędzi,
Warping Multiply	<input type="text" value="1"/>	–	wartość mnożnika skali używanej przy rysowaniu funkcji spaczenia.



Rys. 2. Okno programu SecPropFEM



Rys. 3. Okno programu SecPropFEM z narysowaną funkcją spaczenia