

# MEF-AII.1.2

## MODELAREA, ALGORITMIZAREA ȘI PROGRAMAREA (ÎN MATLAB) CU ELEMENTE FINITE A STRUCTURILOR DISCRETE UNIDIRECȚIONALE

### CUPRINS

MEF-AII.1.2.1 DEFINIREA PROBLEMEI

MEF -AII.1.2.2 ADOPTAREA METODEI DE GENERARE A MODELULUI NUMERIC

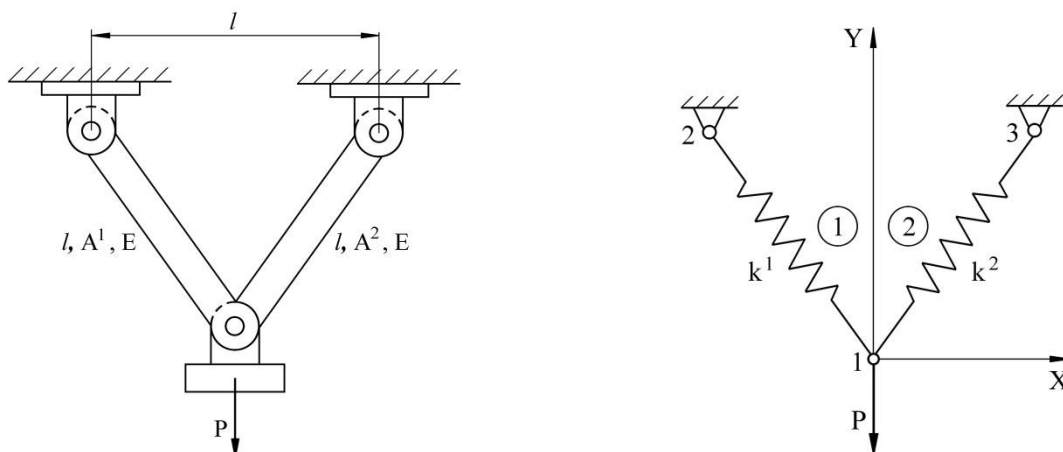
MEF -AII.1.2.3 MODELAREA NUMERICĂ

MEF -AII.1.2.4 ALGORITMIZAREA ȘI PROGRAMAREA ÎN MATLAB

MEF -AII.1.2.5 ANALIZA REZULTATELOR

### MEF -AII.1.2.1 DEFINIREA PROBLEMEI

*Problema 2.* Se consideră o structură simplă din bare articulate în plan (fig. 1 ). În acest caz se observă că deplasările și forțele nodale ale structurii se definesc în raport cu sistemul global xOy.



**Fig. 1** Structură de bare: **a**-model real; **b**-model de analiză cu elemente finite discrete

Date inițiale:  $l=2000\text{m}$ ,  $A^{1,2}=0.01/0.02$ ;  $E=2.e11$ ; 1(0,0), 2(-1,1), 3(1,1)

### MEF -AII.1.2.2 ADOPTAREA MODELULUI DE ANALIZĂ ȘI A METODEI DE GENERARE A MODELULUI NUMERIC

Procedeele folosite frecvent pentru deducerea modelului numeric al elementului finit sunt structurate în patru metode: directă, variatională, reziduurilor ponderate și energetică.

În cazul aplicației definită mai sus având în vedere simplitatea structurii încărcată static se adoptă *metoda directă*. Această metodă, derivată din mecanica structurilor pe baza formulării matriceale a metodei deplasărilor, a creat, începând cu anul 1959, premisele trecerii la MEF. Metoda directă este rar utilizată datorită generalității restrânse deși este caracterizată de un nivel ridicat de sugestivitate. Metodele matriceale în deplasări au la bază teoremele lucrului mecanic virtual, conservării energiei, conservarea masei etc.

## MEF -AII.1.2.3 MODELAREA NUMERICĂ

Pentru obținerea modelului numeric cu elemente asociat comportării structurii la deformare elastică se parcurg etapele:

a. Ecuații de echilibru ale elementelor componente

*Formularea prin metoda deplasărilor*

În coordonate locale elementul din fig. 2 are o comportare unidirecțională similar cu elementele din fig. 1 cu matricea de rigiditate dată de relația,

$$\begin{bmatrix} k^e & 0 & -k^e & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -k^e & 0 & k^e & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ u_j \\ v_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_i^e \\ 0 \\ P_j^e \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

în care,

$$k^e = \frac{(P_j^e - P_i^e)l^e}{EA^e}.$$

În coordonate globale această relație are forma,

$$\begin{bmatrix} k_{11}^e & k_{12}^e & k_{13}^e & k_{14}^e \\ k_{21}^e & k_{22}^e & k_{23}^e & k_{24}^e \\ k_{31}^e & k_{32}^e & k_{33}^e & k_{34}^e \\ k_{41}^e & k_{42}^e & k_{43}^e & k_{44}^e \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{xi} \\ v_{xi} \\ u_{xj} \\ v_{yj} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{xi}^e \\ F_{yi}^e \\ F_{xj}^e \\ F_{yj}^e \end{bmatrix} \quad (2)$$

Pentru determinarea valorilor elementelor matricei  $[k^e]$  în coordonate globale se determină relațiile de transformare a deplasărilor (fig. 2),

$$\begin{aligned} u_i &= u_{xi} \cos \alpha^e + v_{yi} \sin \alpha^e, \\ v_i &= -u_{xi} \sin \alpha^e + v_{yi} \cos \alpha^e, \\ u_j &= u_{xj} \cos \alpha^e + v_{yj} \sin \alpha^e, \\ v_j &= -u_{xj} \sin \alpha^e + v_{yj} \cos \alpha^e \end{aligned} \quad (3)$$

și ale forțelor nodale,

$$\begin{aligned} P_i^e &= F_{xi}^e \cos \alpha^e + F_{yi}^e \sin \alpha^e, \\ P_j^e &= F_{xj}^e \cos \alpha^e + F_{yj}^e \sin \alpha^e, \end{aligned}$$

cu următoarele forme matriceale extinse,

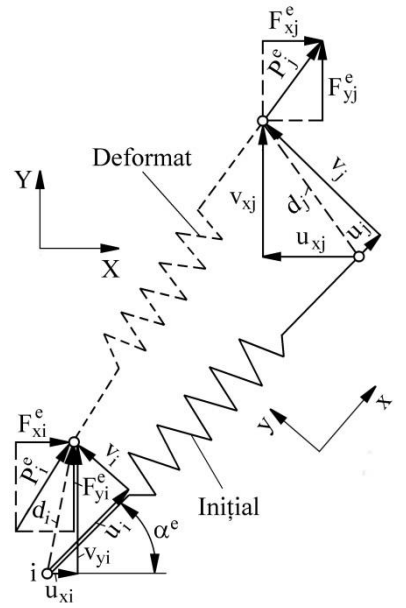
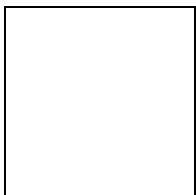
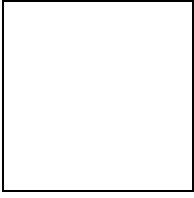


Fig. 2

(4)

respectiv,



(5)

și sintetice,

$$[d^e] = [T][d_{xy}^e],$$

respectiv,

$$[q^e] = [T][q_{xy}^e].$$

Prin înlocuire rezultă,

$$[k^e][T][d_{xy}^e] = [T][q_{xy}^e]$$

$$[T]^{-1}[k^e][T][d_{xy}^e] = [q_{xy}^e]$$

$$[k_{xy}^e][d_{xy}^e] = [q_{xy}^e]$$

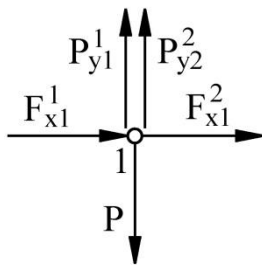
$$[k_{xy}^e] = k^e \begin{bmatrix} (\cos \alpha^e)^2 & \cos \alpha^e \sin \alpha^e & -(\cos \alpha^e)^2 & -\cos \alpha^e \sin \alpha^e \\ \cos \alpha^e \sin \alpha^e & (\sin \alpha^e)^2 & -\cos \alpha^e \sin \alpha^e & -(\sin \alpha^e)^2 \\ -(\cos \alpha^e)^2 & -\cos \alpha^e \sin \alpha^e & (\cos \alpha^e)^2 & \cos \alpha^e \sin \alpha^e \\ -\cos \alpha^e \sin \alpha^e & -(\sin \alpha^e)^2 & \cos \alpha^e \sin \alpha^e & (\sin \alpha^e)^2 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Ecuțiile de echilibru ale forțelor din nodurile 1, 2 și 3 (fig. 3) sunt:

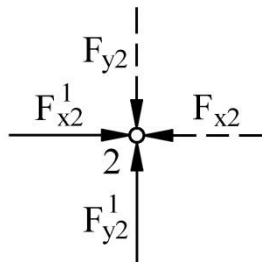
$$F_{x1}^1 + F_{x1}^2 = 0, \quad P_{y1}^1 + F_{y1}^2 - P = 0, \quad (7)$$

$$F_{x2}^1 - F_{x2} = 0, \quad F_{y2}^1 - F_{y2} = 0, \quad (8)$$

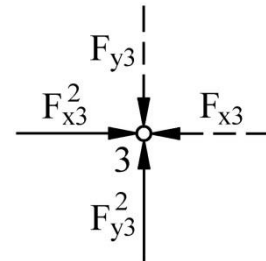
$$F_{x3}^2 - F_{x3} = 0, \quad F_{y3}^2 - F_{y3} = 0. \quad (9)$$



a



b



c

Fig. 3

Relațiile de mai sus personalizate pentru cele două elemente (e =1,2) precum și relațiile (7), (8), (9) formează un sistem algebric liniar de ecuații cu necunoscute, deplasările nodale,  $v_i$ ,  $i=1,\dots,5$ , forțele interne și reacțiunile din reazeme.

Pe de altă parte, algoritmul de formare a sistemului de ecuații în vederea generalizării precum și facilitării implementării sub formă de programe se poate întocmi mai structurat prin următoarele etape:

- *Ecuatiile elementelor componente*

Relațiile transpuse în formă matriceală extinsă și sintetică reprezintă ecuația de comportare a elementului e, în care apare matricea de rigiditate a elementului, matricea deplasărilor necunoscute și, respectiv, matricea forțelor. Aceste seturi de ecuații luate separat se constituie ca sisteme algebric nedeterminat de 2 ecuații cu 4 necunoscute.

Astfel, se scrie pentru cele 2 elemente următoarele matrice:

| e | $[k_{xy}^e]$                                                                                                                                                                                                     | $[q_{xy}^e]$                                                                 |
|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | $\begin{bmatrix} k_{11}^1 & k_{12}^1 & k_{13}^1 & k_{14}^1 \\ k_{21}^1 & k_{22}^1 & k_{23}^1 & k_{24}^1 \\ k_{31}^1 & k_{32}^1 & k_{33}^1 & k_{34}^1 \\ k_{41}^1 & k_{42}^1 & k_{43}^1 & k_{44}^1 \end{bmatrix}$ | $\begin{bmatrix} F_{x1}^1 \\ F_{y1}^1 \\ F_{x2}^1 \\ F_{y2}^1 \end{bmatrix}$ |
| 2 | $\begin{bmatrix} k_{11}^2 & k_{12}^2 & k_{13}^2 & k_{14}^2 \\ k_{21}^2 & k_{22}^2 & k_{23}^2 & k_{24}^2 \\ k_{31}^2 & k_{32}^2 & k_{33}^2 & k_{34}^2 \\ k_{41}^2 & k_{42}^2 & k_{43}^2 & k_{44}^2 \end{bmatrix}$ | $\begin{bmatrix} F_{x1}^2 \\ F_{y1}^2 \\ F_{x3}^2 \\ F_{y3}^2 \end{bmatrix}$ |

$$\begin{bmatrix} k_{11}^1 + k_{11}^2 & k_{12}^1 + k_{12}^2 & k_{13}^1 & k_{14}^1 & 0 & 0 \\ k_{21}^1 + k_{21}^2 & k_{22}^1 + k_{22}^2 & k_{23}^1 & k_{24}^1 & 0 & 0 \\ k_{31}^1 & k_{32}^1 & k_{33}^1 & k_{34}^1 & 0 & 0 \\ k_{41}^1 & k_{42}^1 & k_{43}^1 & k_{44}^1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & k_{33}^2 & k_{34}^2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & k_{43}^2 & k_{44}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{x1} \\ v_{y1} \\ u_{x2} \\ v_{y2} \\ u_{x3} \\ v_{y3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{x1}^1 + F_{x1}^2 \\ F_{y1}^1 + F_{y1}^2 \\ F_{x2}^1 \\ F_{y2}^1 \\ F_{x3}^2 \\ F_{y3}^2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} k_{11}^1 + k_{11}^2 & k_{12}^1 + k_{12}^2 & k_{13}^1 & k_{14}^1 & 0 & 0 \\ k_{21}^1 + k_{21}^2 & k_{22}^1 + k_{22}^2 & k_{23}^1 & k_{24}^1 & 0 & 0 \\ k_{31}^1 & k_{32}^1 & k_{33}^1 & k_{34}^1 & 0 & 0 \\ k_{41}^1 & k_{42}^1 & k_{43}^1 & k_{44}^1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & k_{33}^2 & k_{34}^2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & k_{43}^2 & k_{44}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{x1} \\ v_{y1} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ P \\ F_{x2}^1 \\ F_{y2}^1 \\ F_{x3}^2 \\ F_{y3}^2 \end{bmatrix}$$

| Elemente finite | 1     | 2 |
|-----------------|-------|---|
| Noduri          | Local |   |
| Global          | 1     | 2 |
|                 | 2     | 3 |

#### b. Ecuația de comportare a sistemului

Determinarea deformațiilor, forțelor interne și tensiunilor

Din relația,

$$\varepsilon^e = (u_j - u_i) / l = (u_{xj} \cos \alpha^e + v_{yj} \sin \alpha^e - u_{xi} \cos \alpha^e + v_{yi} \sin \alpha^e) / l, \quad (9)$$

se obține,

$$\varepsilon^e = [-\cos \alpha^e \quad -\sin \alpha^e \quad \cos \alpha^e \quad \sin \alpha^e] \begin{bmatrix} u_{xi} \\ v_{yi} \\ u_{xj} \\ v_{yj} \end{bmatrix}.$$

$$\varepsilon^e = [B^e][d_{xy}^e]$$

## MEF-AII.1.2.4 ALGORITMIZAREA ȘI PROGRAMAREA ÎN MATLAB

### *Date de intrare*

#### 1. Introducerea datelor

##### **Datele de intrare care descriu parametrii modelului de analiză**

Datele de intrare necesare pentru descrierea structurii idealizate, în vederea modelării cu elemente finite, se pot sintetiza în patru grupe.

Parametrii care dau informații generale despre structura de analizat și matricele de rigiditate au următoarele notații, valori și semnificații:

##### **a. Date generale despre structură**

**ne** = 2 - numărul de elemente finite ale structurii;

**nn** = 3 - numărul de noduri ale structurii;

**[ cn ]<sub>ne,2</sub>** = **[ 1 2; 1 3 ]** – matricea de conexiuni a elementelor finite ale structurii, care se completează cu numerele nodurilor elementelor finite conform modelului de analiză;

##### **b. Date despre proprietățile fizice ale elementelor elastice**

**[ re ]<sub>ne</sub>** = **[ 2.10<sup>11</sup> 2.10<sup>11</sup> ]** – matricea rigidităților elementelor elastice conține valorile rigidităților arcurilor în N/m<sup>2</sup>.

##### **c. Date despre încărcarea structurii**

**[ Fn ]<sub>nn</sub>** = **[ 0 -1000 0 0 0 ]** – matricea încărcărilor nodale conține valorile forțelor, exprimate în N, care acționează în noduri cu respectarea sistemului de coordonate global.

##### **d. Date despre condițiile limită**

**[ dl ]<sub>nn</sub>** = **[ 1 0 1 0 0 ]** – matricea condițiilor limită conține valori egale cu 1 pentru deplasările nodale nule (cunoscute) și egale cu 0 pentru deplasările nodale necunoscute.

```
Date generale despre structură
Numărul de elemente finite ale structurii          ne=2
Numărul de noduri ale structurii                  nn=3
Matricea de conexiuni                             cn=[1 2; .... ne]=[1 2;1 3]

Date despre geometria structurii
Matricea absciselor nodale                        Gxy=[x1 y1; ....nn]=[0 0;-1 1;1 1
Date despre secțiunile barelor
Ariile secțiunilor barelor                       Aria=[A1 A2 ....ne]=[4e-4 2e-4]
Date despre caracteristicile materialelor barelor
Modulele de elasticitate                         Model=[E1 E2 .... ne]=[2e11 2e11]
Date despre încărcarea structurii în noduri
Matricea încărcărilor nodale                     Fcxy=[Fx1 Fy1; ... nn]=[0 -1e5;0 0;0
Date despre condițiile limită
Matricea condițiilor limită                      dl=[0/1 0/1; ... nn]=[0 0;1 1;1 1]
```

#### **Datele care descriu parametrii modelului numeric**

Parametrii care descriu modelul numeric în legătură cu matricele de rigiditate asociate elementului finit și structurii sunt calculate în modulul de mai jos.

Matricea de identificare se generează pornind de la matricea de conexiuni în vederea identificării pozițiilor valorilor elementelor matricelor de rigiditate elementale în matricea de rigiditate a structurii în vederea însumării succesive (asamblare). În cazul acestei aplicații numărul de grade de libertate pe nod, ngl = 1, matricea de identitate este identică cu matricea de conexiuni.

| Linii de program                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Valori variabile |        |   |   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|--------|---|---|
| <pre> % Parametrii modelului numeric nne=2;           %numărul de noduri ale elementului finit de referință ngl=1;           %numărul gradelor de libertate ale unui nod necel=nne*ngl;   %dimensiunea matricei de rigiditate elementale necs=nn*ngl;     %dimensiunea matricei de rigiditate a structurii </pre> | 2                |        |   |   |
| <pre> % Parametrii geometrici (lungimile barelor, sin și cos) for i=1:ne     Lun(i)=sqrt((Gxy(cn(i,2),2)-Gxy(cn(i,1),2))^2+(Gxy(cn(i,2),1)-Gxy(cn(i,1),1))^2);     sinalfa(i)= ((Gxy(cn(i,2),2)-Gxy(cn(i,1),2))/Lun(i);     cosalfa(i)= ((Gxy(cn(i,2),1)-Gxy(cn(i,1),1))/Lun(i); end </pre>                       | 1.4142           | 1.4142 |   |   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0.7071           | 0.7071 |   |   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | -0.7071          | 0.7071 |   |   |
| <pre> %Matricea de identificare id=zeros(ne,necel); for i=1:ne     for j=1:nne         for j1=0:ngl-1             id(i,ngl*j-j1)=ngl*cn(i,j)-j1;         end     end end </pre>                                                                                                                                   | 1                | 2      | 3 | 4 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 1                | 2      | 5 | 6 |

## Matricele de rigiditate ale elementelor finite și asamblarea

```

% Matricele de rigiditate ale elementelor și structurii
% Inițializarea matricei de rigiditate a structurii
K=zeros(necs);
for i=1:ne
    % Matricea de transformare a elementului i
    T=[ cosalfa(i) sinalfa(i)    0    0 ;
        -sinalfa(i) cosalfa(i)    0    0 ;
        0    0    cosalfa(i) sinalfa(i);
        0    0    -sinalfa(i) cosalfa(i)];

    % Elementele matricei de rigiditate ale elementului i in sist. local
    re(i)=Aria(i)*Model(i)/Lun(i); % rigiditatea elementului i
    %Matricea de rigiditate a elementului i
    kel=[re(i)  0  -re(i)  0;
         0  0  0  0;
        -re(i)  0  re(i)  0;
         0  0  0  0];

    % Matricea de rigiditate a elementului i in sist. global
    ke=T'*kel*T;
    % Matricea de rigiditate a structurii
    for m=1:necel
        for j=1:necel
            K(id(i,m),id(i,j))=K(id(i,m),id(i,j))+ke(m,j);
        end
    end
end

```

Calcul valorilor elementelor unei matrice de rigiditate și transferarea acestora în matricea de rigiditate a structurii se realizează în patru pași: generarea matricei de transformare [ T ], generarea matricei elementului finit în coordonate locale, generarea matricei elementului finit în coordonate globale și asamblarea acesteia prin însumarea valorilor elementelor cu valorile corespunzătoare din matricea de rigiditate a structurii ținând cont de matricea de identitate. Această succesiune se repetă pentru cele patru elemente finite ale structurii. Astfel, se evidențiază matricele de rigiditate obținute precum și evoluția valorilor matricei de rigiditate prin asamblare.

|                    | Elementul finit |         |         |         |         |            |         |         |         |         |
|--------------------|-----------------|---------|---------|---------|---------|------------|---------|---------|---------|---------|
|                    | 1               |         |         |         |         | 2          |         |         |         |         |
| [T]                | -0.7071         | 0.7071  | 0       | 0       |         | 0.7071     | 0.7071  | 0       | 0       |         |
|                    | -0.7071         | -0.7071 | 0       | 0       |         | -0.7071    | 0.7071  | 0       | 0       |         |
|                    | 0               | 0       | -0.7071 | 0.7071  |         | 0          | 0       | 0.7071  | 0.7071  |         |
|                    | 0               | 0       | -0.7071 | -0.7071 |         | 0          | 0       | -0.7071 | 0.7071  |         |
| [k]                | 1.0e+007 *      | 5.6569  | 0       | -5.6569 | 0       |            | 2.8284  | 0       | -2.8284 | 0       |
|                    |                 | 0       | 0       | 0       | 0       |            | 0       | 0       | 0       | 0       |
|                    |                 | -5.6569 | 0       | 5.6569  | 0       | 1.0e+007 * | -2.8284 | 0       | 2.8284  | 0       |
|                    |                 | 0       | 0       | 0       | 0       |            | 0       | 0       | 0       | 0       |
| [k <sub>xy</sub> ] | 1.0e+007 *      | 2.8284  | -2.8284 | -2.8284 | 2.8284  |            | 1.4142  | 1.4142  | -1.4142 | -1.4142 |
|                    |                 | -2.8284 | 2.8284  | 2.8284  | -2.8284 |            | 1.4142  | 1.4142  | -1.4142 | -1.4142 |
|                    |                 | -2.8284 | 2.8284  | 2.8284  | -2.8284 | 1.0e+007 * | -1.4142 | -1.4142 | 1.4142  | 1.4142  |
|                    |                 | 2.8284  | -2.8284 | -2.8284 | 2.8284  |            | -1.4142 | -1.4142 | 1.4142  | 1.4142  |

| [K]        |         |         |         |         |         |         | Q       |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|            | 4.2426  | -1.4142 | -2.8284 | 2.8284  | -1.4142 | -1.4142 | 0       |
|            | -1.4142 | 4.2426  | 2.8284  | -2.8284 | -1.4142 | -1.4142 | -100000 |
| 1.0e+007 * | -2.8284 | 2.8284  | 2.8284  | -2.8284 | 0       | 0       | 0       |
|            | 2.8284  | -2.8284 | -2.8284 | 2.8284  | 0       | 0       | 0       |
|            | -1.4142 | -1.4142 | 0       | 0       | 1.4142  | 1.4142  | 0       |
|            | -1.4142 | -1.4142 | 0       | 0       | 1.4142  | 1.4142  | 0       |
|            |         |         |         |         |         |         | 0       |

### Introducerea forțelor

Deoarece încărcările sunt forțe concentrate în noduri și structura are un singur grad de libertate, matricea încărcărilor este egală cu matricea transpusă a forțelor nodale.

Rezolvarea numerică a sistemului din relația se face în trei faze. Prima, presupune eliminarea ecuațiilor care conțin necunoscutele, forțele de reacțiune, având la bază vectorul cunoscut al condițiilor limită. A doua fază, implică determinarea necunoscutele principale, deplasările nodale prin rezolvarea sistemului algebric obținut la prima etapă. Cea de treia fază presupune determinarea celorlalte necunoscute, forțele de reacțiune și forțele interne, în acest caz. Cele trei faze sunt explicitate, în continuare.

```
% Matricea încărcărilor (termenilor liberi)
for j=1:nn
    Q(2*j-1,1)=Fcxy(j,1);
    Q(2*j,1)=Fcxy(j,2);
end
```

### Introducerea condițiilor limită

Din considerente de pragmatism de lizibilitate și programare eliminarea ecuațiilor care conțin necunoscutele din matricea termenilor liberi, deci pentru obținerea singularității, se personalizează cu zero valorile elementelor liniilor și coloanelor care sunt asociate cu deplasări nule prin datele de intrare mai puțin cele diagonale care se indexează cu valoarea 1. Pentru a se conserva matricea de rigiditate, pentru a fi folosită ulterior, operația de implementare a condițiilor limită se face pe matricea [K1] prin intermediul valorilor cunoscute ale matricei condițiilor limită [dl].

```

        % Introducerea condițiilor limită
% Matricea de indexare a condițiilor limită
i1=0;
dl1=zeros(necs,1);
for i=1:nn
    for j=1:ngl
        i1=i1+1;
        dl1(i1)=dl(i,j);
    end
end
K1=K; %Conservarea matricei de rigiditate
for i=1:necs
    if dl1(i) ~= 0;
        for j=1:necs
            K1(i,j)=0;
        end
        for i1=1:necs
            K1(i1,i)=0;
        end
        K1(i,i)=1;
    end
end
end

```

| [ K1]      |         |         |        |        |        |        | [dl1] | Q       |
|------------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|-------|---------|
|            | 4.2426  | -1.4142 | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     | 0       |
|            | -1.4142 | 4.2426  | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     | -100000 |
|            | 0       | 0       | 0.0000 | 0      | 0      | 0      | 1     | 0       |
| 1.0e+007 * | 0       | 0       | 0      | 0.0000 | 0      | 0      | 1     | 0       |
|            | 0       | 0       | 0      | 0      | 0.0000 | 0      | 1     | 0       |
|            | 0       | 0       | 0      | 0      | 0      | 0.0000 | 1     | 0       |
|            | 0       | 0       | 0      | 0      | 0      | 0      | 1     | 0       |

## Rezolvarea modelului numeric

În urma rezolvării sistemului rezultă matricea deplasărilor.

## Calculul necunoscutelor secundare

```

        %Determinarea forțelor
%Forte nodale (externe + interne)
F=K*d;
% Tensiunile din bare
for i=1:ne
    B =[-cosalfa(i) -sinalfa(i) cosalfa(i) sinalfa(i)]/Lun(i);
    Tens(i) = Model(i)*B*[d(2*cn(i,1)-1) d(2*cn(i,1)) d(2*cn(i,2))

```

## Date de ieșire (rezultate)

```

        %Rezultate, prezentare tabelar
t=' Nr. nod      Deplas dupa x  Deplas dupa y      Forța (ext/rect)dupa x      Forța (ext/rect)dupa y'; disp(t);
for i=1:nn
t=sprintf('%5g %18g %14g %24g %24g',i,d(2*i-1),d(2*i), F(2*i-1), F(2*i)); disp(t);
end
disp(' ');
t=' Nr. elem.  Forța internă      Tensiunea'; disp(t);
for i=1:ne
    t= sprintf('%5g %17g %18g',i,ef(i),tens(i)); disp(t);
end

```

| Nr. nod | u            | v           |
|---------|--------------|-------------|
| 1       | -0.000841794 | -0.00252538 |
| 2       | 0            | 0           |
| 3       | 0            | 0           |



| Nr. elem. | N/i      | N/j     |
|-----------|----------|---------|
| 1         | -70710.7 | 70710.7 |
| 2         | -70710.7 | 70710.7 |