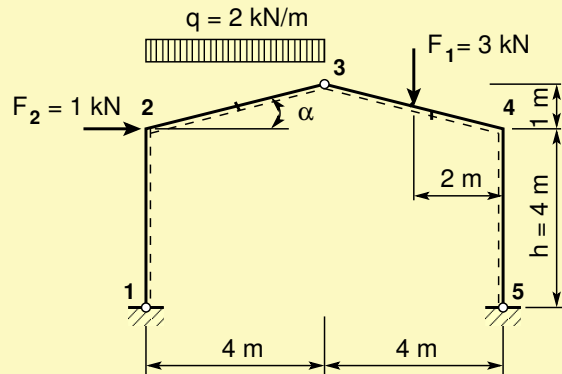


Ehitusmehaanika. EST meetod

Kolme liigendiga raam



Andres Lahe
 Mehaanikainstituut
 Tallinna Tehnikaülikool

Tallinn 2010

Sisukord

| | | |
|---|--------------------------------|----|
| 1 | Ülesanne | 4 |
| 2 | Sissejuhatus | 6 |
| 3 | Raami põhivõrrandid | 14 |
| 4 | Raami sõlmede tasakaal | 18 |
| 5 | Raami toe- ja kõrvaltingimused | 24 |
| 6 | Raami toereaktsioonid | 29 |
| 7 | Raami staatikaline kontroll | 32 |
| 8 | Raami paindemomendi epüür | 33 |
| 9 | Raami põikjõu epüür | 34 |

Täis



Tagasi

Edasi

Sulge

Lõpeta

10 Raami normaaljõu epüür

35

11 Viited

36



3/37

Täis

◀◀

▶▶

◀

▶

Tagasi

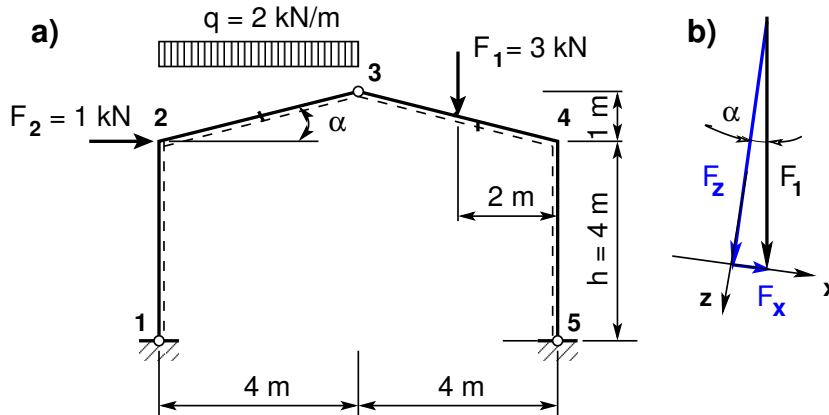
Edasi

Sulge

Lõpeta

Ülesanne

Koostada joonisel 1 näidatud staatikaga määratud raami paindemomendi, põikjõu ja pikijõu epüürid EST meetodiga.



Joonis 1. Kolme liigendiga raam

Teisendame jaotatud koormuse q koormuseks q_k kaldu oleva varda pikikusele l_2 (1). Lahutame koormuse q_k komponentideks (q_x – projektsioon

kohalikule teljele x ja q_z – projektsioon kohalikule teljele z) ja laseme arvutada arvutil, siis saame suurema täpsuse.

$$\begin{aligned}
 q_x &= -q_k * \sin \alpha, & kus \quad \sin \alpha &= 1.0/l_2 \\
 q_z &= q_k * \cos \alpha, & kus \quad \cos \alpha &= 4.0/l_2 \\
 q_k &= q * 4.0/l_2, & kus \quad l_2 &= \sqrt{4^2 + 1.0^2}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Koormuse F_1 (vt joonis 1 b)) lahutame komponentideks (F_x – projektsioon kohalikule teljele x ja F_z – projektsioon kohalikule teljele z) ja laseme arvutada arvutil, siis saame suurema täpsuse. Ka jõu F rakenduspunkti kauguse laseme arvutada arvutil kohalikus teljestikus. Avaldisega (2) on toodud jõu F projektsioonid kohalikus teljestikus. (vt joonis 5).

$$\begin{aligned}
 F_x &= F_1 * \sin \alpha, & kus \quad \sin \alpha &= 1.0/l_2 \\
 F_z &= F_1 * \cos \alpha, & kus \quad \cos \alpha &= 4.0/l_2 \\
 aF &= l_3/2, & kus \quad l_3 &= \sqrt{4^2 + 1.0^2}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Täis



Tagasi

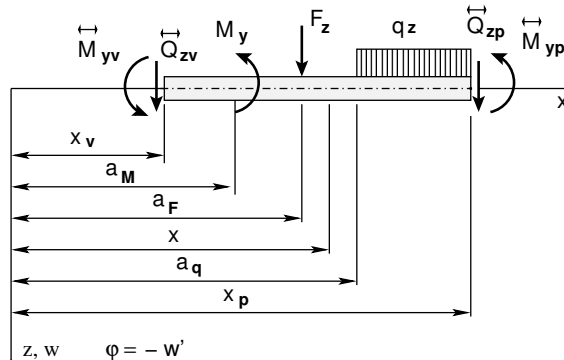
Edasi

Sulge

Lõpeta

Sissejuhatus

Joonisel 2 on näidatud varda jõudude ja siirete positiivsed suunad vastavalt teisele märgikokkuleppele



Joonis 2. Universaalvõrrand

$$\begin{aligned}
 w_p = w_v - (\varphi_y)_v x + \frac{1}{EI_y} \sum \mathcal{M}_y \frac{(x_p - a_M)_+^2}{2!} + \\
 + \frac{1}{EI_y} \sum F_z \frac{(x_p - a_F)_+^3}{3!} + \frac{1}{EI_y} \sum q_z \frac{(x_p - a_q)_+^4}{4!}
 \end{aligned} \quad (3)$$

Elastse joone universaalvõrrandis (3) on järgmised tähistused:

EI_y – varda ristlõike jäikus,

\mathcal{M}_y – momentkoormus,

F_z – koondatud jõud,

q_z – ühtlaselt jaotatud koormus

Võtame avaldisest (3) tuletised ja võtame kasutusele tähistused (4)

$$w_0 = w_0, \quad w'_0 = -\varphi_0, \quad w''_0 = -\frac{M_y}{EI}, \quad w'''_0 = -\frac{Q_z}{EI} \quad (4)$$

Kirjutame saadud võrrandid välja maatriks kujul (5)

$$\mathbf{Z}_p = \mathbf{U}\mathbf{Z}_v + \overset{\circ}{\mathbf{Z}} \quad (5)$$

kus \mathbf{Z}_p , \mathbf{Z}_v on tala lõpus ja alguses olevad siirded ning sisejõud (6)

$$\mathbf{Z}_p = \begin{bmatrix} w \\ \varphi_y \\ \dots \\ Q_z \\ M_y \end{bmatrix}_p, \quad \mathbf{Z}_v = \begin{bmatrix} w \\ \varphi_y \\ \dots \\ Q_z \\ M_y \end{bmatrix}_v, \quad (6)$$

\mathbf{U} – ülekan demaatriks (7)

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} 1 & -(x_p - x_v) & \vdots & \frac{(x_p - x_v)}{GA_Q} - \frac{(x_p - x_v)^3}{6EI_y} & -\frac{(x_p - x_v)^2}{2EI_y} \\ 0 & 1 & \vdots & \frac{(x_p - x_v)^2}{2EI_y} & \frac{(x_p - x_v)}{EI_y} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \vdots & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \vdots & (x_p - x_v) & 1 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

$\overset{\circ}{\mathbf{Z}}$ – koormusvektor.

Eemaldame võrranditest (5) siirded ja lisame võrranditele (5) pikijõudu N_L, N_L (vt joonist 3) arvestavad liikmed, ning esitame võrrandid kujul (8).

Täis

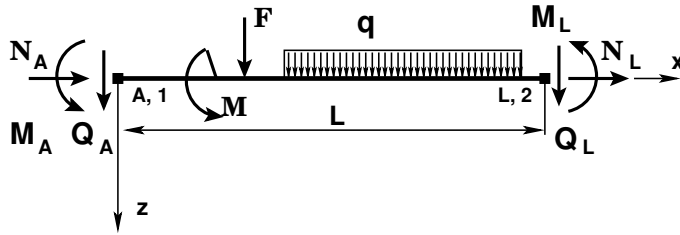


Tagasi

Edasi

Sulge

Lõpeta



Joonis 3. Varda jõudude ja siirete positiivsed suunad

Nimetame võrrandeid (8) varda põhivõrranditeks.

$$\mathbf{I} * \mathbf{Z}_L - \mathbf{U} \mathbf{Z}_A = \mathring{\mathbf{Z}}, \quad (8)$$

ehk

$$\widehat{\mathbf{I}} \mathbf{U} * \widehat{\mathbf{Z}} = \mathring{\mathbf{Z}} \quad (9)$$

kus \mathbf{I} on (3x3) ühikmaatriks, $\widehat{\mathbf{I}} \mathbf{U}$ (3x6) maatriks, mida saab arvutada GNU Octave funktsiooniga `yspSlvfmhvI.m`,

$\widehat{\mathbf{Z}}$ (10) koosneb varda lõpus ja alguses olevatest kontaktjõududest.

$$\widehat{\mathbf{Z}} = \begin{bmatrix} \mathbf{Z}_L \\ \mathbf{Z}_A \end{bmatrix}, \quad (10)$$

siin \mathbf{Z}_L , \mathbf{Z}_A – varda lõpus ja alguses olevad kontaktjõud. (11)

$$\mathbf{Z}_L = \begin{bmatrix} N_L \\ Q_L \\ M_L \end{bmatrix}, \quad \mathbf{Z}_A = \begin{bmatrix} N_A \\ Q_A \\ M_A \end{bmatrix}, \quad (11)$$

kus \mathbf{U} on ülekanndemaatriks (12)

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & -x & -1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Koormusvektor $\overset{\circ}{\mathbf{Z}}$ ühtlaselt jaotatud koormuse q (projektsioonid q_x ja q_z puhul on (13)),

$$\overset{\circ}{\mathbf{Z}}_q = \begin{bmatrix} -q_x * x \\ -q_z * x \\ -q_z * x^2/2 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Koormusvektor $\overset{\circ}{\mathbf{Z}}$ koondatud jõu korral (14)

$$\overset{\circ}{\mathbf{Z}}_{\mathbf{F}} = \begin{bmatrix} -F_x (x - x_a)_+^o \\ -F_z (x - x_a)_+^o \\ -F_z * (x - x_a)_+ \end{bmatrix} \quad (14)$$

Ülekandemaatriksi (hõreda maatriksina) \mathbf{U} (12) saame arvutada GNU Octave funktsiooniga yspSlvfmhvI.m.

Koormusvektoreid $\overset{\circ}{\mathbf{Z}}_{\mathbf{q}}$, $\overset{\circ}{\mathbf{Z}}_{\mathbf{F}}$ saab arvutada GNU Octave funktsioonidega yzShqz.m, yzSfzv.m

ESTSKrmus.m kasutab funktsioone yzShqz.m, yzSfzv.m.

Täis



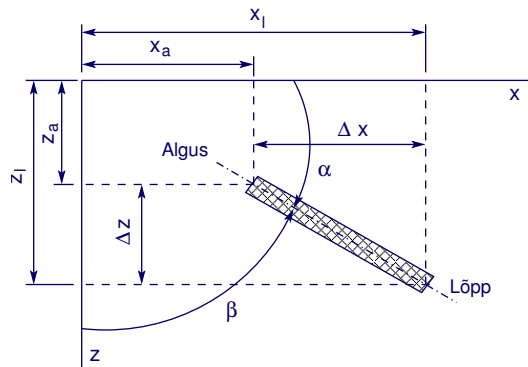
Tagasi

Edasi

Sulge

Lõpeta

Joonisel 4 on näidatud suunakoosinuste arvutamine.



Joonis 4. Varda suunakoosinused

$$\cos \alpha = \frac{\Delta x}{l} \quad \cos \beta = \frac{\Delta z}{l} \quad (15)$$

siin

$$\Delta x = x_L - x_A, \quad \Delta z = z_L - z_A, \quad l = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta z)^2} \quad (16)$$

ja x_A , z_A , x_L , z_L on varda alguse ning lõpu koordinaadid.

Teisendusmaatriks \mathbf{T}_2 teisendab vektori kohalikest koordinaatidest üldkoordinaatidesse.

$$\mathbf{T}_2 = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\cos \beta \\ \cos \beta & \cos \alpha \end{bmatrix} \quad (17)$$

Võtame arvesse pöördenurga, siis on teisendusmaatriks \mathbf{T} järgmine

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\cos \beta & 0 \\ \cos \beta & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (18)$$

Täis



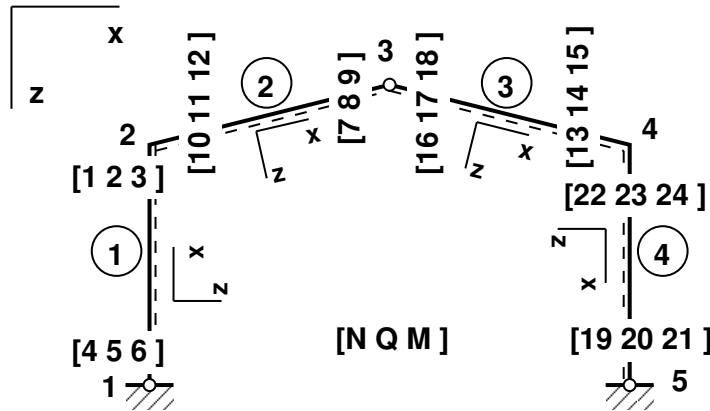
Tagasi

Edasi

Sulge

Lõpeta

Raami põhivõrrandid



Joonis 5. Kolme liigendiga raami tundmatute nummerdus

Raami põhivõrrandite arv $n = 3 * n_{elementi} = 3 * 4 = 12$, milles on $6 * 4 = 24$ tundmatut.

Võrrandisüsteemi struktuur.

Täis

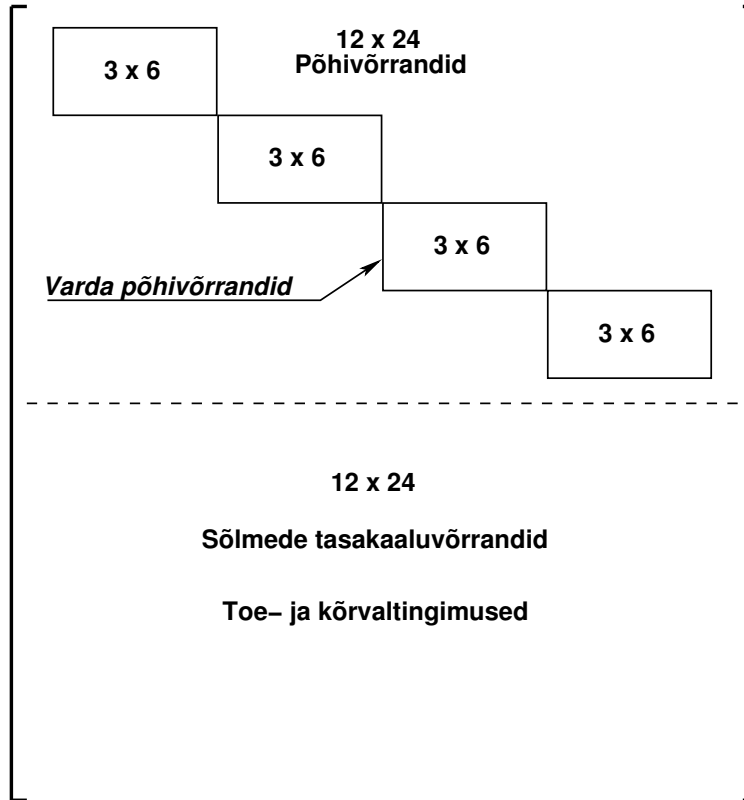


Tagasi

Edasi

Sulge

Lõpeta



Joonis 6. Võrrandisüsteemi kordajate struktuur

Täis



Tagasi

Edasi

Sulge

Lõpeta

Programm põhivõrrandite koostamiseks:

```
IIv=0;
IJv=0;
%
for i=1:NEARV
krda=i;
Li=lvarras(i,1);
Fjoud=esFjoud(:,1:3,i);
qkoormus=esQkoormus(:,1:4,i);
spvF=yspSlvfmhvI(Li);
vB=ESTSKrmus(Li,Li,Fjoud,qkoormus);
IIv=krda*3-2;
IJv=krda*6-5;
spA=spInsertBtoA(spA,IIv,IJv,spvF);
B=InsertBtoA(B,NNK,1,IIv,1,vB,3,1);
%
endfor
```

Põhivõrrandite kordajate väljatrükk:

spA =

Compressed Column Sparse (rows = 12, cols = 24, nnz = 28)



16/37

Täis



Tagasi

Edasi

Sulge

Lõpeta

Element 1

$(1, 1) \rightarrow 1$
 $(2, 2) \rightarrow 1$
 $(3, 3) \rightarrow 1$

$(1, 4) \rightarrow 1$
 $(2, 5) \rightarrow 1$
 $(3, 5) \rightarrow 4$

$(3, 6) \rightarrow 1$

Element 2

$(4, 7) \rightarrow 1$
 $(5, 8) \rightarrow 1$
 $(6, 9) \rightarrow 1$

$(4, 10) \rightarrow 1$
 $(5, 11) \rightarrow 1$
 $(6, 11) \rightarrow 4.1231$

$(6, 12) \rightarrow 1$

Element 3

$(7, 13) \rightarrow 1$
 $(8, 14) \rightarrow 1$
 $(9, 15) \rightarrow 1$

$(7, 16) \rightarrow 1$
 $(8, 17) \rightarrow 1$
 $(9, 17) \rightarrow 4.1231$

$(9, 18) \rightarrow 1$

Element 4

$(10, 19) \rightarrow 1$
 $(11, 20) \rightarrow 1$
 $(12, 21) \rightarrow 1$

$(10, 22) \rightarrow 1$
 $(11, 23) \rightarrow 1$
 $(12, 23) \rightarrow 4$

$(12, 24) \rightarrow 1$

Täis



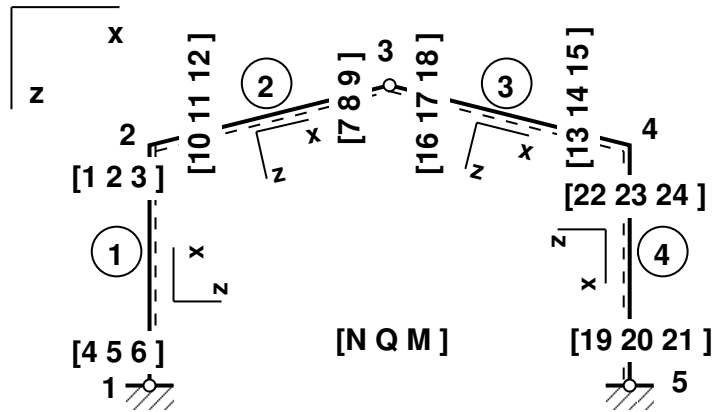
Tagasi

Edasi

Sulge

Lõpeta

Raami sõlmede tasakaal



Joonis 7. Raami sõlmede tasaklaal

Sõlm 2 on tasakaalus

$$\begin{matrix} 13 \\ 14 \\ 15 \end{matrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.9701 & 0.2425 & 0 \\ -0.2425 & 0.9701 & 0 \\ 0 & 0 & 1.0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{10} \\ Z_{11} \\ Z_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (19)$$

Arvutiprogrammis kasutame tasakaaluvõrrandite sisestamiseks GNU Octave funktsiooni spInsertBtoA.m



```
=====
% Sõlme 2 tasakaaluvõrrandid 13-15
=====
spA=spInsertBtoA(spA,13,1,spT1);    spA=spInsertBtoA(spA,13,10,spT2);
B(13:15,1)=s2F(1:3,1);             % sõlme 2 koormus
```

Konstruksiooni tasakaaluvõrrandite väljatrükkis on need kordajad järgmised:

spA =

Compressed Column Sparse (rows = 15, cols = 12, nnz = 8)

| | |
|---------------------|----------------------|
| (14, 1) -> -1 | (14, 10) -> -0.24254 |
| (13, 2) -> 1 | (13, 11) -> 0.24254 |
| (15, 3) -> 1 | (14, 11) -> 0.97014 |
| (13, 10) -> 0.97014 | (15, 12) -> 1 |

Täis

◀◀

▶▶

◀

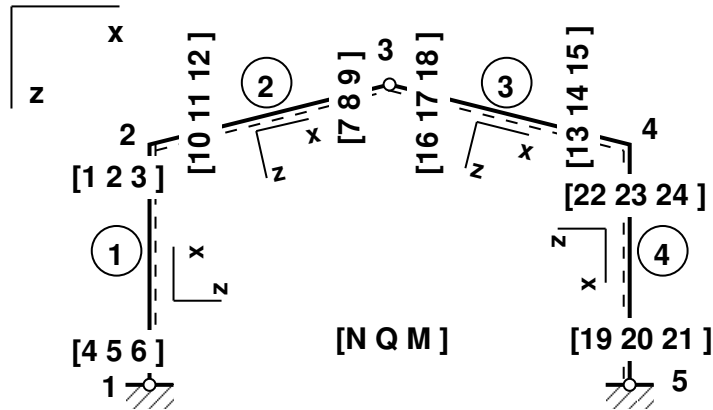
▶

Tagasi

Edasi

Sulge

Lõpeta



Joonis 8. Raami sõlmede tasaklaal

Sõlm 3 on tasakaalus

$$\begin{matrix} 16 \\ 17 \end{matrix} \begin{bmatrix} 0.9701 & 0.2425 \\ -0.2425 & 0.9701 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_7 \\ Z_8 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.9701 & -0.2425 \\ 0.2425 & 0.9701 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{16} \\ Z_{17} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (20)$$

Arvutiprogrammis kasutame tasakaaluvõrrandite sisestamiseks GNU Octave funktsiooni `spInsertBtoA.m` ja `spSisestaArv.m`

```

=====
% Sõlmede tasakaaluvõrrandid 16-18
=====
spA=spInsertBtoA(spA,16,7,spT22); spA=spInsertBtoA(spA,16,16,spT32);
    
```

```
B(16:17,1)=s3F(1:2,1);           % sõlme 3 koormus
spA=spSisestaArv(spA,18,9,1);    % kõrvaltingimus sõlmes 3
```

Hiljem lisame veel kõrvaltingimuse sõlmes 3 . Nii, et varraste otstes olevad kõik momendiliigendid oleksid kirjeldatud *kõrvaltingimustega*.

Konstruksiooni tasakaaluvõrrandite väljatrükkis on need kordajad järgmised:

```
spA =
```

```
Compressed Column Sparse (rows = 17, cols = 17, nnz = 8)
```

```
(16, 7) -> 0.97014           (16, 16) -> 0.97014
(17, 7) -> -0.24254          (17, 16) -> 0.24254
(16, 8) -> 0.24254          (16, 17) -> -0.24254
(17, 8) -> 0.97014          (17, 17) -> 0.97014
```

```
spA =
```

```
Compressed Column Sparse (rows = 18, cols = 9, nnz = 1)
```

```
(18, 9) -> 1
```

Täis

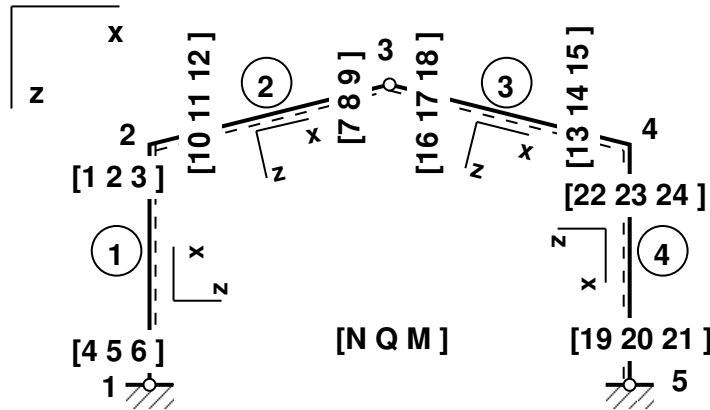


Tagasi

Edasi

Sulge

Lõpeta



Joonis 9. Raami sõlmede tasakaal

Sõlm 4 on tasakaalus

$$\begin{matrix} 19 \\ 20 \\ 21 \end{matrix} \begin{bmatrix} 0.9701 & -0.2425 & 0 \\ 0.2425 & 0.9701 & 0 \\ 0 & 0 & 1.0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{13} \\ Z_{14} \\ Z_{15} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{22} \\ Z_{23} \\ Z_{24} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (21)$$

Arvutiprogrammis kasutame tasakaaluvõrrandite sisestamiseks GNU Octave funktsiooni `spInsertBtoA.m`

Täis



Tagasi

Edasi

Sulge

Lõpeta

```

=====
% Sõlmede tasakaaluvõrrandid 19 -21
=====
spA=spInsertBtoA(spA,19,13,spT3);   spA=spInsertBtoA(spA,19,22,spT4);
B(19:21,1)=s4F(1:3,1);             % sõlme 4 koormus

```

Konstruksiooni tasakaaluvõrrandite väljatrükkis on need kordajad järgmised:

spA =

Compressed Column Sparse (rows = 21, cols = 24, nnz = 8)

| | |
|----------------------|----------------|
| (19, 13) -> 0.97014 | (21, 15) -> 1 |
| (20, 13) -> 0.24254 | (20, 22) -> 1 |
| (19, 14) -> -0.24254 | (19, 23) -> -1 |
| (20, 14) -> 0.97014 | (21, 24) -> 1 |

Täis



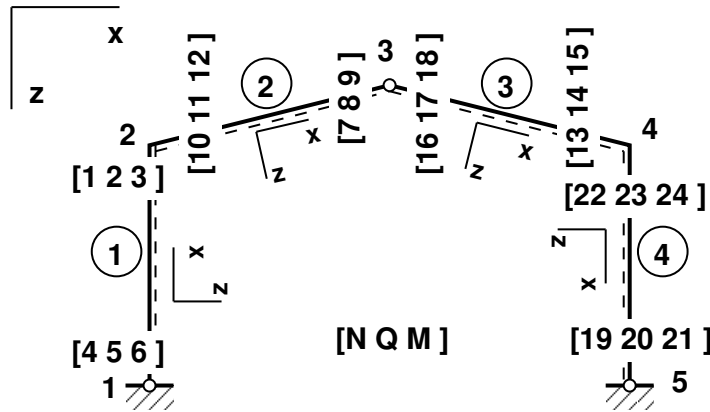
Tagasi

Edasi

Sulge

Lõpeta

Raami toe- ja kõrvaltingimused



Joonis 10. Raami toetingimused

Sõlmed 1, 3 ja 5

$$\begin{matrix} 22 \\ 23 \\ 44 \end{matrix} \begin{bmatrix} Z_6 \\ Z_{18} \\ Z_{21} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (22)$$

Täis



Tagasi

Edasi

Sulge

Lõpeta

Arvutiprogrammis kasutame tasakaaluvõrrandite sisestamiseks GNU Octave funktsiooni spSisestaArv.m



25/37

```
=====
% Toe- ja kõrvaltingimused 22-24 % vabaliikmete vektor on nullitud
=====
spA=spSisestaArv(spA,22,6,1);      % sõlmes 1
spA=spSisestaArv(spA,23,18,1);    % sõlmes 3
spA=spSisestaArv(spA,24,21,1);    % sõlmes 5
```

Konstruktsiooni tasakaaluvõrrandite väljatrükis on need kordajad järgmised:

spA =

Compressed Column Sparse (rows = 24, cols = 21, nnz = 3)

(22, 6) -> 1
(23, 18) -> 1

(24, 21) -> 1

Täis



Tagasi

Edasi

Sulge

Lõpeta

Hõreda võrrandisüsteemi (23)

$$\text{spA} * \mathbf{Z} = \mathbf{B} \quad (23)$$

lahendame GNU Octavega järgmise käsuga:

```
Z=spA\B; % Võrrandisüsteemi spA*Z=B lahend
```

Varraste algparameetrid on järgmised:

```
=====
Algparameetrid
Varda Nr      N          Q          M
-----
  1         6.250         1.600         0.000
  2         4.038        -5.433         6.400
  3         2.947         1.067         0.000
  4         4.750        -2.600        10.400
-----
```

Siirded ja sisejõud ristlõikes leiame avaldisega (24)

$$\mathbf{Z}_x = \mathbf{U}\mathbf{Z}_A + \overset{\circ}{\mathbf{Z}} \quad (24)$$

kus \mathbf{Z}_x on siirded ja kontaktjõud ristlõikes x , \mathbf{Z}_A – algparameetrid.



Väljavõtte programmist siirete ja sisejõudude arvutamiseks.

```
% Nmitmeks=5
for i=1:NEARV
    krda=i;
    vF=zeros(3,6);
    Li=lvarras(i,1);
    Fjoud=esFjoud(:,1:3,i);
    qkoormus=esQkoormus(:,1:4,i);
    xsamm=Li/Nmitmeks; % varda viiendikel sisejõud
    xx=0;
    AP=AlgPar(i,:)';
    for ij=1:Nmitmeks+1 % 5 - sisejõud ka varda algul
        vvF=ylSfhlin(xx);
        vvB=ESTSKrmus(xx,Li,Fjoud,qkoormus);
        Fvv(:,ij)=vvF*AP+vvB;
        xx=xx+xsamm;
    endfor
    ....
    % Järgneb väljatrükk
```



27/37

Täis



Tagasi

Edasi

Sulge

Lõpeta

```

VardaNr=i;
disp(sprintf('%16s %2i %17s %8.5f %29s', 'Sisejõud vardas',VardaNr,'
varda pikkus on',Li,' varras on jaotatud viieks'))
%
for i=1:3
disp(sprintf('%10s %8.3f %8.3f %8.3f %8.3f %8.3f %8.3f',
suurused(i,:), Fvv(i,1), Fvv(i,2), Fvv(i,3), Fvv(i,4),
Fvv(i,5), Fvv(i,6)))
endfor
endfor
%
```

Täis



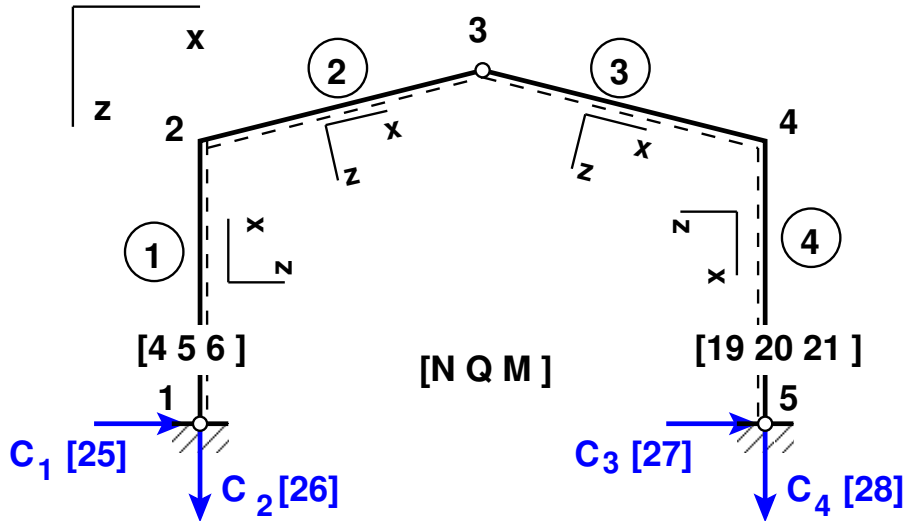
Tagasi

Edasi

Sulge

Lõpeta

Raami toereaktsioonid



Joonis 11. Raami toereaktsioonid

Toereaktsioonide leidmiseks suurendame võrrandisüsteemi $Z_{25} - Z_{28}$ ($C_1 = Z_{25}$, $C_4 = Z_{28}$).

Sõlm 1 on tasakaalus

$$\begin{array}{l} 25 \\ 26 \end{array} \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_4 \\ Z_5 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{25} \\ Z_{26} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (25)$$

Sõlm 5 on tasakaalus

$$\begin{array}{l} 27 \\ 28 \end{array} \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{19} \\ Z_{20} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{27} \\ Z_{28} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (26)$$

Arvutiprogrammis kasutame toereaktsioonide sisestamiseks GNU Octave funktsiooni `spInsertBtoA.m`

```
=====
% Sõlmede 1, 5 tasakaaluvõrrandid 25-28
=====
spA=spInsertBtoA(spA,25,4,spT12);  spA=spInsertBtoA(spA,25,25,spTY2m);
spA=spInsertBtoA(spA,27,19,spT42);  spA=spInsertBtoA(spA,27,27,spTY2m);
```

Täis



Tagasi

Edasi

Sulge

Lõpeta

Konstruksiooni tasakaaluvõrrandite väljatrükk on need kordajad järgmised:

spA =

Compressed Column Sparse (rows = 28, cols = 28, nnz = 8)

| | |
|----------------|----------------|
| (26, 4) -> -1 | (25, 25) -> -1 |
| (25, 5) -> 1 | (26, 26) -> -1 |
| (28, 19) -> 1 | (27, 27) -> -1 |
| (27, 20) -> -1 | (28, 28) -> -1 |

Võrrandisüsteemi lahendamisel saame toereaktsioonide väärtused.

| | | | | | |
|----|------------|------|----|------------|------|
| 25 | 1.600e+00 | % C1 | 27 | -2.600e+00 | % C3 |
| 26 | -6.250e+00 | % C2 | 28 | -4.750e+00 | % C4 |



31/37

Täis



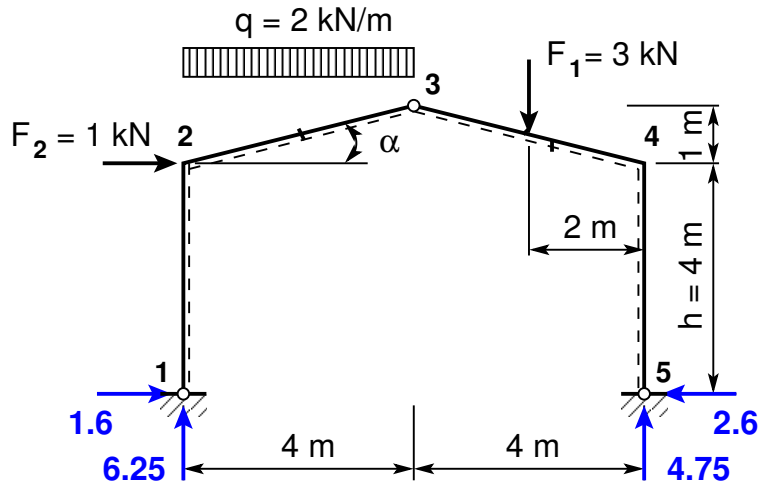
Tagasi

Edasi

Sulge

Lõpeta

Raami staatikaline kontroll



Joonis 12. Raami staatikaline kontroll

$$\Sigma X = 0; \quad 1.6 + 1.0 - 2.6 = 0$$

$$\Sigma Z = 0; \quad 6.25 + 4.75 - 2 * 4 - 3 = 0$$

(27)

Täis



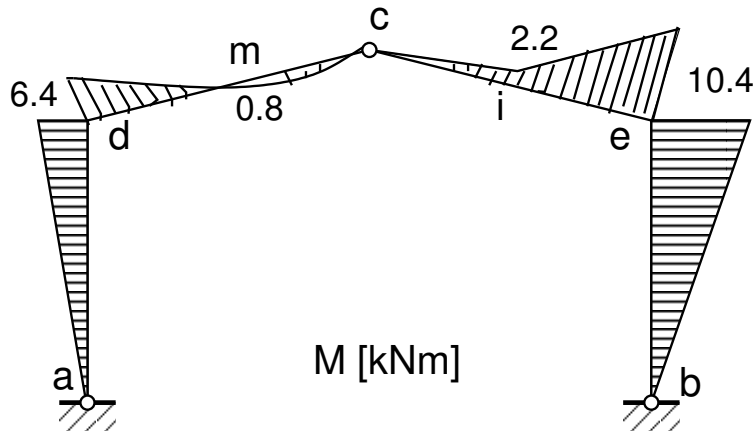
Tagasi

Edasi

Sulge

Lõpeta

Raami paindemomendi epüür



Joonis 13. Raami paindemoment M

Täis



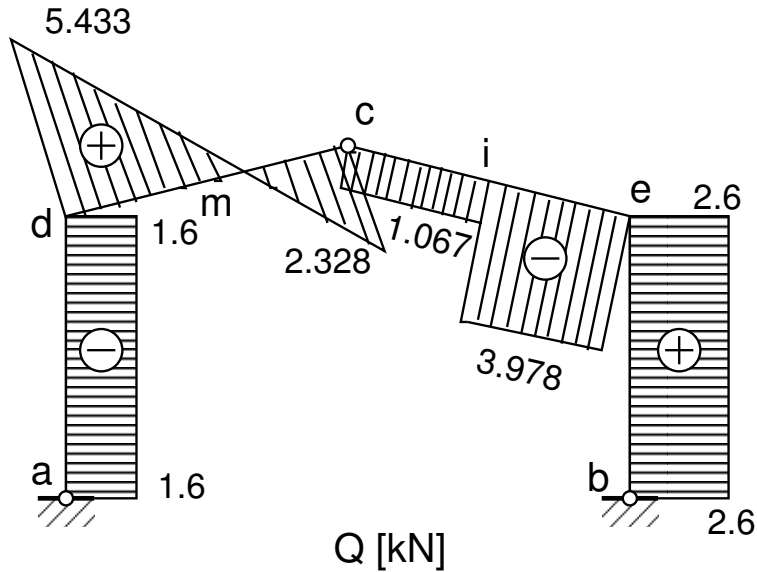
Tagasi

Edasi

Sulge

Lõpeta

Raami põikjõu epüür



Joonis 14. Raami põikjõud Q

Täis



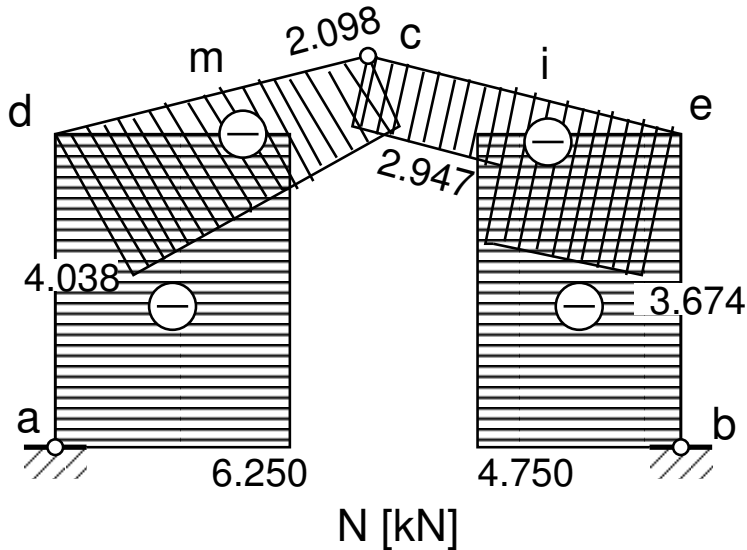
Tagasi

Edasi

Sulge

Lõpeta

Raami normaaljõu epüür



Joonis 15. Raami normaaljõud N

Täis



Tagasi

Edasi

Sulge

Lõpeta

Viited

1. EST meetod:

A. Lahe. The transfer matrix and the boundary element method, Proc. Estonian Acad. Sci. Engng., 1997, 3, 1. p. 3–12. ¹

2. Raami arvutamise programm EST meetodiga:

<http://staff.ttu.ee/~alahe/konspekt/myCD/octaveProgrammID/sp3liigendRaamESTR.m>

Kasutatud funktsioone:

<http://staff.ttu.ee/~alahe/konspekt/myCD/octaveProgrammID/yspSlvfmhvI.m>

<http://staff.ttu.ee/~alahe/konspekt/myCD/octaveProgrammID/yspSlfhlin.m>

<http://staff.ttu.ee/~alahe/konspekt/myCD/octaveProgrammID/yzShqz.m>

<http://staff.ttu.ee/~alahe/konspekt/myCD/octaveProgrammID/yzSfzv.m>

<http://staff.ttu.ee/~alahe/konspekt/myCD/octaveProgrammID/ESTSKrmus.m>

¹http://books.google.ee/books?id=ghco7svk5T4C&pg=PA3&lpg=PA3&dq=Andres+Lahe&source=bl&ots=3SFfo4UCES&sig=_XLUez-SfW2FVYGRx8v2LVm16V8&hl=et&ei=YQaFTMeIEoWc00yCyNwP&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=5&ved=OCBOQ6AEwBDgK#v=onepage&q=Andres%20Lahe&f=false

<http://staff.ttu.ee/~alahe/konspekt/myCD/octaveProgrammID/spInsertBtoA.m>

<http://staff.ttu.ee/~alahe/konspekt/myCD/octaveProgrammID/spSisestaArv.m>

<http://staff.ttu.ee/~alahe/konspekt/myCD/octaveProgrammID/ylSfhlin.m>

<http://staff.ttu.ee/~alahe/konspekt/myCD/octaveProgrammID/InsertBtoA.m>

Täis



Tagasi

Edasi

Sulge

Lõpeta