

### 3. Trasarea diagramelor de eforturi la bare drepte

#### 3.1 Introducere

Trasarea diagramelor de eforturi constituie al doilea pas din algoritmul de abordare al oricărei probleme de Rezistența Materialelor; de corectitudinea modului de parcurgere al acestuia depind și celelalte etape ale rezolvării.

Obiectivul acestui seminar este de a descrie și a exemplifica algoritmul de trasare a diagramelor de eforturi corespunzătoare unei scheme de calcul dată, indiferent de gradul de complexitate al acesteia.

Vor fi dobândite competențe de stabilire și determinare cantitativă a valorilor corecte ale eforturilor secționale corespunzătoare schemei de calcul date, în scopul utilizării acestora în cadrul treptelor ulterioare ale algoritmului general de rezolvare al unei probleme de Rezistența Materialelor.

Durata medie de studiu individual pentru această prezentare este de circa 90 de minute.

#### 3.2 Cazuri elementare

##### 3.2.1 Grindă dreaptă simplu rezemată încărcată cu o sarcină concentrată

Fie schema de calcul din figura 1, pentru care se dorește trasarea modului de variație a eforturilor secționale în lungul barei (trasarea diagramelor de efort  $N$ ,  $T$  și  $M$ ).

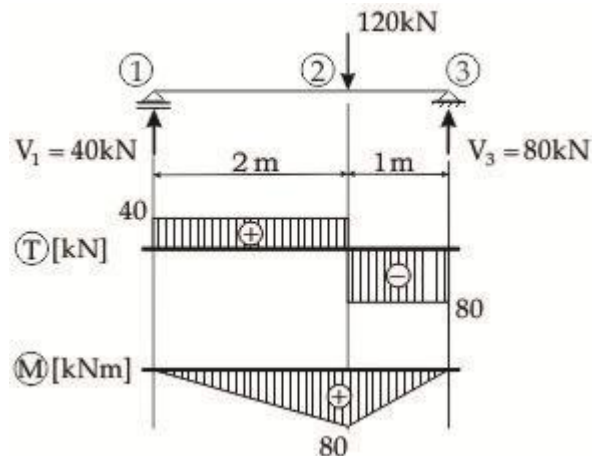


fig.1

Se calculează reacțiunile din reazeme:

$$\begin{aligned}
\Sigma X = 0 &\Rightarrow H_3 = 0; \\
\Sigma M_1 = 0, \quad 120 \cdot 2 - V_3 \cdot 3 = 0 &\Rightarrow V_3 = 80 \text{ kN}; \\
\Sigma M_3 = 0, \quad V_1 \cdot 3 - 120 \cdot 1 = 0 &\Rightarrow V_1 = 40 \text{ kN}; \\
\text{verificare} \\
\Sigma Y = 0, \quad 40 - 120 + 80 = 0.
\end{aligned}
\tag{3.1}$$

Se trasează diagramele de efort secțional (vezi paragraful 1.2.5 - curs 2), astfel:

$$\begin{aligned}
T_{1\text{dr}} = T_{2\text{st}} = T_{1-2} &= 40 \text{ kN}; \\
T_{2\text{dr}} = T_{3\text{st}} = T_{2-3} &= 40 - 120 = -80 \text{ kN},
\end{aligned}
\tag{3.2}$$

respectiv,

$$\begin{aligned}
M_1 &= 0; \\
M_2 &= 40 \cdot 2 = 80 \text{ kNm}; \\
M_3 &= 40 \cdot 3 - 120 \cdot 1 = 0,
\end{aligned}
\tag{3.3}$$

regulile de trasare fiind cele prezentate în cadrul cursului 2.

### 3.2.2 Grindă dreaptă simplu rezemată încărcată cu o sarcină uniform distribuită

Se cere trasarea diagramei de efort pentru structura având schema de calcul din figura 2.

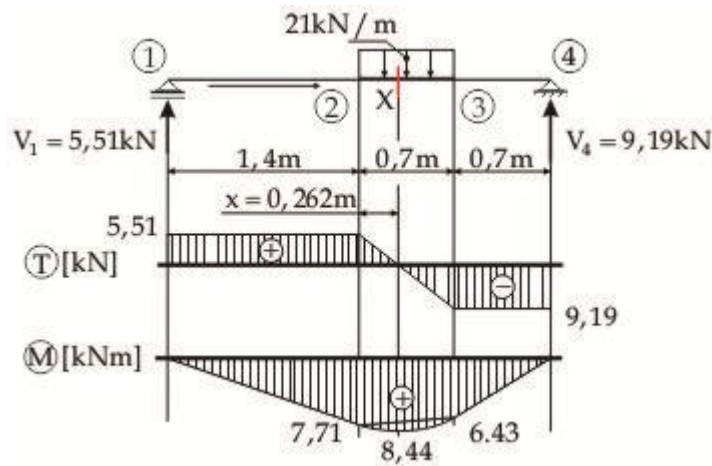


fig.2

Se determină forțele de legătură din reazeme:

$$\begin{aligned}
\Sigma X = 0 &\Rightarrow H_4 = 0; \\
\Sigma M_1 = 0, \quad 21 \cdot 0,7 \left( 1,4 + \frac{0,7}{2} \right) - V_4 \cdot 2,8 = 0 &\Rightarrow V_4 = 9,19 \text{ kN}; \\
\Sigma M_4 = 0, \quad V_1 \cdot 2,8 - 21 \cdot 0,7 \left( 0,7 + \frac{0,7}{2} \right) = 0 &\Rightarrow V_1 = 5,51 \text{ kN}; \\
\text{verificare} \\
\Sigma Y = 0, \quad 5,51 - 21 \cdot 0,7 + 9,19 = 0.
\end{aligned}
\tag{3.4}$$

Se trasează diagrama de forță tăietoare:

$$\begin{aligned}
 T_{1dr} &= T_{2st} = T_{1-2} = 5,51\text{kN}; \\
 T_{2dr} &= 5,51 - 21 \cdot 0 \Rightarrow T_{2dr} = T_{2st}; \\
 T_{3st} &= T_{3dr} = 5,51 - 21 \cdot 0,7 = -9,19\text{kN}; \\
 T_{3dr} &= T_{4st} = T_{3-4} = -9,19\text{kN},
 \end{aligned}
 \tag{3.5}$$

pentru trasarea corectă a diagramei de moment încovoietor fiind necesară, în acest caz, determinarea poziției exacte a secțiunii caracteristice X (fig. 2), în care valoarea forței tăietoare se anulează, în diagrama de moment corespunzând un punct de extrem (vezi curs 2), astfel:

$$T_x = 5,51 - 21 \cdot x = 0 \Rightarrow x = 0,262\text{m}. \tag{3.6}$$

Se trasează diagrama de moment încovoietor:

$$\begin{aligned}
 M_1 &= 0; \\
 M_2 &= 5,51 \cdot 1,4 = 7,71\text{kNm}; \\
 M_x &= M_{\max} = 5,51(1,4 + 0,262) - 21 \cdot 0,262 \cdot \frac{0,262}{2} = 8,44\text{kNm}; \\
 M_3 &= 5,51(1,4 + 0,7) - 21 \cdot 0,7 \cdot \frac{0,7}{2} = 6,43\text{kNm}; \\
 M_4 &= 0.
 \end{aligned}
 \tag{3.7}$$

### 3.2.3 Grindă dreaptă simplu rezemată încărcată cu un moment concentrat

Se dorește trasarea diagramelor de efort pentru schema de calcul din figura 3.

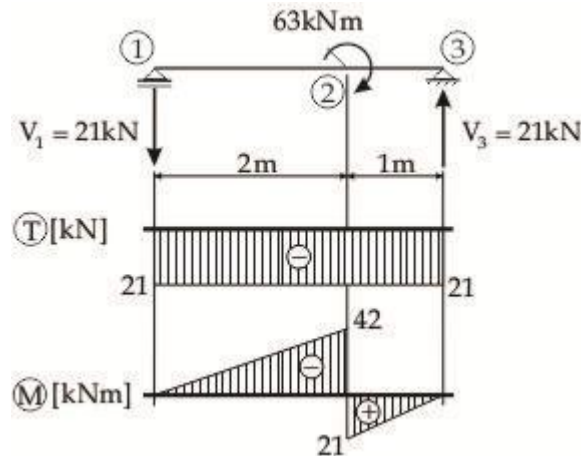


fig.3

Se calculează reacțiunile din reazeme:

$$V_1 = V_3 = \frac{63}{3} = 21\text{kN}. \tag{3.8}$$

Se trasează diagrama de forță tăietoare:

$$T_{1dr} = T_{3st} = T_{1-3} = -21\text{kN}; \quad (3.9)$$

pentru diagrama de moment încovoiator se obțin:

$$\begin{aligned} M_1 &= 0; \\ M_{2st} &= -21 \cdot 2 = -42\text{kNm}; \\ M_{2dr} &= M_{2st} + 63 \Rightarrow M_{2dr} = -42 + 63 = 21\text{kNm}, \\ &\text{sau cu forțele de la dreapta,} \\ M_{2dr} &= 21 \cdot 1 = 21\text{kNm}. \end{aligned} \quad (3.10)$$

### 3.3 Caz general. Grindă dreaptă simplu rezemată cu consolă, sollicitată de diverse tipuri de încărcări

Se consideră grinda simplu rezemată din figura 4, pentru care se trasează diagramele de efort secțional.

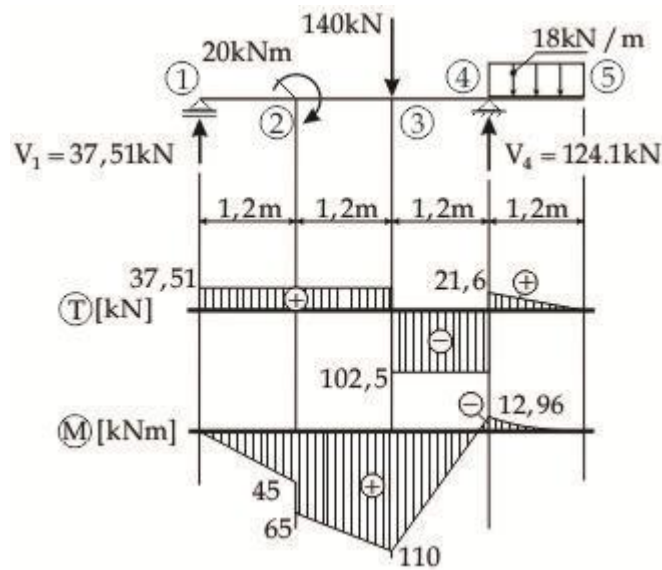


fig.4

Se calculează reacțiunile din reazeme:

$$\begin{aligned} \Sigma X &= 0, \quad H_4 = 0; \\ \Sigma M_1 &= 0, \quad 20 + 140 \cdot 2,4 - V_4 \cdot 3,6 + 18 \cdot 1,2(3,6 + 0,6) = 0 \Rightarrow V_4 = 124,1\text{kN}; \\ \Sigma M_4 &= 0, \quad V_1 \cdot 3,6 + 20 - 140 \cdot 1,2 + 18 \cdot 1,2 \cdot 0,6 = 0 \Rightarrow V_1 = 37,51\text{kN}; \\ &\text{verificare} \\ \Sigma Y &= 0, \quad 37,51 - 140 + 124,1 - 18 \cdot 1,2 = 0. \end{aligned} \quad (3.11)$$

Se calculează valorile forței tăietoare în secțiunile caracteristice:

$$\begin{aligned}T_{1-3} &= 37,51\text{kN}; \\T_{3-4} &= 37,51 - 140 = -102,5\text{kN}; \\T_{4\text{dr}} &= 18 \cdot 1,2 = 21,6\text{kN}; \\T_5 &= 0,\end{aligned}\tag{3.12}$$

valorile corespunzătoare momentului încovoietor fiind:

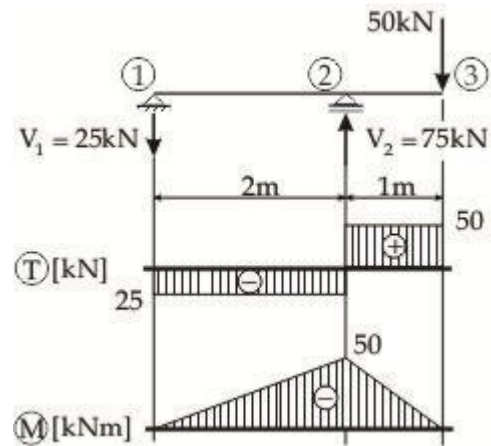
$$\begin{aligned}M_1 &= 0; \\M_{2\text{st}} &= 37,51 \cdot 1,2 = 45\text{kNm}; \\M_{2\text{dr}} &= 45 + 20 = 65\text{kNm}; \\M_3 &= 37,51 \cdot 2,4 + 20 = 110\text{kNm}; \\M_4 &= -18 \cdot 1,2 \cdot 0,6 = -12,96\text{kNm}.\end{aligned}\tag{3.13}$$

cu reprezentările din figura 4.

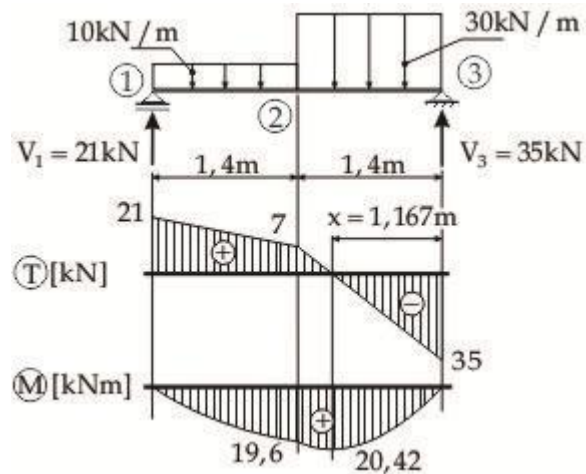
## Temă de control

Se cere verificarea corectitudinii trasării diagramelor de efort pentru următoarele scheme de calcul (este necesară parcurgerea algoritmului complet de calcul și verificare a diagramelor):

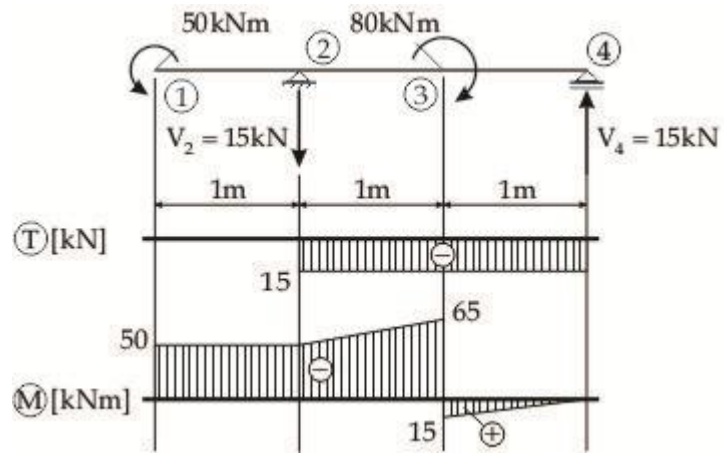
T1



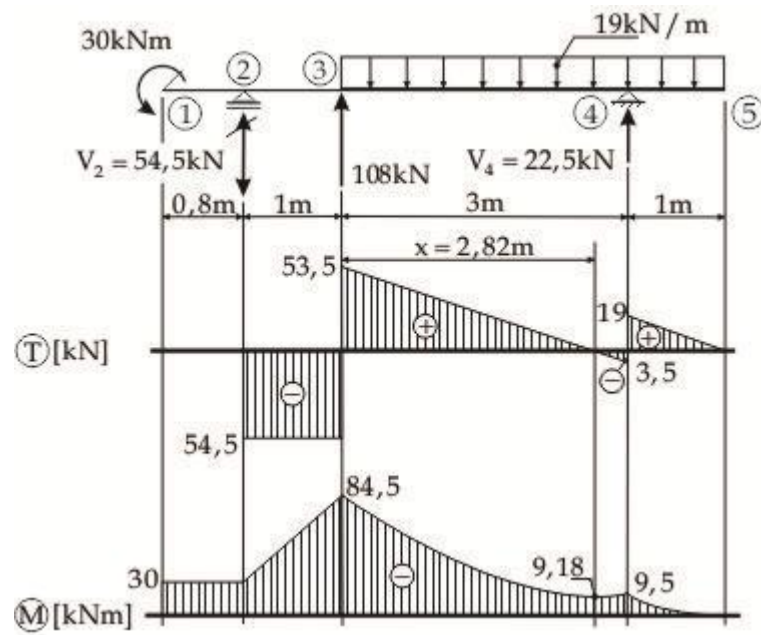
T2



T3



T4



## Sugestii de rezolvare și răspunsuri

### T1

$$\Sigma X = 0 \Rightarrow H_1 = 0;$$

$$\Sigma M_1 = 0, \quad V_2 \cdot 2 - 50 \cdot 3 = 0 \Rightarrow V_2 = 75 \text{kN};$$

$$\Sigma M_2 = 0, \quad V_1 \cdot 2 - 50 \cdot 1 = 0 \Rightarrow V_1 = 25 \text{kN};$$

verificare

$$\Sigma Y = 0, \quad 25 - 75 + 50 = 0,$$

$$T_{1-2} = -25 \text{kN};$$

$$T_{2-3} = 50 \text{kN};$$

$$M_1 = 0;$$

$$M_2 = -25 \cdot 2 = -50 \text{kNm};$$

$$M_3 = 0.$$

### T2

$$\Sigma X = 0, \quad H_3 = 0;$$

$$\Sigma M_1 = 0, \quad 10 \cdot 1,4 \cdot 0,7 + 30 \cdot 1,4(1,4 + 0,7) - V_3 \cdot 2,8 = 0 \Rightarrow V_3 = 35 \text{kN};$$

$$\Sigma M_3 = 0, \quad V_1 \cdot 2,8 - 10 \cdot 1,4(1,4 + 0,7) - 30 \cdot 1,4 \cdot 0,7 = 0 \Rightarrow V_1 = 21 \text{kN};$$

verificare

$$\Sigma Y = 0, \quad 21 - 10 \cdot 1,4 - 30 \cdot 1,4 + 35 = 0,$$

$$T_{1\text{dr}} = 21 \text{kN};$$

$$T_{2\text{st}} = T_{2\text{dr}} = 21 - 10 \cdot 1,4 = 7 \text{kN};$$

$$T_{3\text{st}} = -35 \text{kN};$$

$$x = \frac{35}{30} = 1,167 \text{m},$$

$$M_1 = 0;$$

$$M_2 = 21 \cdot 1,4 - 10 \cdot 1,4 \cdot 0,7 = 19,6 \text{kNm};$$

$$M_{\text{extr}} = 35 \cdot 1,167 - 30 \cdot 1,167 \cdot \frac{1,167}{2} = 20,42 \text{kNm};$$

$$M_3 = 0.$$

### T3

$$H_2 = 0;$$

$$V_2 = V_4 = \frac{80 - 50}{2} = 15 \text{kN},$$

$$T_{1-2} = 0;$$

$$T_{2-4} = -15 \text{kN};$$

$$M_1 = M_2 = -50 \text{kNm};$$

$$M_{3\text{st}} = -50 - 15 \cdot 1 = -65 \text{kNm};$$

$$M_{3\text{dr}} = -65 + 80 = 15 \text{kNm};$$

$$M_4 = 0.$$



## T4

$$\Sigma X = 0 \Rightarrow H_4 = 0;$$

$$\Sigma M_2 = 0, \quad 30 + 108 \cdot 1 - 19 \cdot 4(1+2) + V_4 \cdot 4 = 0 \Rightarrow V_4 = 22,5 \text{ kN};$$

$$\Sigma M_4 = 0, \quad 30 - V_2 \cdot 4 - 108 \cdot 3 + 19 \cdot 4(3-2) = 0 \Rightarrow V_2 = -54,5 \text{ kN};$$

verificare

$$\Sigma Y = 0, \quad 54,5 - 108 + 19 \cdot 4 - 22,5 = 0,$$

$$T_{1-2} = 0;$$

$$T_{2-3} = -54,5 \text{ kN};$$

$$T_{3\text{dr}} = -54,5 + 108 = 53,5 \text{ kN};$$

$$T_{4\text{st}} = 53,5 - 19 \cdot 3 = -3,5 \text{ kN};$$

$$T_{4\text{dr}} = -3,5 + 22,5 = 19 \text{ kN};$$

$$T_5 = 0;$$

$$x = \frac{53,5}{19} = 2,82 \text{ m},$$

$$M_1 = M_2 = -30 \text{ kNm};$$

$$M_3 = -30 - 54,5 \cdot 1 = -84,5 \text{ kNm};$$

$$M_{\text{extr}} = -30 - 54,5(1 + 2,82) + 108 \cdot 2,82 - 19 \cdot 2,82 \cdot \frac{2,82}{2} = -9,18 \text{ kNm};$$

$$M_4 = -19 \cdot 1 \cdot 0,5 = -9,5 \text{ kNm};$$

$$M_5 = 0.$$

## 4. Trasarea diagramelor de eforturi la sisteme plane de bare drepte

### 4.1 Introducere

Trasarea diagramelor de eforturi constituie al doilea pas din algoritmul de abordare al oricărei probleme de Rezistența Materialelor; de corectitudinea modului de parcurgere al acestuia depind și celelalte etape ale rezolvării.

Obiectivul acestui seminar este de a descrie și a exemplifica algoritmul de trasare a diagramelor de eforturi corespunzătoare unei scheme de calcul dată, indiferent de gradul de complexitate al acesteia.

Vor fi dobândite competențe de stabilire și determinare cantitativă a valorilor corecte ale eforturilor secționale corespunzătoare schemei de calcul date, în scopul utilizării acestora în cadrul treptelor ulterioare ale algoritmului general de rezolvare al unei probleme de Rezistența Materialelor.

Durata medie de studiu individual pentru această prezentare este de circa 90 de minute.

### 4.2 Cazuri elementare

#### 4.2.1 Sistem de bare simplu rezemat încărcat cu două sarcini concentrate

Se consideră sistemul de bare simplu rezemat din figura 1, pentru care se dorește trasarea diagramelor de eforturi  $N$ ,  $T$ ,  $M$ .

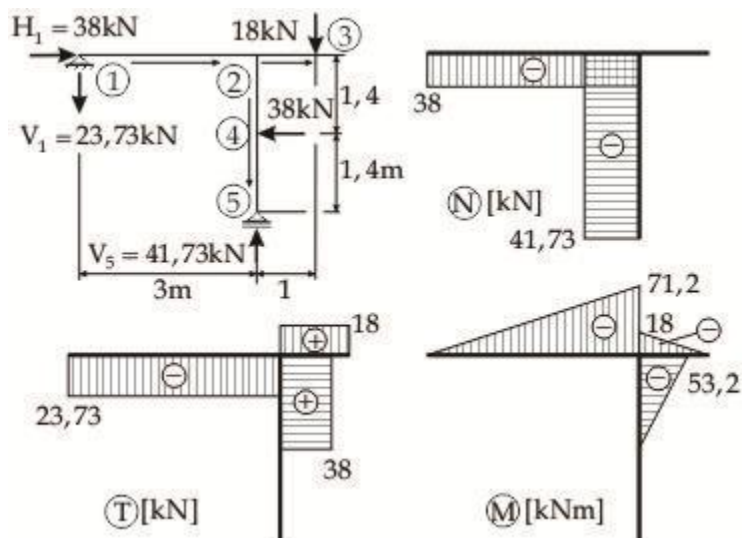


fig.1

Se determină reacțiunile din reazeme:

$$\begin{aligned}
\Sigma X = 0, \quad H_1 - 38 = 0 &\Rightarrow H_1 = 38 \text{ kN}; \\
\Sigma M_1 = 0, \quad 18 \cdot 4 + 38 \cdot 1,4 - V_5 \cdot 3 = 0 &\Rightarrow V_5 = 41,73 \text{ kN}; \\
\Sigma M_5 = 0, \quad 38 \cdot 2,8 - V_1 \cdot 3 + 18 \cdot 1 - 38 \cdot 1,4 = 0 &\Rightarrow V_1 = 23,73 \text{ kN}; \\
\text{verificare} \\
\Sigma Y = 0, \quad -23,73 - 18 + 41,73 = 0.
\end{aligned}
\tag{4.1}$$

Se trasează diagramele de efort secționarial conform regulilor prezentate în cadrul cursului 2, astfel:

forța axială,

$$\begin{aligned}
N_{1-2} &= -38 \text{ kN (compresiune)}; \\
N_{2-5} &= -41,73 \text{ kN}; \\
N_{2-3} &= 0,
\end{aligned}
\tag{4.2}$$

forța tăietoare,

$$\begin{aligned}
T_{1-2} &= -23,73 \text{ kN (antiorar)}; \\
T_{2-3} &= 18 \text{ kN (orar)}; \\
T_{2-4} &= 38 \text{ kN}; \\
T_{4-5} &= 0,
\end{aligned}
\tag{4.3}$$

moment încovoietor,

$$\begin{aligned}
M_1 = M_3 = M_4 = M_5 &= 0; \\
M_2^{1-2} &= -23,73 \cdot 3 = -71,2 \text{ kNm}; \\
M_2^{2-3} &= -18 \cdot 1 = -18 \text{ kNm}; \\
M_2^{2-4} &= -38 \cdot 1,4 = -53,2 \text{ kNm}.
\end{aligned}
\tag{4.4}$$

#### 4.2.2 Sistem de bare simplu rezemat încărcat cu două sarcini uniform distribuite

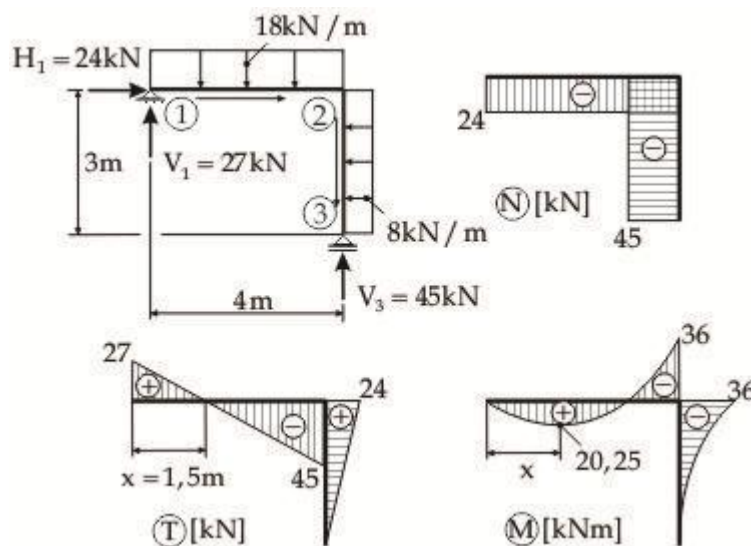


fig.2

Se ia în discuție trasarea diagramelor de efort pentru sistemul de bare din figura 2, astfel, se stabilesc valorile reacțiunilor din reazeme:

$$\begin{aligned} \Sigma X = 0, \quad H_1 - 8 \cdot 3 &= 0 \Rightarrow H_1 = 24 \text{ kN}; \\ \Sigma M_1 = 0, \quad 18 \cdot 4 \cdot 2 + 8 \cdot 3 \cdot 1,5 - V_3 \cdot 4 &= 0 \Rightarrow V_3 = 45 \text{ kN}; \\ \Sigma M_3 = 0, \quad 24 \cdot 3 + V_1 \cdot 4 - 18 \cdot 4 \cdot 2 - 8 \cdot 3 \cdot 1,5 &= 0 \Rightarrow V_1 = 27 \text{ kN}; \\ \text{verificare} \\ \Sigma Y = 0, \quad 27 - 18 \cdot 4 + 45 &= 0. \end{aligned} \tag{4.5}$$

Se trasează diagramele de efort în concordanță cu sensurile de parcurs din figura 2:

forța axială,

$$\begin{aligned} H_{1-2} &= -24 \text{ kN}; \\ H_{2-3} &= -45 \text{ kN}, \end{aligned} \tag{4.6}$$

forța tăietoare,

$$\begin{aligned} T_{1\text{dr}} &= 27 \text{ kN}; \\ T_{2\text{st}} &= 27 - 18 \cdot 4 = -45 \text{ kN}; \\ x &= \frac{27}{18} = 1,5 \text{ m}; \\ T_{2\text{dr}} &= 24 \text{ kN}; \\ T_{3\text{st}} &= 24 - 8 \cdot 3 = 0, \end{aligned} \tag{4.7}$$

moment încovoiator,

$$\begin{aligned} M_1 = M_3 &= 0; \\ M_x = M_{\text{extr.}} &= 27 \cdot 1,5 - 18 \cdot 1,5 \cdot \frac{1,5}{2} = 20,25 \text{ kNm}; \\ M_2^{1-2} = M_2^{2-3} &= 27 \cdot 4 - 18 \cdot 4 \cdot 2 = -36 \text{ kNm}. \end{aligned} \tag{4.8}$$

#### 4.2.3 Sistem de bare simplu rezemat încărcat cu două momente concentrate

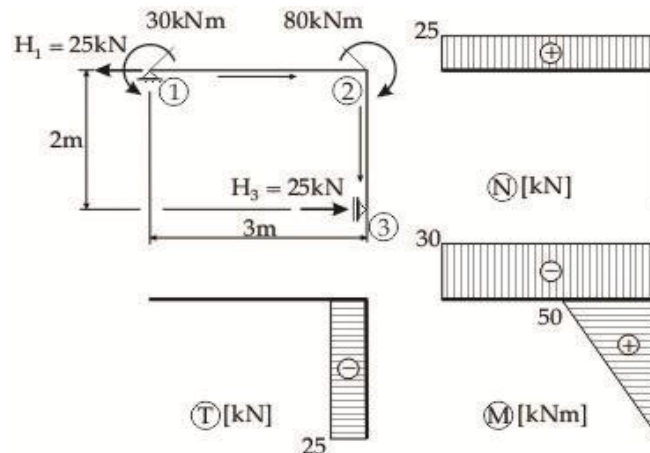


fig.3

Calcul forțe de legătură (reacțiuni):

$$\begin{aligned} \Sigma Y = 0 &\Rightarrow V_1 = 0; \\ \Sigma M_1 = 0, \quad 30 - 80 + H_3 \cdot 2 = 0 &\Rightarrow H_3 = 25\text{kN}; \\ \Sigma M_3 = 0, \quad H_1 \cdot 2 + 30 - 80 = 0 &\Rightarrow H_1 = 25\text{kN}; \\ &\text{verificare} \\ \Sigma X = 0, \quad 25 - 25 = 0. \end{aligned} \tag{4.9}$$

Trasare diagrame de eforturi:

forța axială,

$$\begin{aligned} N_{1-2} &= 25\text{kN}; \\ N_{2-3} &= 0, \end{aligned} \tag{4.10}$$

forța tăietoare,

$$\begin{aligned} T_{1-2} &= 0; \\ T_{2-3} &= -25\text{kN}, \end{aligned} \tag{4.11}$$

moment încovoietor,

$$\begin{aligned} M_1 &= -30\text{kNm}; \\ M_2^{1-2} &= -30\text{kNm}; \\ M_2^{2-3} &= -30 + 80 = 50\text{kNm}. \end{aligned} \tag{4.12}$$

### 4.3 Caz general. Sistem de bare simplu rezemat solicitat de către diverse tipuri de încărcări

Se cere trasarea diagramei de efort pentru sistemul de bare din figura 4:

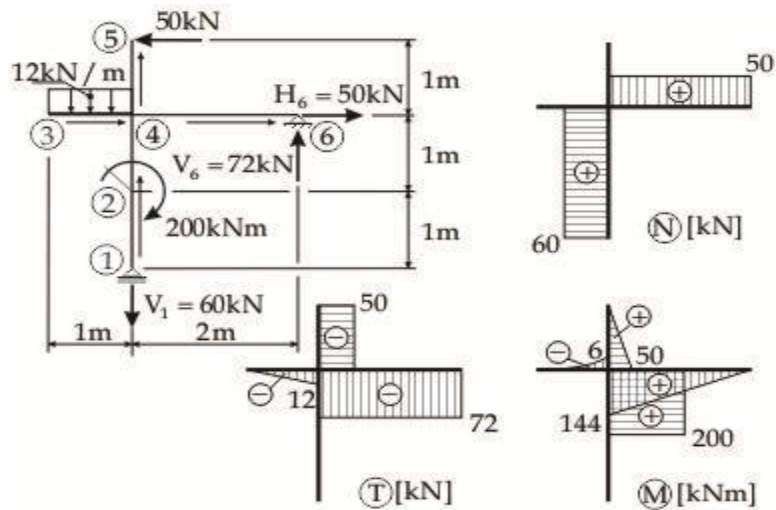


fig.4

Calcul de reacțiuni:

$$\begin{aligned}\Sigma X = 0, \quad 50 - H_6 = 0 &\Rightarrow H_6 = 50 \text{ kN}; \\ \Sigma M_1 = 0, \quad 200 - 12 \cdot 1 \cdot 0,5 - 50 \cdot 3 + 50 \cdot 2 - V_6 \cdot 2 = 0 &\Rightarrow V_6 = 72 \text{ kN}; \\ \Sigma M_6 = 0, \quad -V_1 \cdot 2 + 200 - 12 \cdot 1 \cdot 2,5 - 50 \cdot 1 = 0 &\Rightarrow V_1 = 60 \text{ kN}; \\ \text{verificare} \\ \Sigma Y = 0, \quad -12 \cdot 1 - 60 + 72 = 0.\end{aligned}\tag{4.13}$$

Trasare diagrame de efort:

forța axială,

$$\begin{aligned}N_{3-4} = N_{4-5} &= 0; \\ N_{1-4} &= 60 \text{ kN}; \\ N_{4-6} &= 50 \text{ kN},\end{aligned}\tag{4.14}$$

forță tăietoare,

$$\begin{aligned}T_{1-4} &= 0; \\ T_3 &= 0; \\ T_4^{3-4} &= -12 \cdot 1 = -12 \text{ kN}; \\ T_{4-5} &= -50 \text{ kN}; \\ T_{4-6} &= -72 \text{ kN},\end{aligned}\tag{4.15}$$

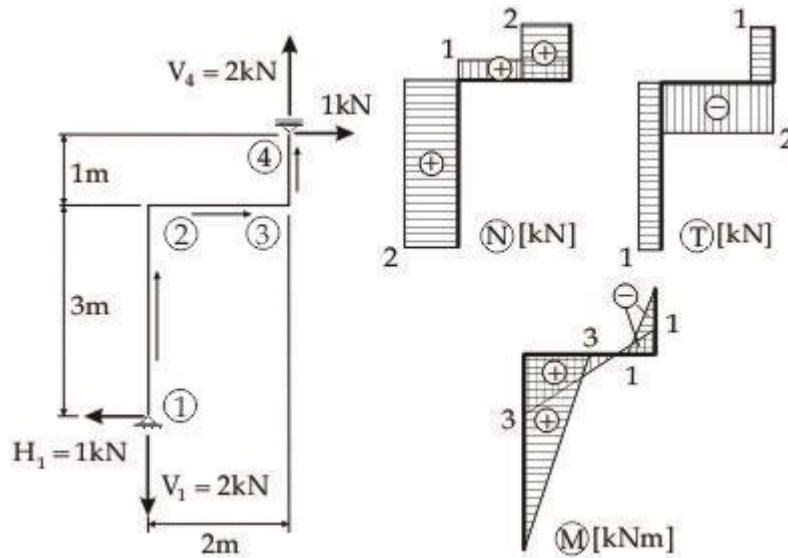
moment încovoietor,

$$\begin{aligned}M_1 = M_{2st} = M_3 = M_5 = M_6 &= 0; \\ M_{2dr} &= 200 \text{ kNm}; \\ M_4^{2-4} &= 200 \text{ kNm}; \\ M_4^{3-4} &= -12 \cdot 1 \cdot 0,5 = -6 \text{ kNm}; \\ M_4^{4-5} &= 50 \cdot 1 = 50 \text{ kNm}; \\ M_4^{4-6} &= 72 \cdot 2 = 144 \text{ kNm}.\end{aligned}\tag{4.16}$$

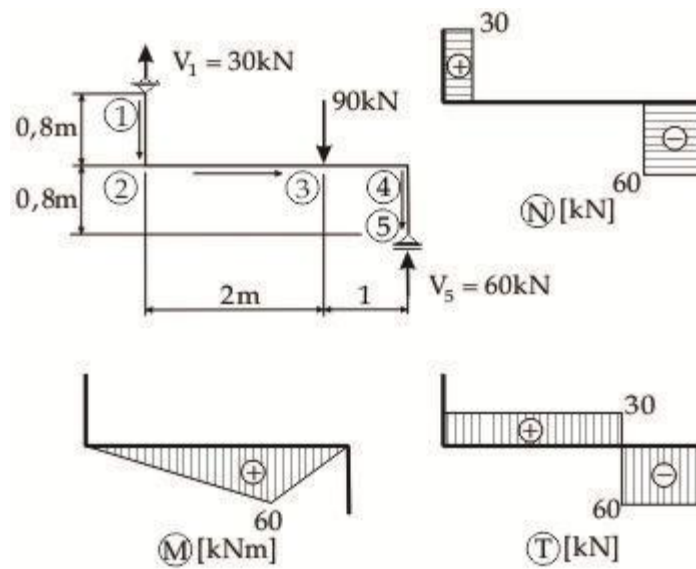
## Temă de control

Se cere verificarea corectitudinii trasării diagramelor de efort pentru următoarele scheme de calcul (este necesară parcurgerea algoritmului complet de calcul și verificare a diagramelor):

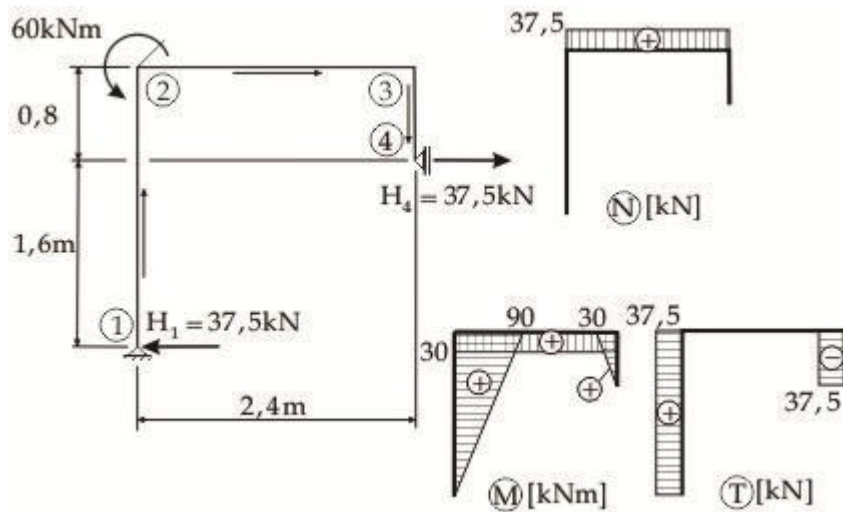
T1



T2



T3



### Sugestii de rezolvare și răspunsuri

T1

$$\begin{aligned} \Sigma X = 0, \quad H_1 - 1 &= 0 \Rightarrow H_1 = 1 \text{ kN}; \\ \Sigma M_1 = 0, \quad 1 \cdot 4 - V_4 \cdot 2 &= 0 \Rightarrow V_4 = 2 \text{ kN}; \\ \Sigma M_4 = 0, \quad 1 \cdot 4 - V_1 \cdot 2 &= 0 \Rightarrow V_1 = 2 \text{ kN}; \\ \text{verificare} \\ \Sigma Y = 0, \quad 2 - 2 &= 0, \\ N_{1-2} &= 2 \text{ kN}; \\ N_{2-3} &= 1 \text{ kN}; \\ N_{3-4} &= 2 \text{ kN}, \\ T_{1-2} &= 1 \text{ kN}; \\ T_{2-3} &= -2 \text{ kN}; \\ T_{3-4} &= 1 \text{ kN}, \\ M_1 = M_4 &= 0; \\ M_2 &= 1 \cdot 3 = 3 \text{ kNm}; \\ M_3 &= 1 \cdot 1 = 1 \text{ kNm}. \end{aligned}$$



## T2

$$\Sigma X = 0 \Rightarrow H_1 = 0;$$

$$\Sigma M_1 = 0, \quad 90 \cdot 2 - V_5 \cdot 3 = 0 \Rightarrow V_5 = 60 \text{ kN};$$

$$\Sigma M_5 = 0, \quad 90 \cdot 1 - V_1 \cdot 3 = 0 \Rightarrow V_1 = 30 \text{ kN};$$

verificare

$$\Sigma Y = 0, \quad 30 - 90 + 60 = 0,$$

$$N_{1-2} = 30 \text{ kN};$$

$$N_{2-4} = 0;$$

$$N_{4-5} = -60 \text{ kN},$$

$$T_{1-2} = T_{4-5} = 0;$$

$$T_{2-3} = 30 \text{ kN};$$

$$T_{3-4} = -60 \text{ kN},$$

$$M_{1-2} = M_2 = M_4 = M_{4-5} = 0;$$

$$M_3 = 30 \cdot 2 = 60 \text{ kNm}.$$

## T3

$$\Sigma Y = 0 \Rightarrow V_1 = 0;$$

$$\Sigma M_1 = 0, \quad 60 - H_4 \cdot 1,6 = 0 \Rightarrow H_4 = 37,5 \text{ kN};$$

$$\Sigma M_4 = 0, \quad H_1 \cdot 1,6 - 60 = 0 \Rightarrow H_1 = 37,5 \text{ kN};$$

verificare

$$\Sigma X = 0, \quad 37,5 - 37,5 = 0,$$

$$N_{1-2} = N_{3-4} = 0;$$

$$N_{2-3} = 37,5 \text{ kN},$$

$$T_{1-2} = 37,5 \text{ kN};$$

$$T_{2-3} = 0;$$

$$T_{3-4} = -37,5 \text{ kN},$$

$$M_1 = M_4 = 0;$$

$$M_2^{1-2} = 37,5(1,6 + 0,8) = 90 \text{ kNm};$$

$$M_2^{2-3} = 37,5 \cdot 0,8 = 30 \text{ kNm};$$

$$M_3 = 37,5 \cdot 0,8 = 30 \text{ kNm}.$$