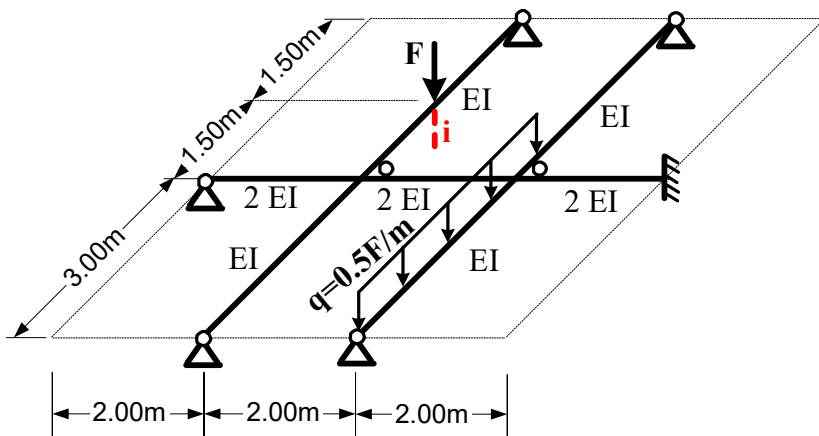


ROZWIĄZANIE RUSZTU BELKOWEGO METODĄ SIŁ I OBLICZENIE PRZEMIESZCZENIA

Dany jest ruszt belkowy jak na rysunku obok.

Rozwiązać go metodą sił, sporządzić wykresy sił przekrojowych i dokonać kontroli rozwiązania oraz obliczyć zaznaczone przemieszczenie.



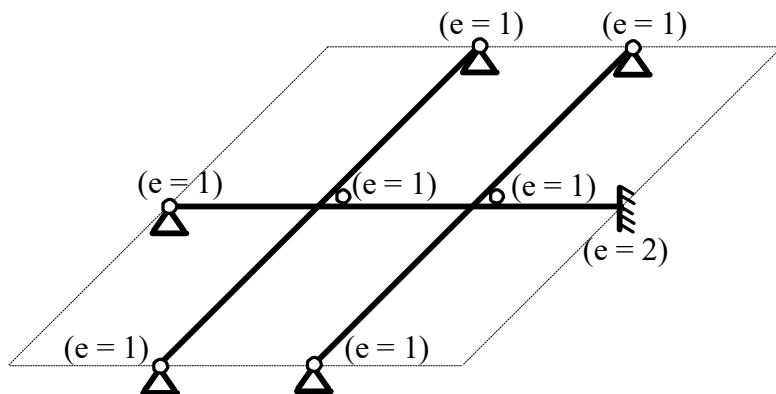
I. ROZWIĄZANIE DANEGO RUSZTU BELKOWEGO OD DANEGO OBCIĄŻENIA

1 STOPIEŃ STATYCZNEJ NIEWYZNACZALNOŚCI

Korzystamy ze wzoru $n_h = e - 2 \cdot b$.

Uwzględniamy tu tylko więzi translacyjne prostopadłe do płaszczyzny rusztu i więzi rotacyjne w płaszczyznach prostopadłych do płaszczyzny rusztu, na których leżą osie belek.

$$n_h = 9 - 2 \cdot 3 = 3$$



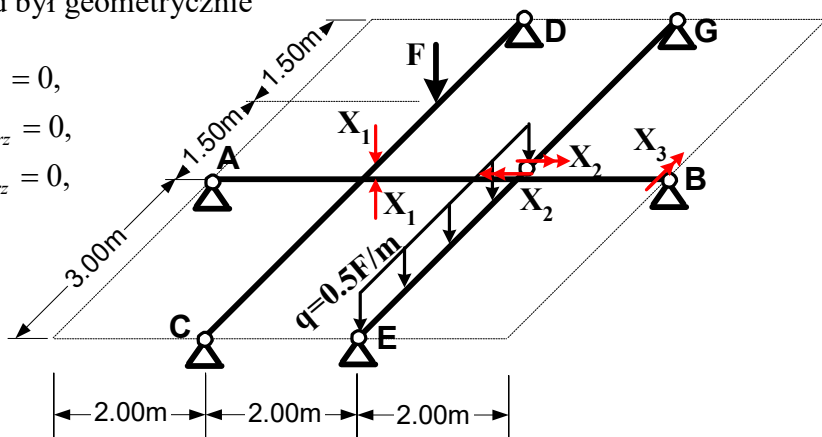
2 UKŁAD PODSTAWOWY I ODPOWIADAJĄCY MU UKŁAD RÓWNAŃ

Układ podstawowy (obok) tworzymy z układu danego przez zastąpienie n_h więzi niewiadomymi siłami w taki sposób by powstały układ był geometrycznie niezmienny.

$$\delta_{11} \cdot X_1 + \delta_{12} \cdot X_2 + \delta_{13} \cdot X_3 + \delta_{1F} = \Delta_{1rz} = 0,$$

$$\delta_{21} \cdot X_1 + \delta_{22} \cdot X_2 + \delta_{23} \cdot X_3 + \delta_{2F} = \Delta_{2rz} = 0,$$

$$\delta_{31} \cdot X_1 + \delta_{32} \cdot X_2 + \delta_{33} \cdot X_3 + \delta_{3F} = \Delta_{3rz} = 0,$$

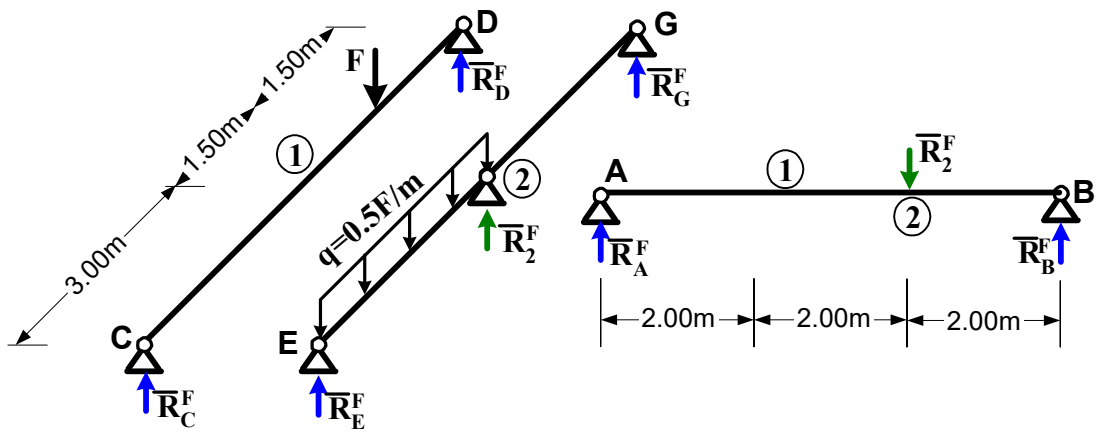


3 ROZWIĄZANIE UKŁADU PODSTAWOWEGO

3.1. ROZWIĄZANIE UKŁADU PODSTAWOWEGO OD DANEGO OBCIĄŻENIA $F = (F, q)$

Uwaga: Momenty zginające przyjmujemy za dodatnie, gdy rozciągane są włókna dolne a za ujemne, gdy rozciągane są włókna górne.

Poniżej przedstawiono układ podstawowy w rozłożeniu na belki obciążony obciążeniem (F, q) . Belka EG opiera się w punkcie 2 na belce AB. Podparcie to zastąpiono podporą o reakcji \bar{R}_2^F oraz obciążeniem belki AB reakcją \bar{R}_2^F .



Z rozwiązania belki CD otrzymano: $\bar{R}_C^F = F/4$, $\bar{R}_D^F = 3F/4$ i moment pod siłą F $\bar{M}_F^F = 9Fm/8$.

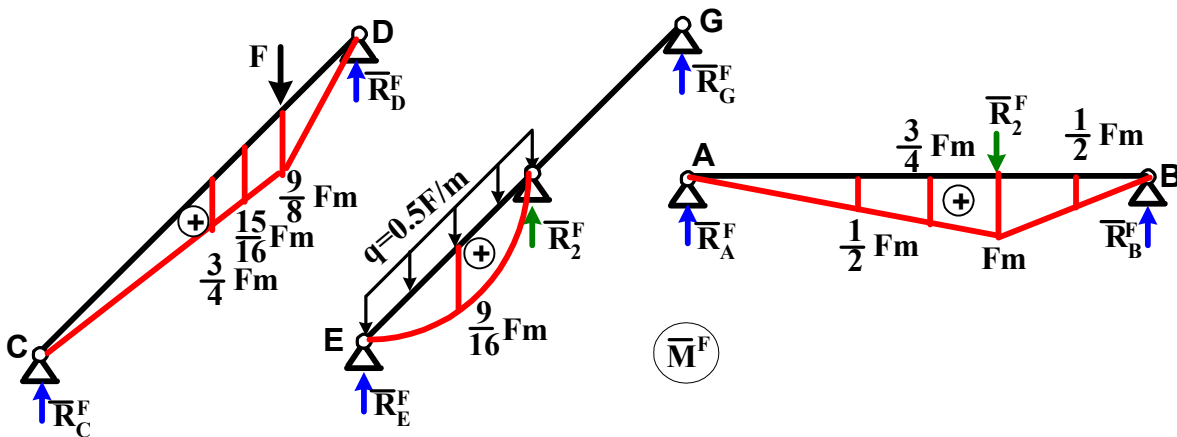
Z rozwiązania belki EG otrzymano: $\bar{R}_E^F = \bar{R}_2^F = 3F/4$, $\bar{R}_G^F = 0$

i moment w środku rozpiętości pręta E2 $\bar{M}_{s,E2}^F = 9Fm/16$.

Z rozwiązania belki AB otrzymano: $\bar{R}_A^F = \bar{R}_2^F/3 = F/4$, $\bar{R}_B^F = 2\bar{R}_2^F/3 = F/2$

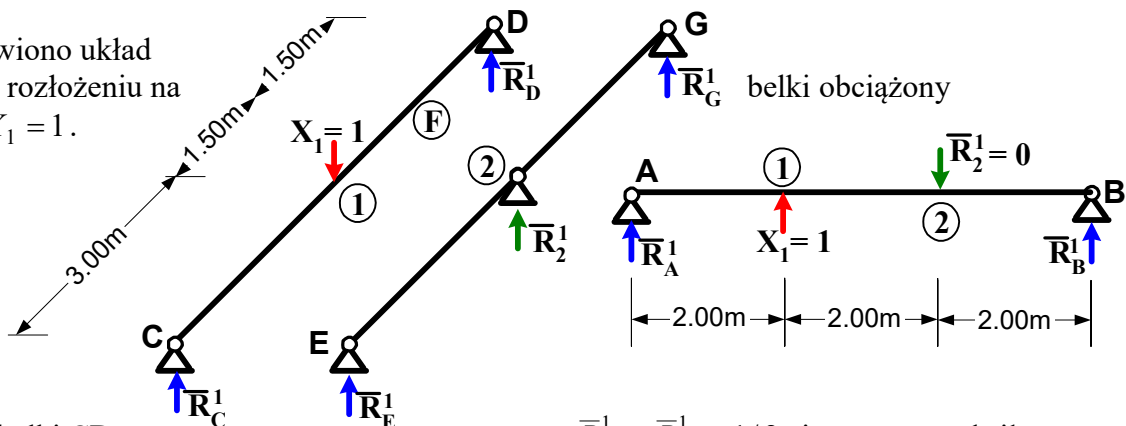
i moment pod siłą \bar{R}_2^F $\bar{M}_{R2}^F = Fm$.

Wykres momentów zginających



3.2.ROZWIĄZANIE UKŁADU PODSTAWOWEGO OD OBCIĄŻENIA $X_1 = 1$

Obok przedstawiono układ podstawowy w rozłożeniu na obciążeniem $X_1 = 1$.



Z rozwiązania belki CD otrzymano: $\bar{R}_C^1 = \bar{R}_D^1 = 1/2$ i moment pod siłą

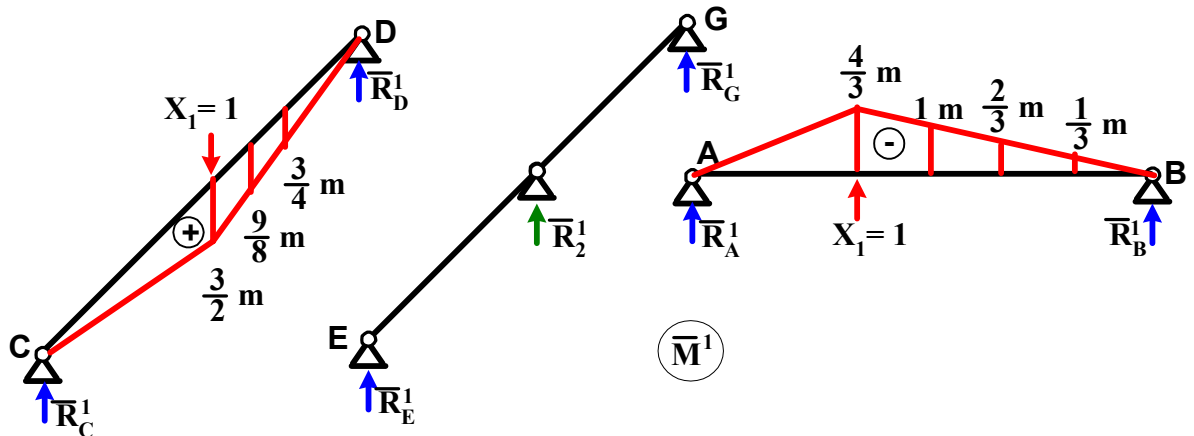
$X_1 = 1$, $\bar{M}_{1,CD}^1 = 1.5m$.

Z rozwiązania belki EG otrzymano: $\bar{R}_E^1 = \bar{R}_2^1 = \bar{R}_G^1 = 0$.

Z rozwiązania belki AB otrzymano: $\bar{R}_A^1 = -2/3$, $\bar{R}_B^1 = -1/3$.

i moment pod siłą $X_1 = 1$ $\bar{M}_{1,AB}^1 = -4m/3$.

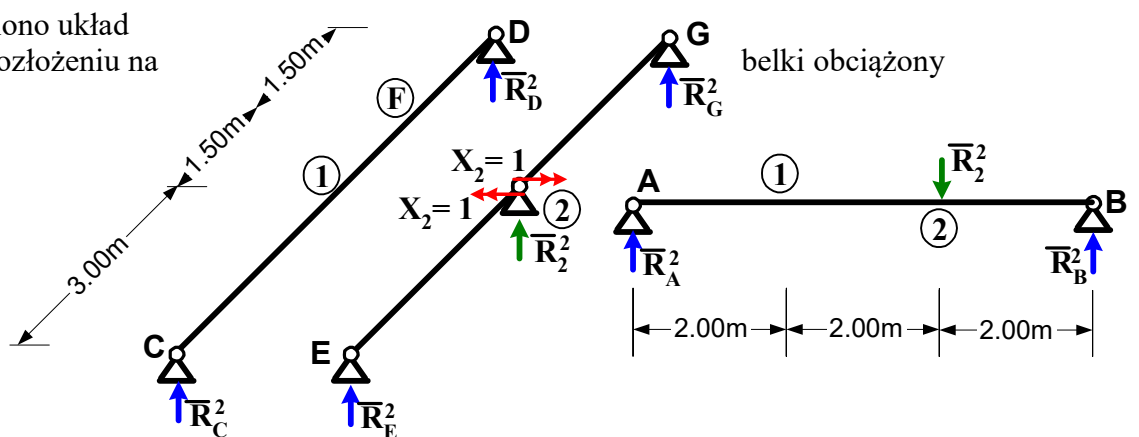
Wykres momentów zginających



3.3.ROZWIĄZANIE UKŁADU PODSTAWOWEGO OD OBCIĄŻENIA $X_2 = 1$

Obok przedstawiono układ podstawowy w rozłożeniu na obciążeniem

$$X_2 = 1.$$



Z rozwiązania belki CD otrzymano: $\bar{R}_C^2 = \bar{R}_D^2 = 0$.

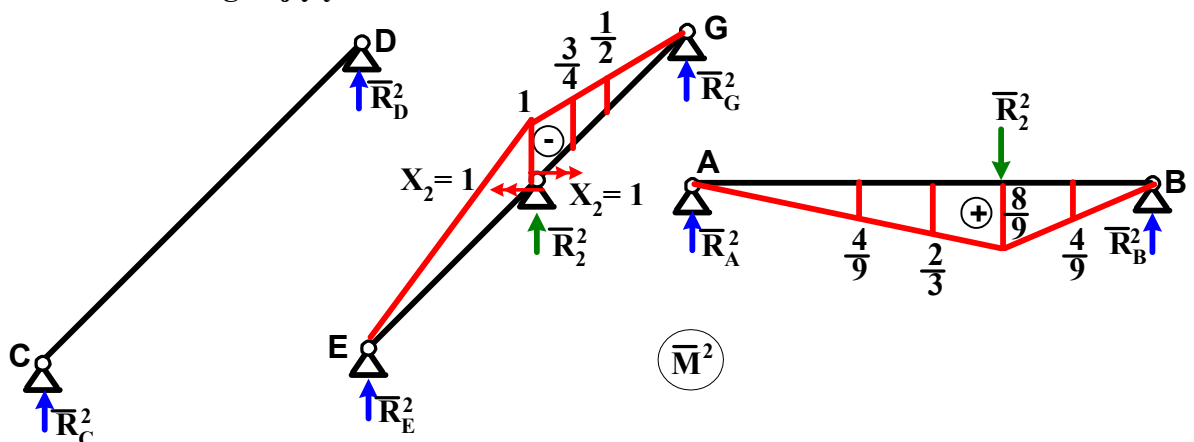
Z rozwiązania belki EG otrzymano: $\bar{R}_E^2 = \bar{R}_G^2 = -1/3m$, $\bar{R}_2^2 = 2/3m$,

i moment w punkcie 2

$$\bar{M}_{2,EG}^2 = 1.$$

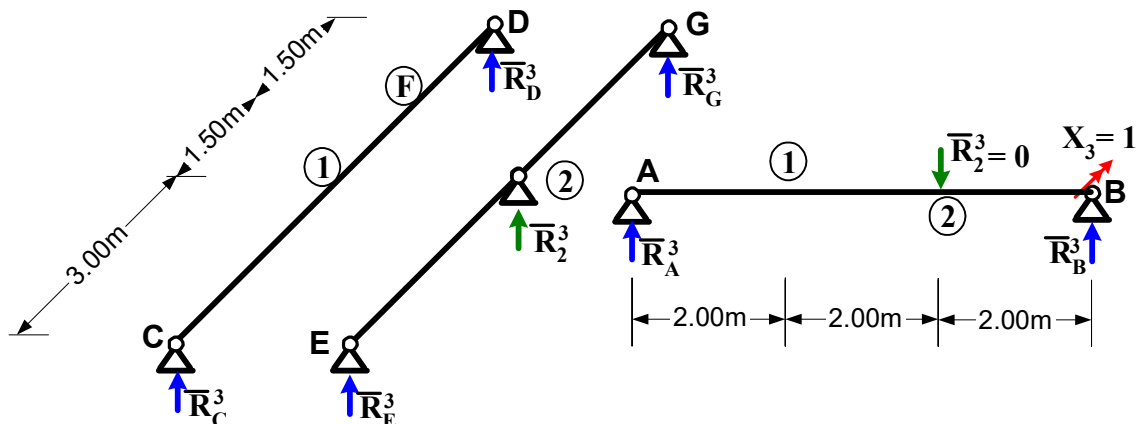
Z rozwiązania belki AB otrzymano: $\bar{R}_A^2 = 2/9m$, $\bar{R}_B^2 = 4/9m$ i moment w punkcie 2 $\bar{M}_{2,AB}^2 = 8/9$.

Wykres momentów zginających



3.4.ROZWIĄZANIE UKŁADU PODSTAWOWEGO OD OBCIĄŻENIA $X_3 = 1$.

Poniżej przedstawiono układ podstawowy w rozłożeniu na belki obciążony obciążeniem $X_3 = 1$.

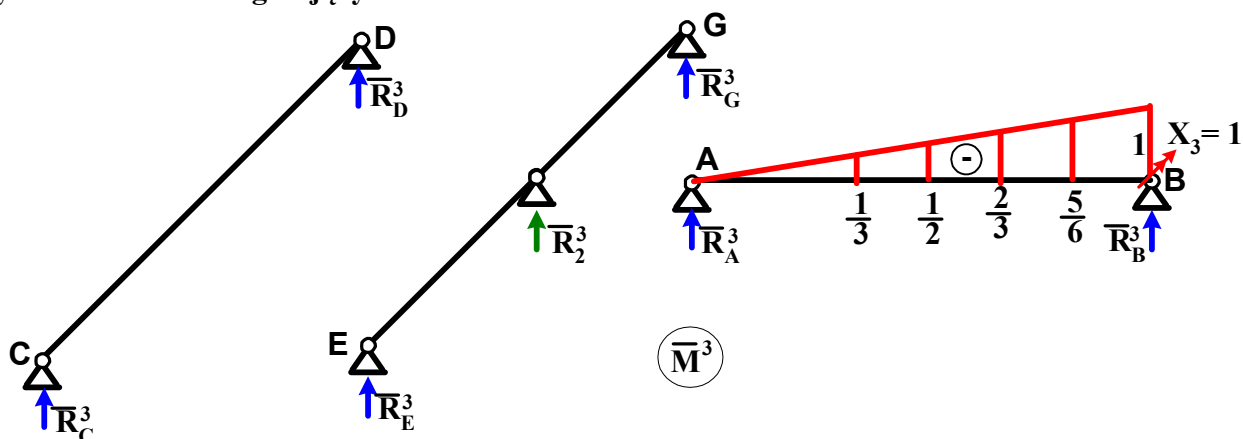


Z rozwiązania belki CD otrzymano: $\bar{R}_C^3 = \bar{R}_D^3 = 0$.

Z rozwiązania belki EG otrzymano: $\bar{R}_E^3 = \bar{R}_G^3 = \bar{R}_2^3 = 0$.

Z rozwiązania belki AB otrzymano: $\bar{R}_A^3 = -1/6m$, $\bar{R}_B^3 = 1/6m$.

Wykres momentów zginających



4. UKŁAD RÓWNAŃ I JEGO ROZWIĄZANIE.

4.1.OBLICZENIE WSPÓŁCZYNNIKÓW UKŁADU RÓWNAŃ

Współczynniki układu równań obliczamy wykorzystując wzory identyczne jak dla układów płaskich

$$\delta_{ij} = \int \frac{\bar{M}^i \cdot \bar{M}^j}{EI} \cdot dx + \sum \frac{\bar{S}_s^i \cdot \bar{S}_s^j}{k_s}, \quad \delta_{iF} = \int \frac{\bar{M}^i \cdot \bar{M}^F}{EI} \cdot dx + \sum \frac{\bar{S}_s^i \cdot \bar{S}_s^F}{k_s}.$$

Do obliczenia całek w powyższych wzorach zastosowano wzór Simpsona lub Mohra .

$$\begin{aligned} \delta_{11} &= \left(\frac{1}{EI} \int \bar{M}^1 \cdot \bar{M}^1 \cdot dx \right)_{A1,1B,C1,1D} + 0 = \\ &= \frac{1}{2EI} \cdot \frac{-4m \cdot 2m}{3 \cdot 2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{-4m}{3} + \frac{1}{2EI} \cdot \frac{-4m \cdot 4m}{3 \cdot 2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{-4m}{3} + \frac{1}{EI} \cdot \frac{3m \cdot 3m}{2 \cdot 2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{3m}{2} \cdot 2 = 6.277778 \frac{m^3}{EI}, \\ \delta_{12} = \delta_{21} &= \left(\frac{1}{EI} \int \bar{M}^1 \cdot \bar{M}^2 \cdot dx \right)_{A1,12,2B} + 0 = \frac{1}{2EI} \cdot \frac{-4m \cdot 2m}{3 \cdot 2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{4}{9} + \\ &+ \frac{1}{2EI} \cdot \frac{2m}{6} \cdot \left(-\frac{4m}{3} \cdot \frac{4}{9} + 4 \cdot (-1m) \cdot \frac{2}{3} + \frac{-2m}{3} \cdot \frac{8}{9} \right) + \frac{1}{2EI} \cdot \frac{-2m \cdot 2m}{3 \cdot 2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{8}{9} = -1.037037 \frac{m^2}{EI}, \end{aligned}$$

$$\delta_{13} = \delta_{31} = \left(\frac{1}{EI} \int_{A1,1B} M^1 \cdot M^3 \cdot dx \right) + 0 =$$

$$= \frac{1}{2EI} \cdot \frac{-4m \cdot 2m}{3 \cdot 2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{-1}{3} + \frac{1}{2EI} \cdot \frac{4m}{6} \cdot \left(-\frac{4m}{3} \cdot \frac{-1}{3} + 4 \cdot \frac{-2m}{3} \cdot \frac{-2}{3} + 0 \right) = 0.888889 \frac{m^2}{EI},$$

$$\delta_{1F} = \left(\frac{1}{EI} \int_{A1,12,2B,C1,1F,FD} M^1 \cdot M^F \cdot dx \right) + 0 = \frac{1}{2EI} \cdot \frac{-4m \cdot 2m}{3 \cdot 2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{Fm}{2} +$$

$$+ \frac{1}{2EI} \cdot \frac{2m}{6} \cdot \left(-\frac{4m}{3} \cdot \frac{Fm}{2} + 4 \cdot (-1m) \cdot \frac{3Fm}{4} + \frac{-2m}{3} \cdot Fm \right) + \frac{1}{2EI} \cdot \frac{-2m \cdot 2m}{3 \cdot 2} \cdot \frac{2}{3} \cdot Fm + \frac{1}{EI} \cdot \frac{3m \cdot 3m}{2 \cdot 2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{3Fm}{4} +$$

$$+ \frac{1}{EI} \cdot \frac{1.5m}{6} \cdot \left(\frac{3m}{2} \cdot \frac{3Fm}{4} + 4 \cdot \frac{9m}{8} \cdot \frac{15Fm}{16} + \frac{3m}{4} \cdot \frac{9Fm}{8} \right) + \frac{1}{EI} \cdot \frac{3m \cdot 1.5m}{4 \cdot 2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{9Fm}{8} = 1.927083 \frac{Fm^3}{EI},$$

$$\delta_{22} = \left(\frac{1}{EI} \int_{A2,2B,E2,2G} M^2 \cdot M^2 \cdot dx \right) + 0 =$$

$$= \frac{1}{2EI} \cdot \frac{8 \cdot 4m}{9 \cdot 2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{8}{9} + \frac{1}{2EI} \cdot \frac{8 \cdot 2m}{9 \cdot 2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{8}{9} + \frac{1}{EI} \cdot \frac{-1 \cdot 3m}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot (-1) \cdot 2 = 3.790123 \frac{m}{EI},$$

$$\delta_{23} = \delta_{32} = \left(\frac{1}{EI} \int_{A2,2B} M^2 \cdot M^3 \cdot dx \right) + 0 =$$

$$= \frac{1}{2EI} \cdot \frac{8 \cdot 4m}{9 \cdot 2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{-2}{3} + \frac{1}{2EI} \cdot \frac{2m}{6} \cdot \left(\frac{8}{9} \cdot \frac{-2}{3} + 4 \cdot \frac{4}{9} \cdot \frac{-5}{6} + 0 \right) = -0.740741 \frac{m}{EI},$$

$$\delta_{2F} = \left(\frac{1}{EI} \int_{A2,2B,E2} M^2 \cdot M^F \cdot dx \right) + 0 +$$

$$= \frac{1}{2EI} \cdot \frac{8 \cdot 4m}{9 \cdot 2} \cdot \frac{2}{3} \cdot Fm + \frac{1}{2EI} \cdot \frac{8 \cdot 2m}{9 \cdot 2} \cdot \frac{2}{3} \cdot Fm + \frac{1}{EI} \cdot \frac{3m}{6} \cdot \left(0 + 4 \cdot (-0.5) \cdot \frac{9Fm}{16} + 0 \right) = 0.326389 \frac{Fm^2}{EI},$$

$$\delta_{33} = \frac{1}{EI} \int_{AB} M^3 \cdot M^3 \cdot dx + 0 = \frac{1}{2EI} \cdot \frac{-1 \cdot 6m}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot (-1) = 1 \cdot \frac{m}{EI},$$

$$\delta_{3F} = \left(\frac{1}{EI} \int_{A2,2B} M^3 \cdot M^F \cdot dx \right) + 0 =$$

$$= \frac{1}{2EI} \cdot \frac{-2 \cdot 4m}{3 \cdot 2} \cdot \frac{2}{3} \cdot Fm + \frac{1}{2EI} \cdot \frac{2m}{6} \cdot \left(-\frac{2}{3} \cdot Fm + 4 \cdot \frac{-5}{6} \cdot \frac{Fm}{2} + 0 \right) = -0.833333 \frac{Fm^2}{EI}.$$

4.2. POSTAĆ SZCZEGÓŁOWA UKŁADU RÓWNAŃ

$$6.277778 \frac{m^3}{EI} \cdot X_1 - 1.037037 \frac{m^2}{EI} \cdot X_2 + 0.888889 \frac{m^2}{EI} \cdot X_3 + 1.927083 \frac{Fm^3}{EI} = 0,$$

$$-1.037037 \frac{m^2}{EI} \cdot X_1 + 3.790123 \frac{m}{EI} \cdot X_2 - 0.740741 \frac{m}{EI} \cdot X_3 + 0.326389 \frac{Fm^2}{EI} = 0,$$

$$0.888889 \frac{m^2}{EI} \cdot X_1 - 0.740741 \frac{m}{EI} \cdot X_2 + 1 \frac{m}{EI} \cdot X_3 - 0.833333 \frac{Fm^2}{EI} = 0.$$

4.3. ROZWIĄZANIE UKŁADU RÓWNAŃ

$$X_1 = X_1^F = -0.483858F, \quad X_2 = X_2^F = 0.033228Fm, \quad X_3 = X_3^F = 1.288044 Fm.$$

5. SIŁY RZECZYWISTE

5.1.OBLICZENIA

Obliczenia reakcji i momentów zginających wykonano w tabeli wykorzystując wzory

$$R_r^F = \bar{R}_r^1 \cdot X_1^F + \bar{R}_r^2 \cdot X_2^F + \bar{R}_r^3 \cdot X_3^F + \bar{R}_r^F, \quad M_\alpha^F = \bar{M}_\alpha^1 \cdot X_1^F + \bar{M}_\alpha^2 \cdot X_2^F + \bar{M}_\alpha^3 \cdot X_3^F + \bar{M}_\alpha^F,$$

Uwaga: W tabeli zamiast nadkreślenia zastosowano przekreślenie a wartości rzeczywiste wytłuszczono

MOMENTY ZGINAJACE

$X_1 = -0.483858$		$X_2 = 0.033228$		$X_3 = 1.28804356$			
Pręt A1	p	s	k	Pręt 12	p	s	k
M^1	0	-0.6666667	-1.3333333	M^1	-1.3333333	-1	-0.6666667
M^2	0	0.2222222	0.4444444	M^2	0.4444444	0.6666667	0.8888889
M^3	0	-0.1666667	-0.3333333	M^3	-0.3333333	-0.5	-0.6666667
M^F	0	0.25	0.5	M^F	0.5	0.75	1
M^F	0	0.36528192	0.73056384	M^F	0.730563836	0.611988062	0.49341229
Pręt 2B	p	s	k	Pręt C1	p	s	k
M^1	-0.6666667	-0.3333333	0	M^1	0	0.75	1.5
M^2	0.8888889	0.4444444	0	M^2	0	0	0
M^3	-0.6666667	-0.8333333	-1	M^3	0	0	0
M^F	1	0.5	0	M^F	0	0.375	0.75
M^F	0.49341229	-0.3973156	-1.2880436	M^F	0	0.012106731	0.02421346
Pręt 1F	p	s	k	Pręt FD	p	s	k
M^1	1.5	1.125	0.75	M^1	0.75	0.375	0
M^2	0	0	0	M^2	0	0	0
M^3	0	0	0	M^3	0	0	0
M^F	0.75	0.9375	1.125	M^F	1.125	0.5625	0
M^F	0.02421346	0.3931601	0.76210673	M^F	0.762106731	0.381053366	0
Pręt E2	p	s	k	Pręt 2G	p	s	k
M^1	0	0	0	M^1	0	0	0
M^2	0	-0.5	-1	M^2	-1	-0.5	0
M^3	0	0	0	M^3	0	0	0
M^F	0	0.5625	0	M^F	0	0	0
M^F	0	0.54588589	-0.0332282	M^F	-0.033228226	-0.016614113	0
REAKCJE							
	R_A	R_B	R_C	R_D	R_E	R_G	R_2
R^1	-0.6666667	-0.3333333	0.5	0.5	0	0	0
R^2	0.2222222	0.4444444	0	0	-0.3333333	-0.3333333	0.6666667
R^3	-0.1666667	0.1666667	0	0	0	0	0
R^F	0.25	0.5	0.25	0.75	0.75	0	0.75
R^F	0.36528192	0.89072792	0.00807115	0.5081	0.738923925	-0.011076075	0.77215215

Wartości sił tnących obliczono wykorzystując znane już wartości reakcji.

Pręt AB

$$V_{A1} = V_{1A} = R_A = 0.3653F, \quad V_{12} = V_{21} = R_A + X_1 = -0.1186F, \quad V_{2B} = V_{B2} = -R_B = -0.8907F,$$

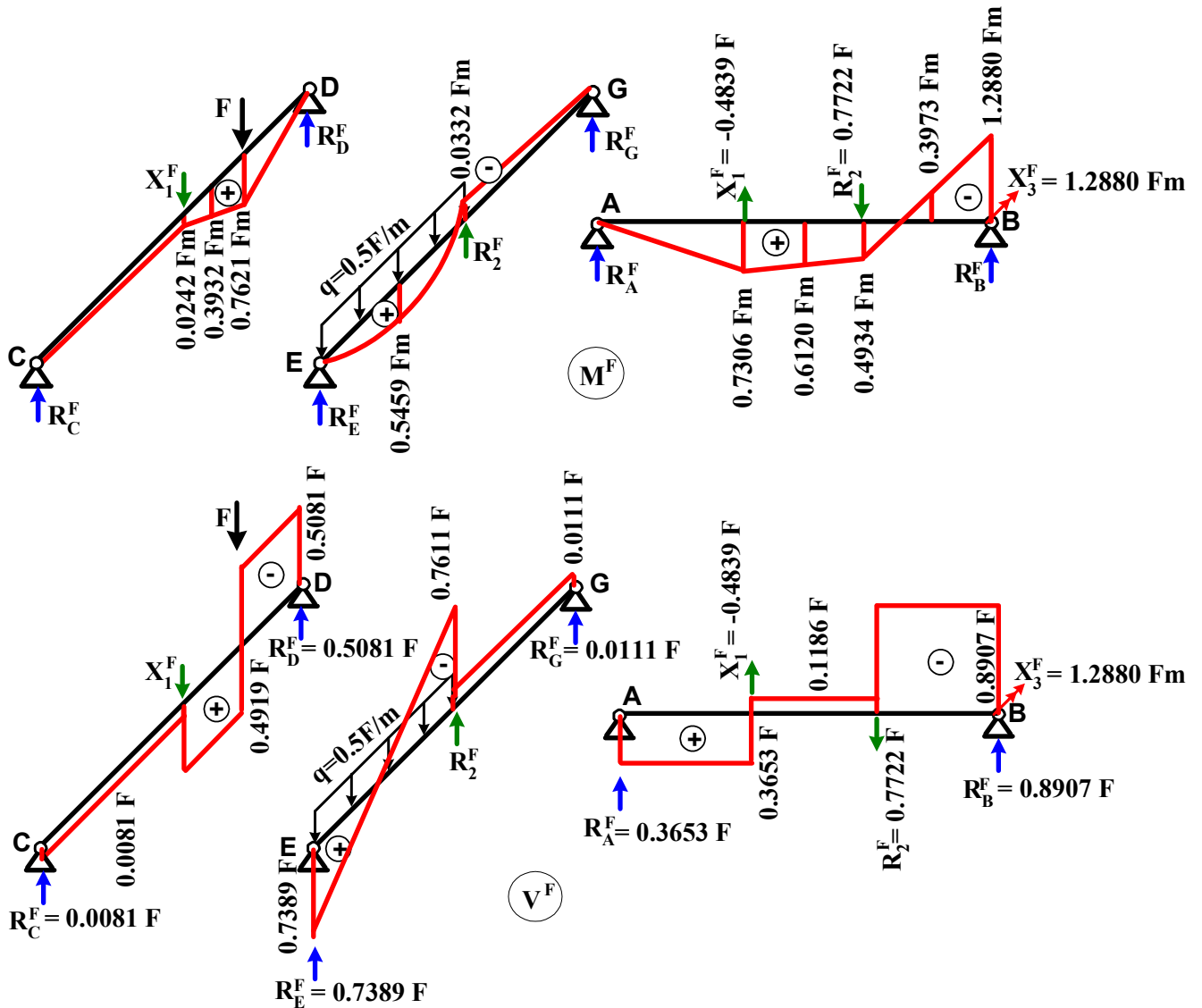
Pręt CD

$$V_{C1} = V_{C1} = R_C = 0.0081F, \quad V_{1F} = V_{F1} = R_C - X_1 = 0.4919F, \quad V_{FD} = V_{DF} = -R_D = -0.5081F,$$

Pręt EG

$$V_{E2} = R_E = 0.7389F, \quad V_{2E} = R_E - 0.5 * 3m * 3m / 2 = -0.7611F, \quad V_{2G} = V_{G2} = -R_G = -0.0111F.$$

5.1. WYKRESY SIŁ PRZEKROJOWYCH

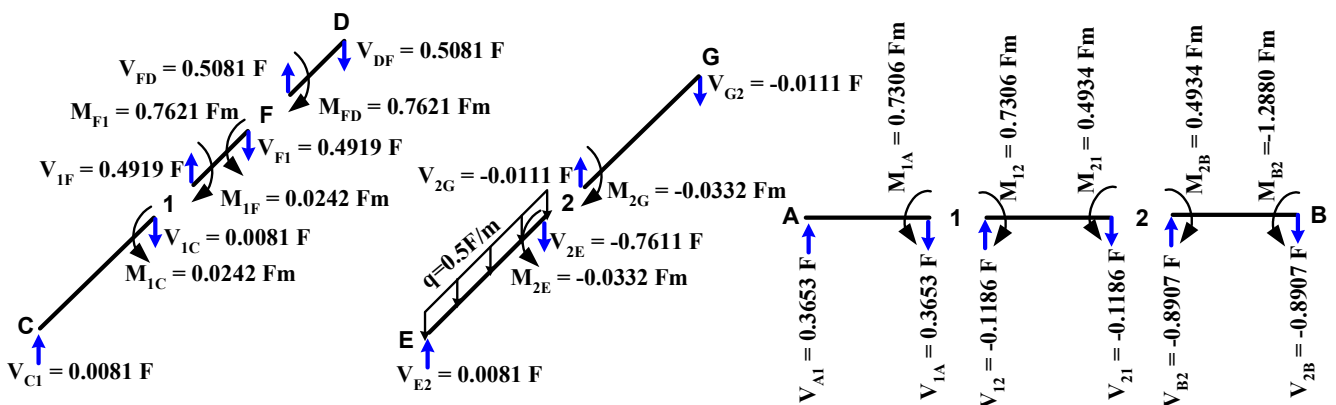


6. KONTROLA POPRAWNOŚCI ROZWIĄZANIA

Kontrola rozwiązania polega na sprawdzeniu czy otrzymane rozwiązanie jest statycznie i kinematycznie dopuszczalne, czyli czy siły spełniają równania równowagi a przemieszczenia są kinematycznie zgodne. Dokonując kontroli należy pamiętać, że kontroli podlegają tylko te wartości, które występują w obliczeniach kontrolnych.

6.1. KONTROLA STATYCZNEJ DOPUSZCZALNOŚCI ROZWIĄZANIA

Aby sprawdzić wszystkie rzędne charakterystyczne momentów i sił tnących sprawdzimy równania równowagi dla elementów jak na rysunku poniżej.



Dla pręta A1

$$\sum M_A = -M_{1A} + V_{1A} \cdot 2m = -0.7306Fm + 0.3653F \cdot 2m = 0,$$

$$\sum M_1 = -M_{1A} + V_{A1} \cdot 2m = -0.7306Fm + 0.3653F \cdot 2m = 0,$$

Dla pręta 12

$$\sum M_1 = M_{12} - M_{21} + V_{21} \cdot 2m = 0.7306Fm - 0.4934Fm - 0.1186F \cdot 2m = 0,$$

$$\sum M_2 = M_{12} - M_{21} + V_{12} \cdot 2m = 0.7306Fm - 0.4934Fm - 0.1186F \cdot 2m = 0,$$

Dla pręta 2B

$$\sum M_2 = M_{2B} - M_{B2} + V_{B2} \cdot 2m = 0.4934Fm - (-1.288)Fm - 0.8907F \cdot 2m = 0,$$

$$\sum M_B = M_{2B} - M_{B2} + V_{2B} \cdot 2m = 0.4934Fm - (-1.288)Fm - 0.8907F \cdot 2m = 0,$$

Dla pręta C1

$$\sum M_C = -M_{1C} + V_{1C} \cdot 3m = -0.0242Fm + 0.0081F \cdot 3m = 0.0001Fm \approx 0,$$

$$\sum M_1 = -M_{1C} + V_{C1} \cdot 3m = -0.0242Fm + 0.0081F \cdot 3m = 0.0001Fm \approx 0,$$

Dla pręta 1F

$$\sum M_1 = M_{1F} - M_{F1} + V_{F1} \cdot 1.5m = 0.0242Fm - 0.7621Fm - 0.4919F \cdot 1.5m = 0,$$

$$\sum M_F = M_{1F} - M_{F1} + V_{1F} \cdot 1.5m = 0.0242Fm - 0.7621Fm - 0.4919F \cdot 1.5m = 0,$$

Dla pręta FD

$$\sum M_F = M_{FD} + V_{DF} \cdot 1.5m = +0.7621Fm - 0.5081F \cdot 1.5m = 0,$$

$$\sum M_D = M_{FD} + V_{FD} \cdot 1.5m = +0.7621Fm - 0.5081F \cdot 1.5m = 0,$$

Dla pręta E2

$$\sum M_E = -M_{2E} + V_{2E} \cdot 3m + q \cdot 3m \cdot 1.5m = -(-0.0332)Fm + (-0.7611)F \cdot 3m + 0.5F/m \cdot 4.5m^2 = 0,$$

$$\sum M_2 = -M_{2E} + V_{E2} \cdot 3m - q \cdot 3m \cdot 1.5m = -(-0.0332)Fm + 0.0081F \cdot 3m - 0.5F/m \cdot 4.5m^2 = 0,$$

Dla pręta 2G

$$\sum M_2 = -M_{2G} + V_{G2} \cdot 3m = -(-0.0332)Fm + (-0.0111)F \cdot 3m = -0.0001Fm \approx 0,$$

$$\sum M_G = -M_{2G} + V_{2G} \cdot 3m = -(-0.0332)Fm + (-0.0111)F \cdot 3m = -0.0001Fm \approx 0.$$

6.2.KONTROLA KINEMATYCZNEJ DOPUSZCZALNOŚCI ROZWIĄZANIA

Kontrola zgodności przemieszczeń polega na sprawdzeniu zgodności przemieszczeń układu rozwiązanego z przemieszczeniami rzeczywistymi w tylu miejscach ile wynosi stopień statycznej niewyznaczalności. Sprawdźmy przemieszczenia w miejscach 1, 2 i 3 (Δ_{1F} i Δ_{1F} , Δ_{2F} i Δ_{3F})

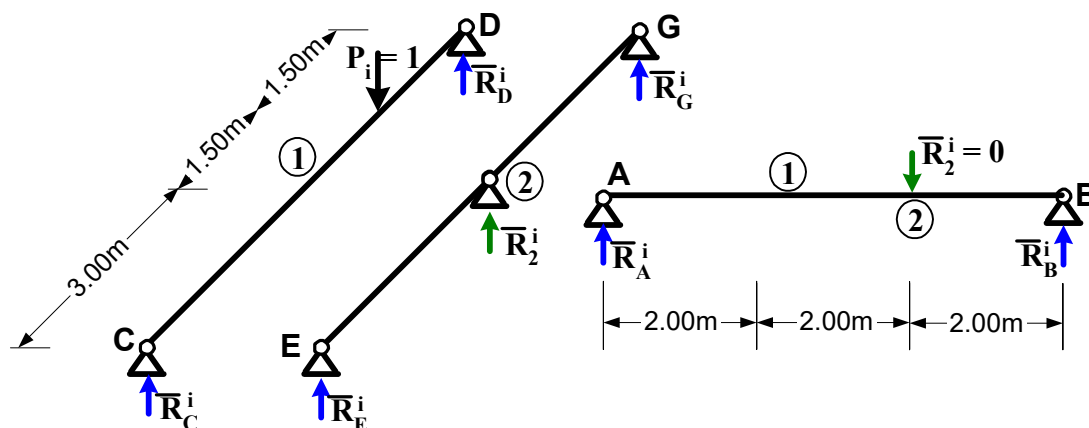
wykorzystując wzór $\Delta_{iF} = \int \frac{\bar{M}^i \cdot M^F}{EI} \cdot dx + \sum \frac{\bar{S}_s^i \cdot S_s^F}{k_s} \Delta_{1F}, \Delta_{2F}$ i Δ_{3F} .

$$\begin{aligned} \Delta_{1F} &= \left(\frac{1}{EI} \int \bar{M}^1 \cdot M^F \cdot dx \right)_{A1,12,2B,C1,1F,FD} + 0 = \\ &= \frac{1}{2EI} \cdot \frac{-4m \cdot 2m}{3 \cdot 2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 0.7306Fm + \frac{1}{2EI} \cdot \frac{2m}{6} \cdot \left(-\frac{4m}{3} \cdot 0.7306Fm + 4 \cdot (-1m) \cdot 0.612Fm + \frac{-2m}{3} \cdot 0.4934Fm \right) + \\ &+ \frac{1}{2EI} \cdot \frac{2m}{6} \cdot \left(-\frac{2m}{3} \cdot 0.4934Fm + 4 \cdot \frac{-1m}{3} \cdot (-0.3973)Fm + 0 \right) + \frac{1}{EI} \cdot \frac{3m \cdot 3m}{2 \cdot 2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 0.0242Fm + \\ &+ \frac{1}{EI} \cdot \frac{1.5m}{6} \cdot \left(\frac{3m}{2} \cdot 0.0242Fm + 4 \cdot \frac{9m}{8} \cdot 0.3932Fm + \frac{3m}{4} \cdot 0.7621Fm \right) + \frac{1}{EI} \cdot \frac{3m \cdot 1.5m}{4 \cdot 2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 0.7621Fm + 0 = 0 \\ \Delta_{2F} &= \left(\frac{1}{EI} \int \bar{M}^2 \cdot M^F \cdot dx \right)_{A1,12,2B,E2,2G} + 0 = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{2EI} \cdot \frac{4 \cdot 2m}{9 \cdot 2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 0.7306Fm + \frac{1}{2EI} \cdot \frac{2m}{6} \cdot \left(\frac{4}{9} \cdot 0.7306Fm + 4 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0.612Fm + \frac{8}{9} \cdot 0.4934Fm \right) + \\
 &\quad + \frac{1}{2EI} \cdot \frac{2m}{6} \cdot \left(\frac{8}{9} \cdot 0.4934Fm + 4 \cdot \frac{4}{9} \cdot (-3973)Fm + 0 \right) + \\
 &+ \frac{1}{EI} \cdot \frac{3m}{6} \cdot \left(0 + 4 \cdot \frac{-1}{2} \cdot 0.5459Fm + (-1) \cdot (-0.0332)Fm + 0 \right) + \frac{1}{EI} \cdot \frac{-1 \cdot 3m}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot (-0.0332)Fm = 0, \\
 \Delta_{3F} &= \left(\frac{1}{EI} \int_{A1,12,2B} M^3 \cdot M^F \cdot dx \right)_{A1,12,2B} + 0 = \\
 &= \frac{1}{2EI} \cdot \frac{-1 \cdot 2m}{3 \cdot 2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 0.7306Fm + \frac{1}{2EI} \cdot \frac{2m}{6} \cdot \left(-\frac{1}{3} \cdot 0.7306Fm + 4 \cdot (-0.5) \cdot 0.612Fm + \frac{-2}{3} \cdot 0.4934Fm \right) + \\
 &\quad + \frac{1}{2EI} \cdot \frac{2m}{6} \cdot \left(-\frac{2}{3} \cdot 0.4934Fm + 4 \cdot \frac{-5}{6} \cdot (-3973)Fm + (-1) \cdot (-1.288)Fm \right) = 0.
 \end{aligned}$$

II. ROZWIĄZANIE IZOSTATYCZNEGO MODELU RUSZTU BELKOWEGO OD OBCIĄŻENIA $P_i=1$

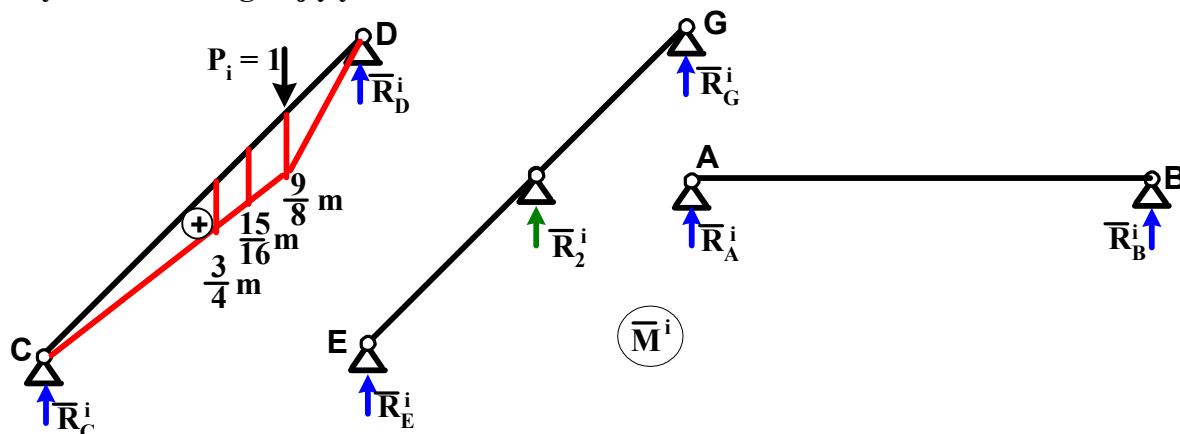
Uwzględniając, że znamy rozwiązanie rusztu danego od danego obciążenia (M^F, S_s^F), w celu wyznaczenia szukanego przemieszczenia musimy jeszcze wykonać rozwiązanie dowolnego modelu izostaticznego rusztu od obciążenia jednostkowego przyłożonego w miejscu i kierunku szukanego przemieszczenia ($P_i=1$). Do rozwiązania przyjęto model jak na rysunku poniżej.



W wyniku rozwiązania tego układu otrzymano:

$$\bar{R}_C^i = 1/4, \quad \bar{R}_D^i = 3/4, \quad \bar{M}_F^i = 9m/8, \quad \bar{R}_E^i = \bar{R}_2^i = \bar{R}_G^i = 0, \quad \bar{R}_A^i = \bar{R}_B^i = 0.$$

Wykresy momentów zginających



1.

III..OBLICZENIE SZUKANEGO PRZEMIESZCZENIA

$$\begin{aligned}\Delta_{iF} &= \int \frac{\bar{M}^i \cdot M^F}{EI} \cdot dx + \sum \frac{\bar{S}_s^i \cdot S_s^F}{k_s} = \left(\frac{1}{EI} \int \bar{M}^i \cdot M^F \cdot dx \right)_{C1,1F,FD} + 0 = \\ &= \frac{1}{EI} \cdot \frac{3m \cdot 3m}{4 \cdot 2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 0.0242Fm + \frac{1}{EI} \cdot \frac{1.5m}{6} \cdot \left(\frac{3m}{4} \cdot 0.0242Fm + 4 \cdot \frac{15m}{16} \cdot 0.3932Fm + \frac{9m}{8} \cdot 0.7621Fm \right) + \\ &\quad + \frac{1}{EI} \cdot \frac{9m \cdot 1.5m}{8 \cdot 2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 0.7621Fm = 1.0343 \frac{Fm^3}{EI}.\end{aligned}$$