

# Mechanika Budowli

## Laboratorium nr 1

*Opracowała: dr inż. Olga Szyłko-Bigus*



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



Politechnika Wrocławska

# Zajęcia laboratoryjno-projektowe

1. W ramach zajęć do wykonania są 3 projekty;
2. W ramach zajęć przewidziane są 2 kartkówki zaliczające;
3. Do poprawy przystąpić może tylko ten, kto najpóźniej w dniu poprawy odda gotowy projekt;
4. Projekt musi być wykonany poprawnie –w przeciwnym razie należy go poprawić;
5. Frekwencja –co najmniej 75%;
6. Aktywność na zajęciach punktowana jest dodatkowo;
7. Na każde zajęcia trzeba być przygotowanym.

# Warunki zaliczenia

- Uzyskanie pozytywnej oceny z ćwiczeń projektowych;
- Zaliczenie każdej kartkówki (minimalnie na ocenę dostateczną (3,0));
- Do kartkówki przewidziana jest jedna poprawa;
- Poprawa odbywać się będzie na ostatnich zajęciach;
- Zaliczenie można uzyskać jedynie w trakcie trwania semestru

# Pomoce dydaktyczne

1. Wykład dr inż. Ryszard Hołubowski;
2. <http://k3-wbliw.pwr.edu.pl/dydaktyka/studia-stacjonarne-ii-stopnia>;
3. <https://wbliw.pwr.edu.pl/pracownicy/olga-szylko-bigus>;
4. <https://wbliw.pwr.edu.pl/pracownicy/katarzyna-misiurek>;
5. W.Nowacki, Mechanika budowli t.1;
6. Mechanika budowli. Ujęcie komputerowe;
7. A.Chudziński, Statyka Budowli cz.2;
8. A.Cybuski, Z.Grodecki, Statyka ustrojów prętowych t.IV

# Tematy ćwiczeń laboratoryjnych

1. Ćwiczenie I – Układ przestrzenny
2. Ćwiczenie II -Metoda Przemieszczeń
3. Ćwiczenie III-Stateczność
4. Kartkówka
  - 4 zajęciach MS
  - 7 zajęcia MP
5. Poprawa kartkówki -8 zajęcia

Kartkówka trwa 45min

# Projekty

- Ćwiczenia projektowe wykonujemy na kartkach formatu A4.
- Strony ćwiczenia muszą być ponumerowane.
- Pierwsza strona ćwiczenia jest jego tematem, druga kartka to spis treści.
- Kolejna kartka ma zawierać dane i szukane (schemat rozwiązywanego układu z wymiarami i obciążeniami).
- Jeśli w temacie lub na zajęciach nie jest wyraźnie zaznaczone, że coś jest obliczane na komputerze to wszystkie obliczenia wykonujemy ręcznie, wartości i jednostki muszą wynikać z obliczeń, podać używane wzory, wykonać niezbędne szkice. Na końcu ćwiczenia należy napisać: projekt wykonał i podpisać się.
- Przy poprawianiu ćwiczeń należy przekreślić błędne obliczenia tak by były czytelne i wykonywać nowe (obok lub na nowych stronach z zaznaczeniem gdzie się te poprawki znajdują). Nie dopuszcza się wyjmowania stron z błędnymi obliczeniami lub poprawianie przez wymazywanie.

# TEMAT ZADANIA

Temat oraz pierwszą stronę projektu należy pobrać ze strony:

<http://www.zits.pwr.wroc.pl/holubowski/didactics/download.htm#>

The screenshot shows a website interface with a navigation menu at the top containing 'Strona główna', 'Świat konstrukcji', 'Dydaktyka', 'Galeria zdjęć', and 'Kontakt'. A left sidebar menu includes 'Menu', 'Warunki zaliczenia', 'Konsultacje', 'Wyniki', and 'Do pobrania'. The main content area is divided into three sections: 'Mechanika budowli - wykład:' with a link to 'Literatura'; 'Mechanika budowli - laboratorium:' with links to 'Program SDS FRaMe STaBiLiTy 3\_1', 'Temat zadania 1', and 'Generator danych do zadania 1'; and 'Mechanika budowli - przykłady:' with a link to 'Układ przestrzenny - metoda sił'. Red arrows point from labels on the right to these links: 'Temat' points to 'Temat zadania 1', 'Generator danych' points to 'Generator danych do zadania 1', and 'Przykład' points to 'Układ przestrzenny - metoda sił'. The footer contains 'Copyright by Ty & rhg' and 'Design by flankerds.com'.

Temat

Generator danych

Przykład

# Projekt nr 1. Metoda sił-układ przestrzenny

Politechnika Wrocławska  
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

Katedra Mechaniki Budowli  
i Inżynierii Miejskiej

Mechanika budowli – laboratorium

rok akademicki: 2021/2022

## Zadanie 1. Układ przestrzenny

Dany jest hiperstatyczny przestrzenny ustrój prętowy o schemacie statycznym jak na rysunku.

- 1) Należy dobrać wymiary zadanych profili tak, aby w zadanym stanie obciążenia spełnione były warunki SGN podane w PN-EN 1993-1-1:2006 zakładając, że pręty układu są zabezpieczone przed utratą stateczności.
- 2) Stosując metodę sił obliczyć reakcje i siły wewnętrzne.
- 3) Wyznaczyć zadane przemieszczenie.

Szczegółowe wytyczne dotyczące wykonania zadania podane zostaną na zajęciach.

Mechanika budowli - dane do zadania 1 - semestr letni 2020/2021

Dane studenta

Numer albumu:

Kurs powtórkowy:  tak  nie

Dane geometryczno-materiałowe

$L_1 =$   m    Stal:

$L_2 =$   m    Profil:

$L_3 =$   m     $k_{\delta} =$   kN/m

$L_4 =$   m     $k_{\varphi} =$   kNm/rad

Obciążenia

$P =$   kN     $T_y^{(+)} =$   °C

$M =$   kNm     $T_y^{(-)} =$   °C

$q =$   kN/m     $\Delta r =$   mm

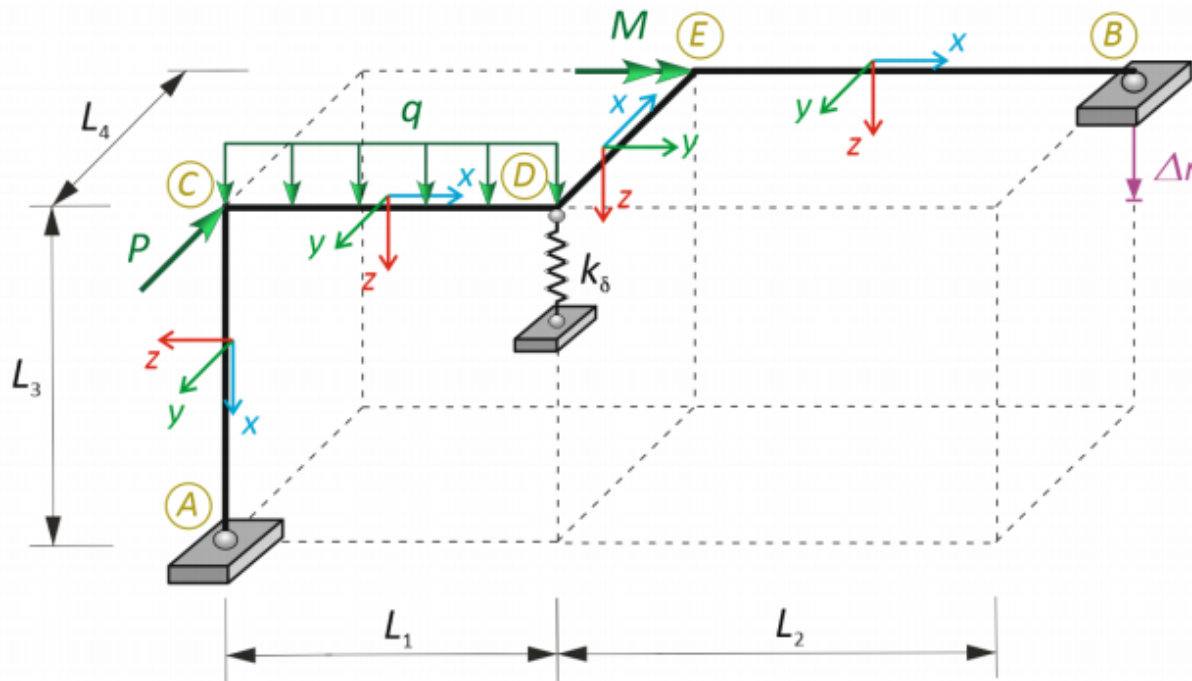
Schemat statyczny układu przestrzennego



## Spis treści

1. Schemat statyczny układu.....	
2. Analiza kinematyczna .....	
3. Układ podstawowy metody sił .....	
4. Rozwiązanie układu podstawowego od siły nadliczbowej .....	
4.1 Reakcje podporowe i sprawdzenie geometrycznej niezmienności .....	
4.2 Siły wewnętrzne.....	
5. Rozwiązanie układu podstawowego od obciążenia zadanego .....	
5.1 Reakcje podporowe .....	
5.2 Siły wewnętrzne.....	
6. Równanie kanoniczne metody sił.....	
7. Reakcje i siły wewnętrzne w układzie hiperstatycznym .....	
7.1 Reakcje podporowe .....	
7.2 Siły wewnętrzne.....	
8. Sprawdzenie – równowaga węzła C.....	
9. Przemieszczenie w węzle C.....	
9.1 Schemat statyczny układu podstawowego z siłą jednostkową $P_u$ .....	
9.2 Reakcje podporowe .....	
9.3 Siły wewnętrzne.....	
9.4 Równanie pracy wirtualnej.....	
10. Wyniki z programu Robot.....	

1. SCHEMAT STATYCZNY UKŁADU



Dane:

$L_1 = 3,0 \text{ m} ; L_2 = 4,0 \text{ m} ; L_3 = 5,0 \text{ m} ; L_4 = 2,0 \text{ m} ; k_\delta = 3\,500 \text{ kN/m}$

$P = 10 \text{ kN} ; q = 4 \text{ kN/m} ; M = 15 \text{ kNm} ; \Delta r = 15 \text{ mm}$

## 2. ANALIZA KINEMATYCZNA

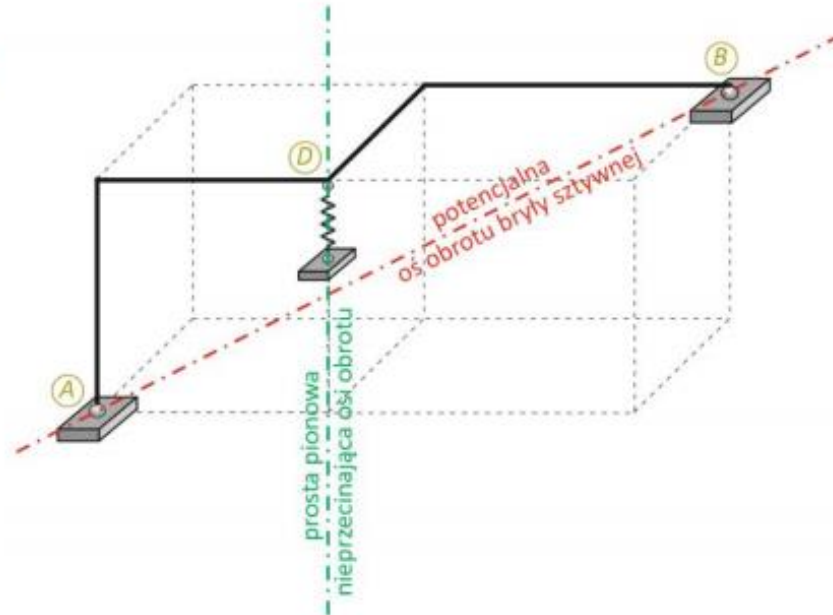
Warunek ilościowy:  $e \geq 6b$

$e = 3 + 3 + 1 = 7 > 6 \cdot 1 = 6b$  – warunek ilościowy jest spełniony

$$n_h = e - 6 \cdot t$$

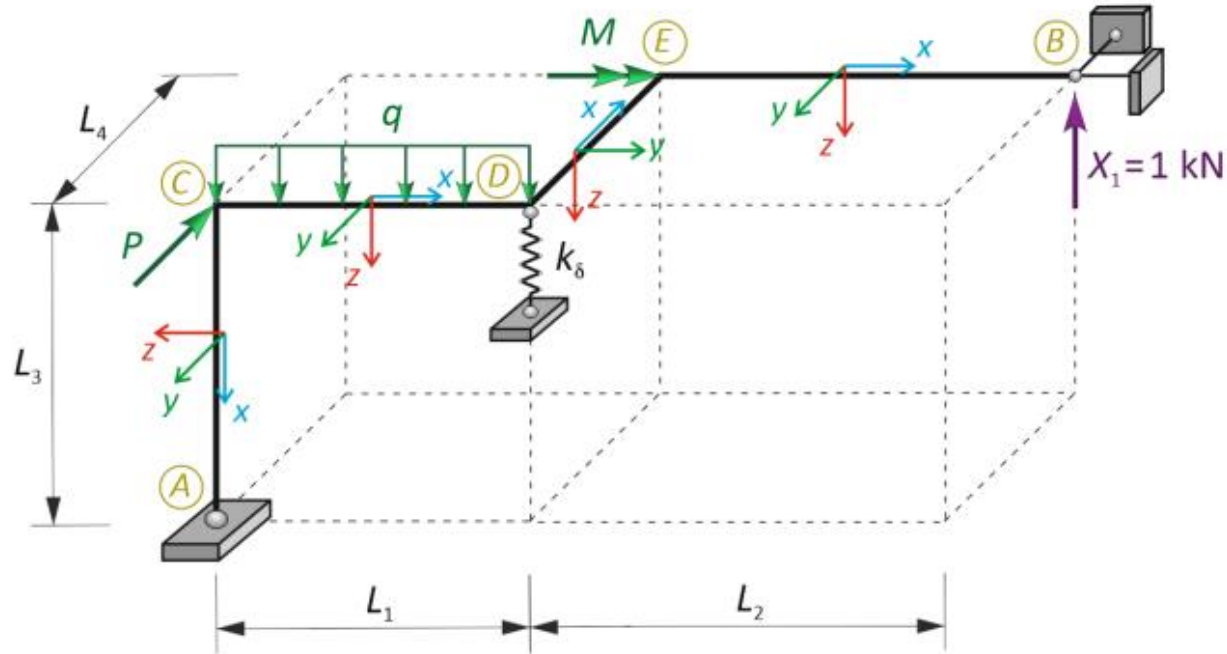
Warunek jakościowy

Bryła sztywna podparta za pomocą przegubów kulistych jedynie w punktach A i B miałaby możliwość obrotu względem osi przechodzącej przez te punkty. Jednakże pionowa więź sprężysta, dołożona w punkcie D, której kierunek nie przecina osi potencjalnego obrotu, wyklucza jakikolwiek ruch bryły.



Wniosek: układ jest geometrycznie niezmienny i jednokrotnie przesztyniony ( $n_h = 1$ ).

3. UKŁAD PODSTAWOWY METODY SIŁ



$$\delta_{11}X_1 + \delta_{1F} = -\Delta r$$

$$\bar{1} \text{ kN} \cdot \delta_{11} \cong \sum_p \int_L \frac{\bar{M}_x^1 \bar{M}_x^1}{GI_x} dx + \sum_p \int_L \frac{\bar{M}_y^1 \bar{M}_y^1}{EI_y} dx + \sum_p \int_L \frac{\bar{M}_z^1 \bar{M}_z^1}{EI_z} dx + \sum_s \frac{\bar{S}_\delta^1 \bar{S}_\delta^1}{k_\delta}$$

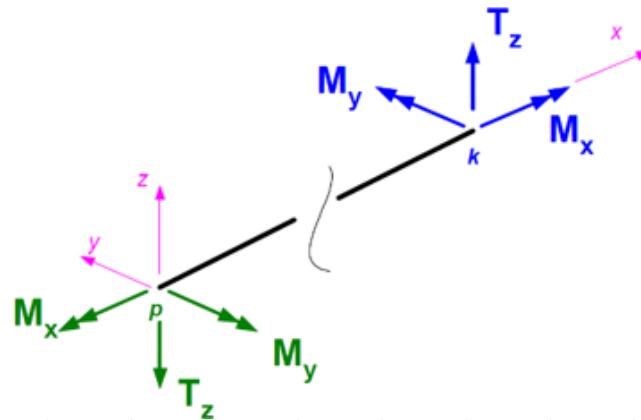
$$\bar{1} \text{ kN} \cdot \delta_{1F} \cong \sum_p \int_L \frac{\bar{M}_x^1 \bar{M}_x^F}{GI_x} dx + \sum_p \int_L \frac{\bar{M}_y^1 \bar{M}_y^F}{EI_y} dx + \sum_p \int_L \frac{\bar{M}_z^1 \bar{M}_z^F}{EI_z} dx + \sum_s \frac{\bar{S}_\delta^1 \bar{S}_\delta^F}{k_\delta}$$

# Definicja znakowania sił przekrojowych

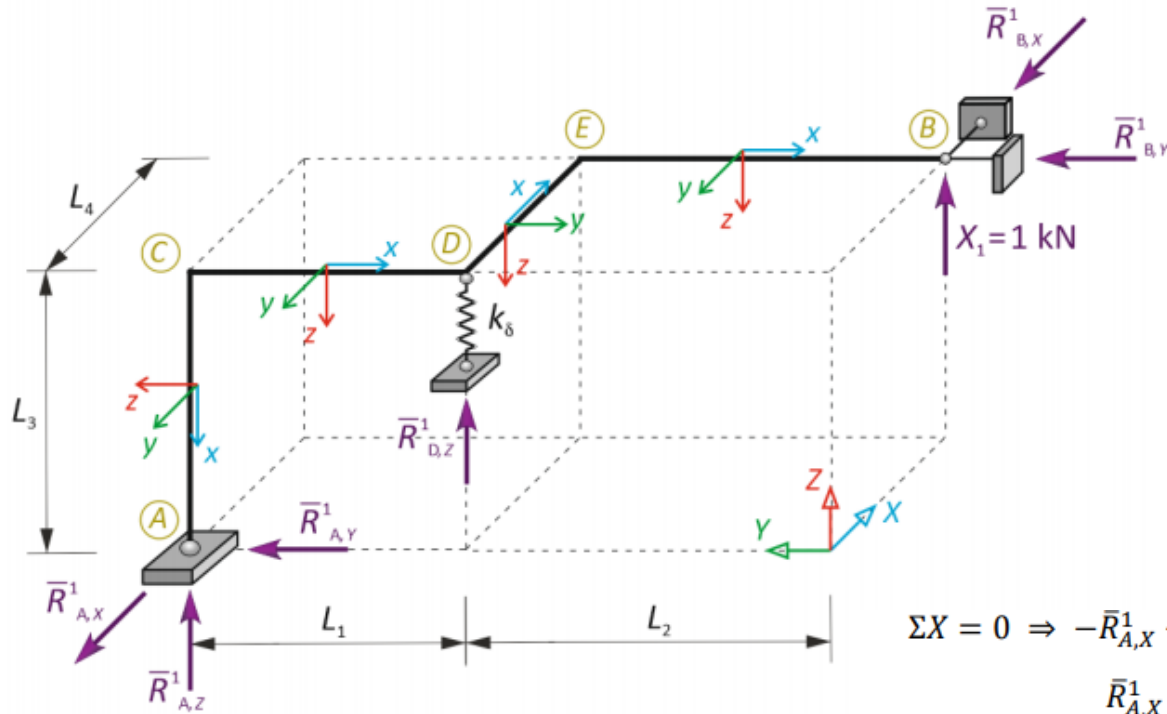
Momenty zginające  $M_y$  odkładamy po stronie włókien rozciąganych w płaszczyźnie  $xz$ . Znak „+” jest po dodatniej stronie lokalnej osi  $z$ . Momenty skręcające odkładamy w płaszczyźnie  $xz$  lub  $xy$ .

Znaki wynikają z przyjętych lokalnych układów współrzędnych, a definicja znakowania jest pokazana na rysunku poniżej i jest następująca:

- Jeśli w przyjętym lokalnym układzie osi równoważymy obciążenia po stronie związanej z początkiem pręta (p) to  **dodatnie siły przekrojowe mają zwroty przeciwne do przyjętych osi lokalnych**.
- Jeśli w przyjętym lokalnym układzie osi równoważymy obciążenia po stronie związanej z końcem pręta (k) to  **dodatnie siły przekrojowe mają zwroty zgodne z przyjętymi osiami lokalnymi**.



4. ROZWIĄZANIE UKŁADU PODSTAWOWEGO OD SIŁY NADLICZBOWEJ



4.1 Reakcje podporowe i sprawdzenie geometrycznej niezmienności

$$\Sigma M_{Y_A} = 0 \Rightarrow -\bar{R}_{B,X}^1 \cdot L_3 - X_1 \cdot L_4 = 0$$

$$5\bar{R}_{B,X}^1 + 2 \text{ kN} = 0$$

$$\Sigma M_{Z_A} = 0 \Rightarrow -\bar{R}_{B,X}^1 \cdot (L_1 + L_2) + \bar{R}_{B,Y}^1 \cdot L_4 = 0$$

$$-7\bar{R}_{B,X}^1 + 2\bar{R}_{B,Y}^1 = 0$$

$$\Sigma X = 0 \Rightarrow -\bar{R}_{A,X}^1 - \bar{R}_{B,X}^1 = 0$$

$$\bar{R}_{A,X}^1 + \bar{R}_{B,X}^1 = 0$$

$$\Sigma Y = 0 \Rightarrow \bar{R}_{A,Y}^1 + \bar{R}_{B,Y}^1 = 0$$

$$\Sigma M_{X_A} = 0 \Rightarrow -\bar{R}_{B,Y}^1 \cdot L_3 - \bar{R}_{D,Z}^1 \cdot L_1 - X_1 \cdot (L_1 + L_2) = 0$$

$$5\bar{R}_{B,Y}^1 + 3\bar{R}_{D,Z}^1 + 7 \text{ kN} = 0$$

$$\Sigma Z = 0 \Rightarrow \bar{R}_{A,Z}^1 + \bar{R}_{D,Z}^1 + X_1 = 0$$

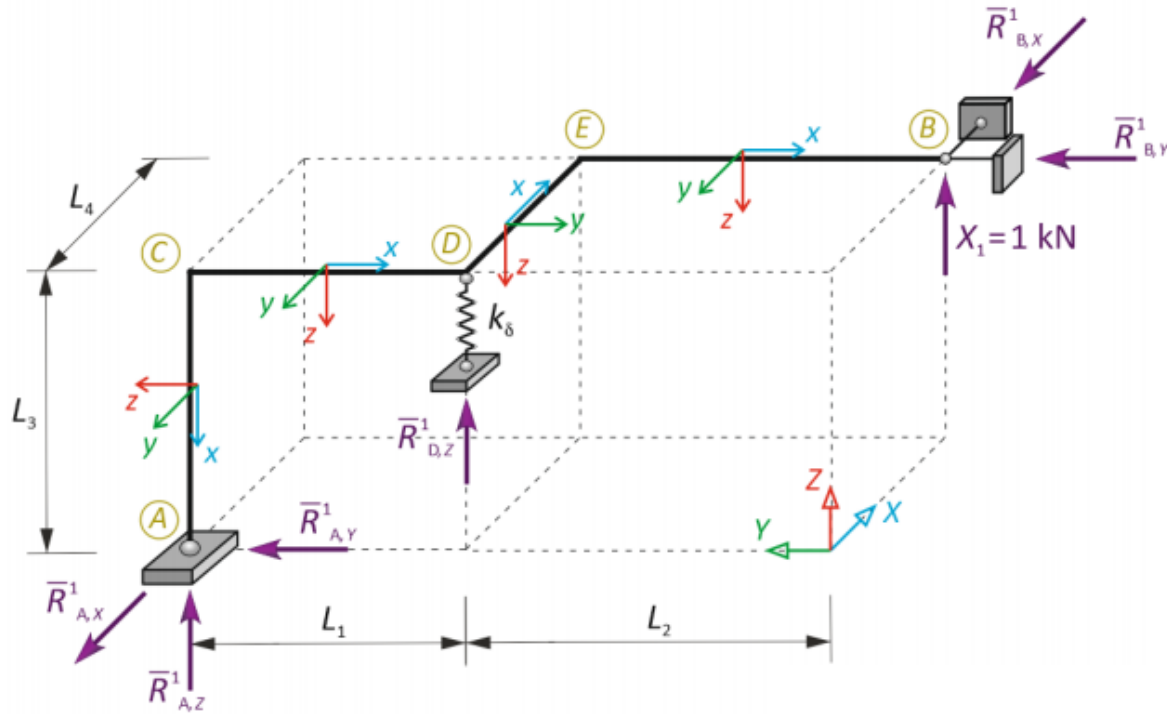
$$\bar{R}_{A,Z}^1 + \bar{R}_{D,Z}^1 + 1 \text{ kN} = 0$$

$$\bar{R}_{A,X}^1 = 0,40 \text{ kN} ; \bar{R}_{A,Y}^1 = 1,40 \text{ kN} ; \bar{R}_{A,Z}^1 = -1,00 \text{ kN} ;$$

$$\bar{R}_{B,X}^1 = -0,40 \text{ kN} ; \bar{R}_{B,Y}^1 = -1,40 \text{ kN} ; \bar{R}_{D,Z}^1 = 0$$



4. ROZWIĄZANIE UKŁADU PODSTAWOWEGO OD SIŁY NADLICZBOWEJ



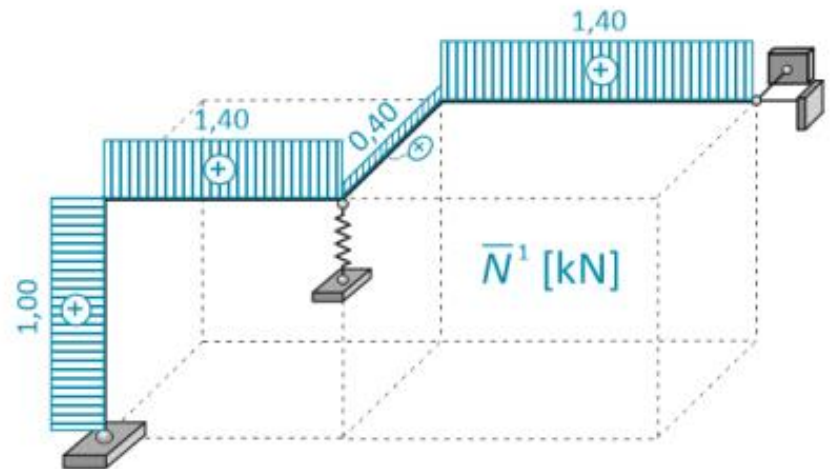
4.2 Siły wewnętrzne

$$\bar{N}_{A-C}^1 = -\bar{R}_{A,Z}^1 = 1,00 \text{ kN}$$

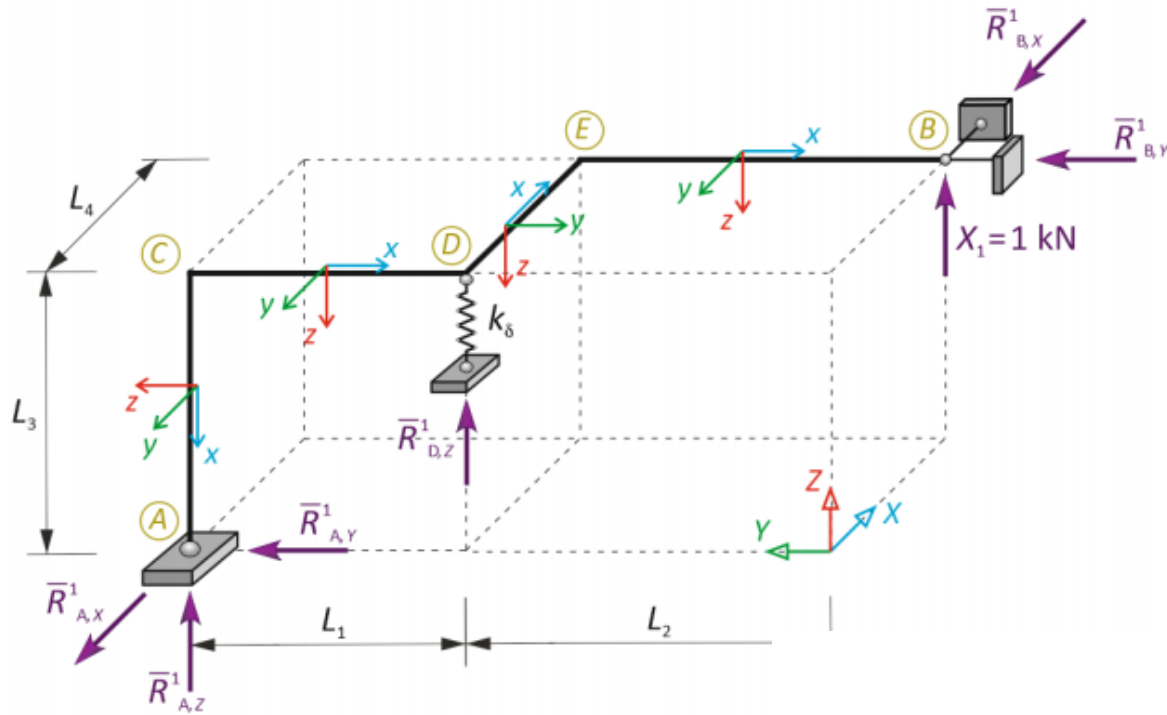
$$\bar{N}_{C-D}^1 = \bar{R}_{A,Y}^1 = 1,40 \text{ kN}$$

$$\bar{N}_{D-E}^1 = \bar{R}_{A,X}^1 = 0,40 \text{ kN}$$

$$\bar{N}_{E-B}^1 = -\bar{R}_{B,Y}^1 = 1,40 \text{ kN}$$



4. ROZWIĄZANIE UKŁADU PODSTAWOWEGO OD SIŁY NADLICZBOWEJ

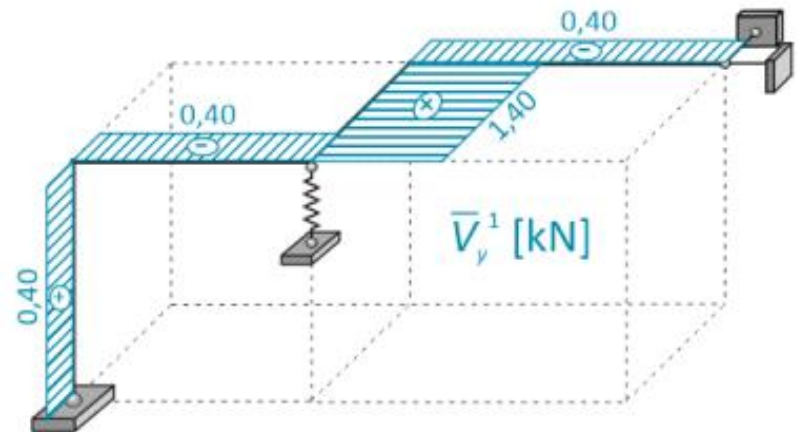


$$\bar{V}_{y,A-C}^1 = \bar{R}_{A,X}^1 = 0,40 \text{ kN}$$

$$\bar{V}_{y,C-D}^1 = -\bar{R}_{A,X}^1 = -0,40 \text{ kN}$$

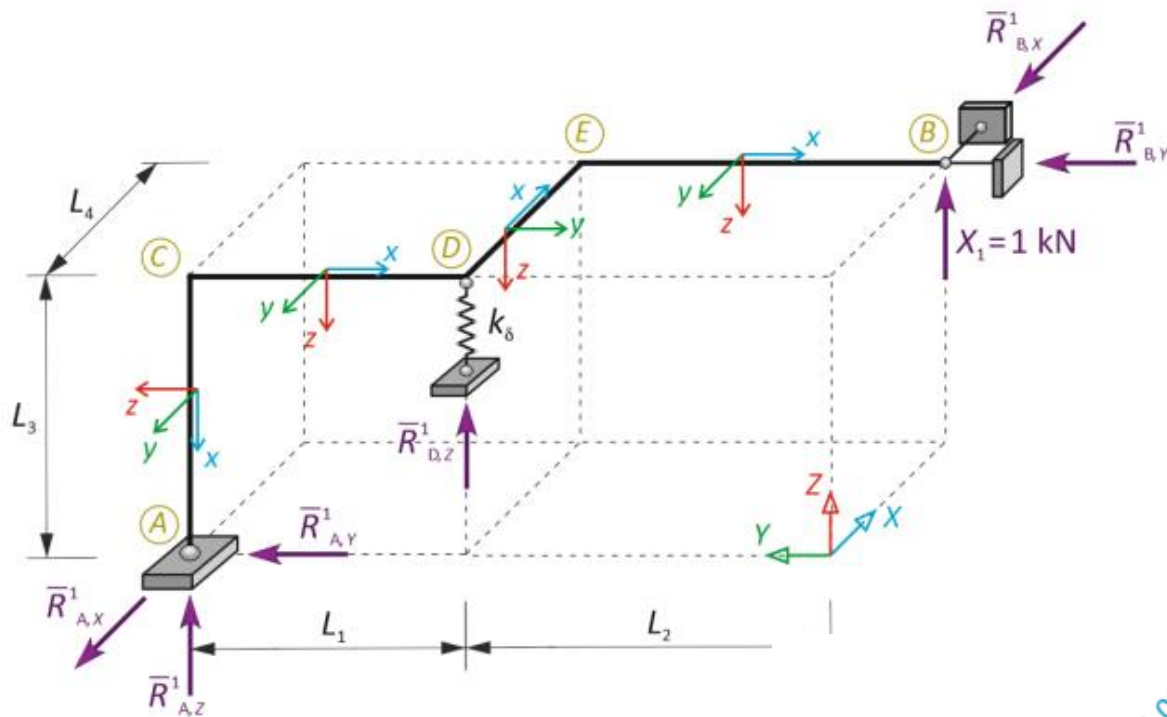
$$\bar{V}_{y,D-E}^1 = \bar{R}_{A,Y}^1 = 1,40 \text{ kN}$$

$$\bar{V}_{y,E-B}^1 = \bar{R}_{B,X}^1 = -0,40 \text{ kN}$$





4. ROZWIĄZANIE UKŁADU PODSTAWOWEGO OD SIŁY NADLICZBOWEJ

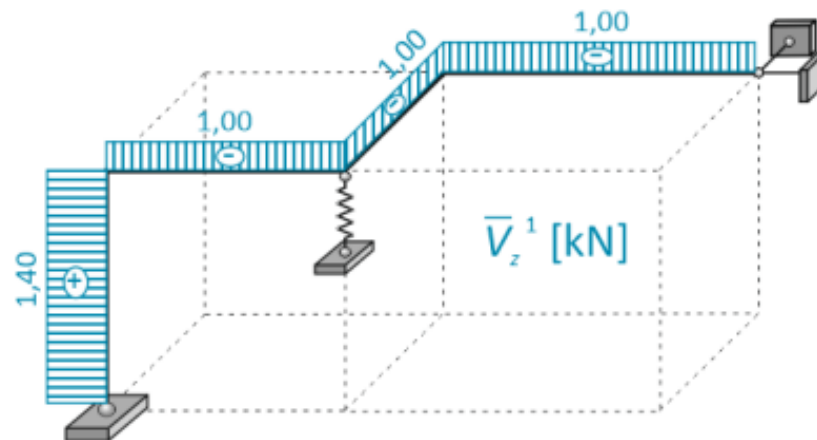


$$\bar{V}_{z,A-C}^1 = \bar{R}_{A,Y}^1 = 1,40 \text{ kN}$$

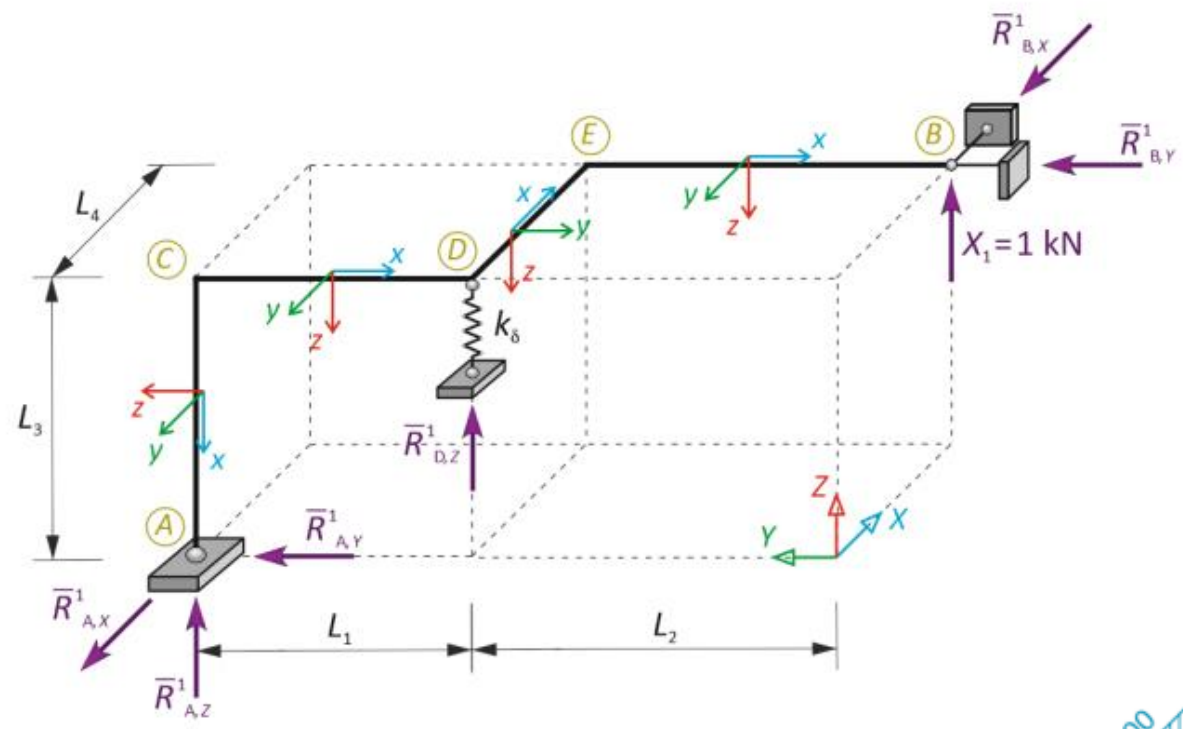
$$\bar{V}_{z,C-D}^1 = \bar{R}_{A,Z}^1 = -1,00 \text{ kN}$$

$$\bar{V}_{z,D-E}^1 = -X_1 = -1,00 \text{ kN}$$

$$\bar{V}_{z,E-B}^1 = -X_1 = -1,00 \text{ kN}$$



4. ROZWIĄZANIE UKŁADU PODSTAWOWEGO OD SIŁY NADLICZBOWEJ

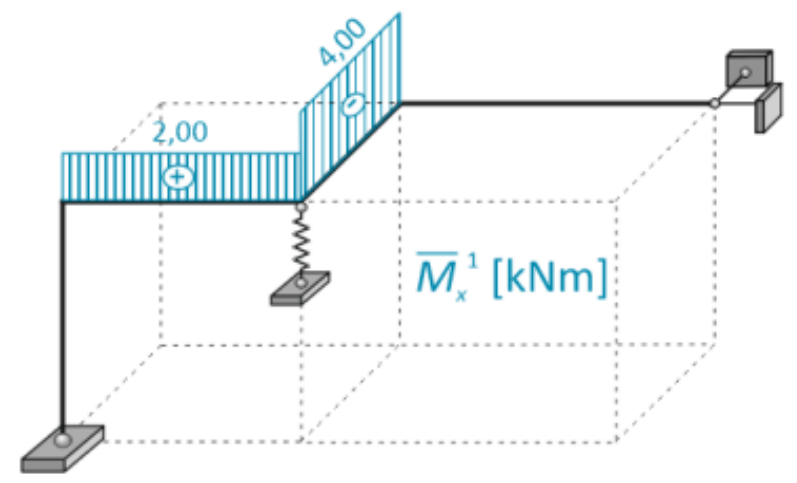


$$\bar{M}_{x, A-C}^1 = 0$$

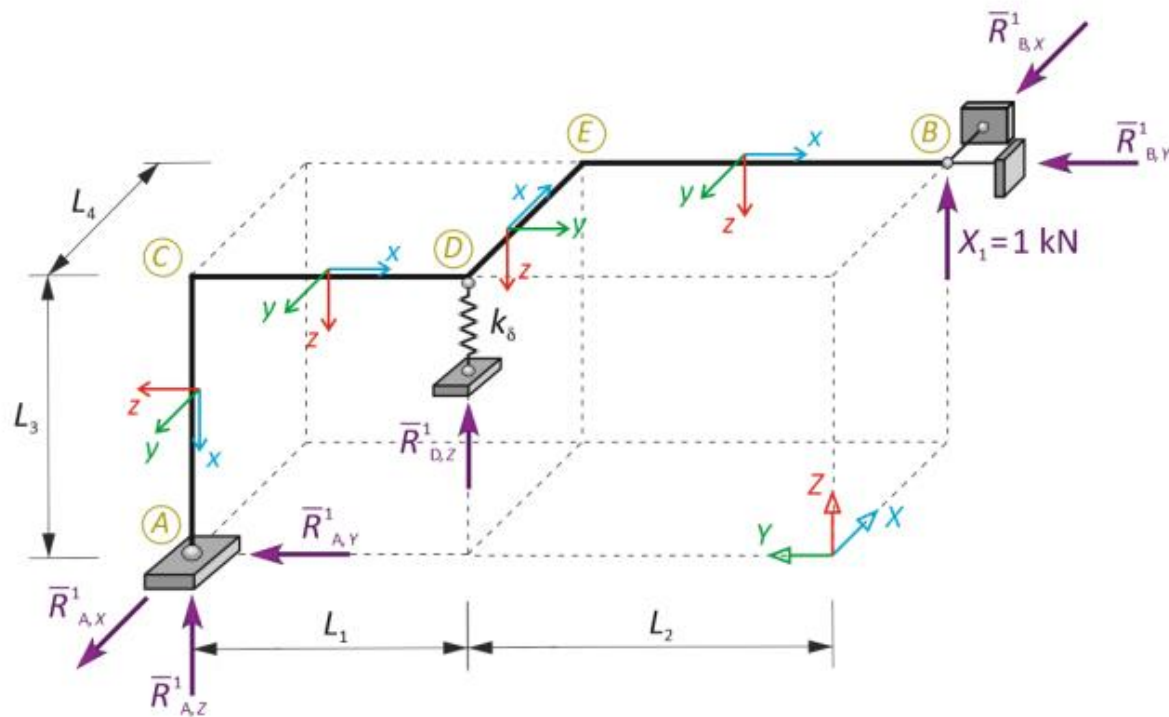
$$\bar{M}_{x, C-D}^1 = \bar{R}_{A,X}^1 \cdot L_3 = 2,00 \text{ kNm}$$

$$M_{x, D-E}^1 = -X_1 \cdot L_2 = -4,00 \text{ kNm}$$

$$\bar{M}_{x, E-B}^1 = 0$$



4. ROZWIĄZANIE UKŁADU PODSTAWOWEGO OD SIŁY NADLICZBOWEJ



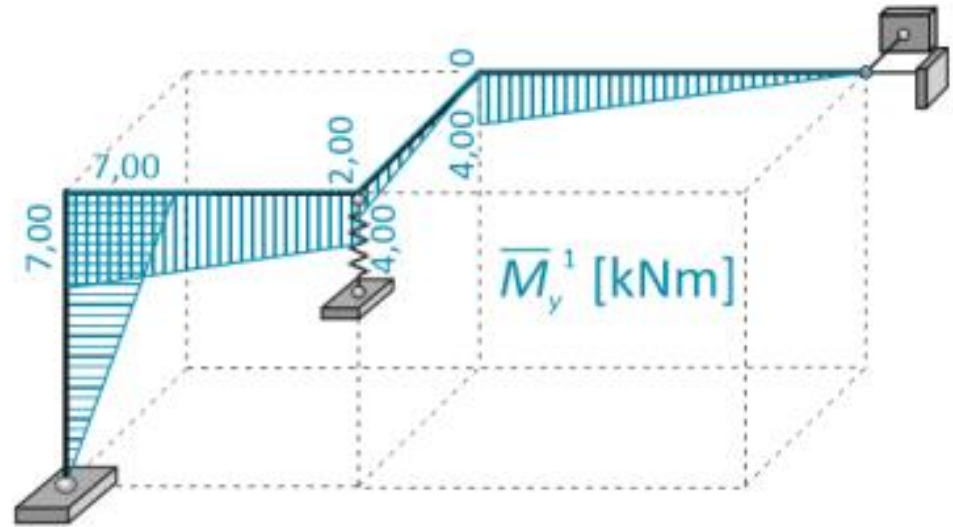
$$\bar{M}_{y,AC}^1 = 0 ; \bar{M}_{y,CA}^1 = -\bar{R}_{Ay}^1 \cdot L_3 = -7,00 \text{ kNm}$$

$$\bar{M}_{y,CD}^1 = \bar{R}_{Ay}^1 \cdot L_3 = 7,00 \text{ kNm} ; \bar{M}_{y,DC}^1 = \bar{R}_{Ay}^1 \cdot L_3 + \bar{R}_{Az}^1 \cdot L_1 = 4,00 \text{ kNm}$$

$$\bar{M}_{y,DE}^1 = X_1 \cdot L_4 = 2,00 \text{ kNm} ; \bar{M}_{y,ED}^1 = 0$$

$$\bar{M}_{y,EB}^1 = X_1 \cdot L_2 = 4,00 \text{ kNm} ; \bar{M}_{y,BE}^1 = 0$$

4. ROZWIĄZANIE UKŁADU PODSTAWOWEGO OD SIŁY NADLICZBOWEJ



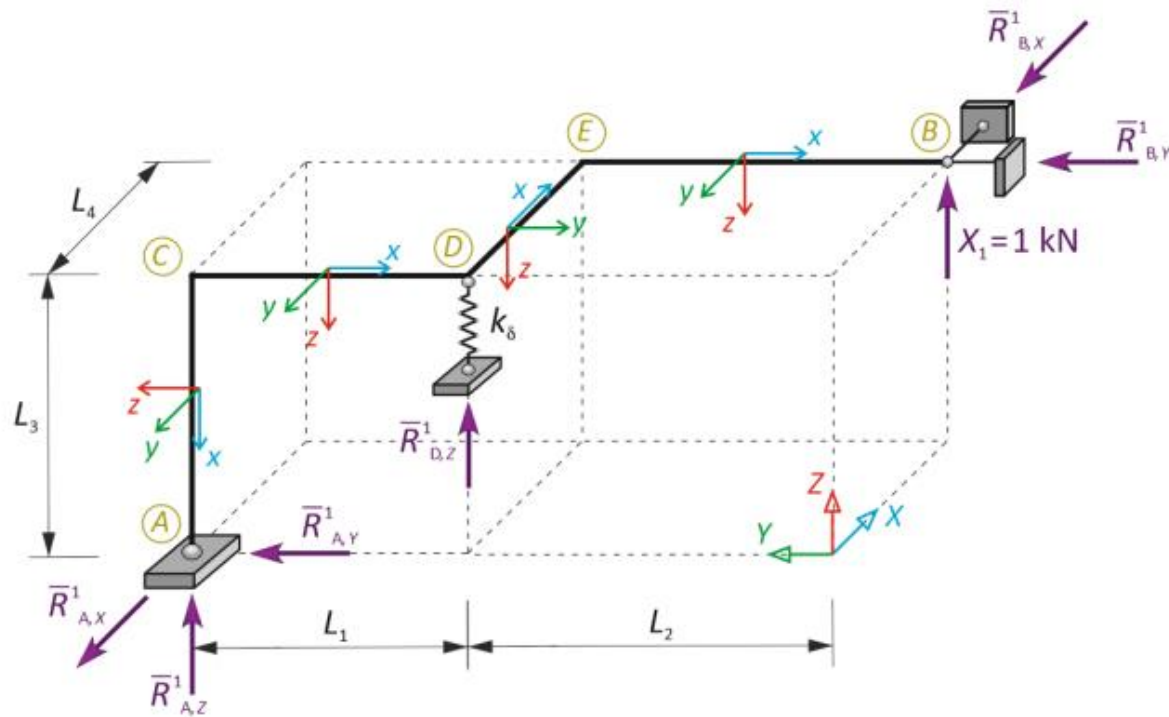
$$\bar{M}_{y,AC}^1 = 0 ; \bar{M}_{y,CA}^1 = -\bar{R}_{A,Y}^1 \cdot L_3 = -7,00 \text{ kNm}$$

$$\bar{M}_{y,CD}^1 = \bar{R}_{A,Y}^1 \cdot L_3 = 7,00 \text{ kNm} ; \bar{M}_{y,DC}^1 = \bar{R}_{A,Y}^1 \cdot L_3 + \bar{R}_{A,Z}^1 \cdot L_1 = 4,00 \text{ kNm}$$

$$\bar{M}_{y,DE}^1 = X_1 \cdot L_4 = 2,00 \text{ kNm} ; \bar{M}_{y,ED}^1 = 0$$

$$\bar{M}_{y,EB}^1 = X_1 \cdot L_2 = 4,00 \text{ kNm} ; \bar{M}_{y,BE}^1 = 0$$

4. ROZWIĄZANIE UKŁADU PODSTAWOWEGO OD SIŁY NADLICZBOWEJ



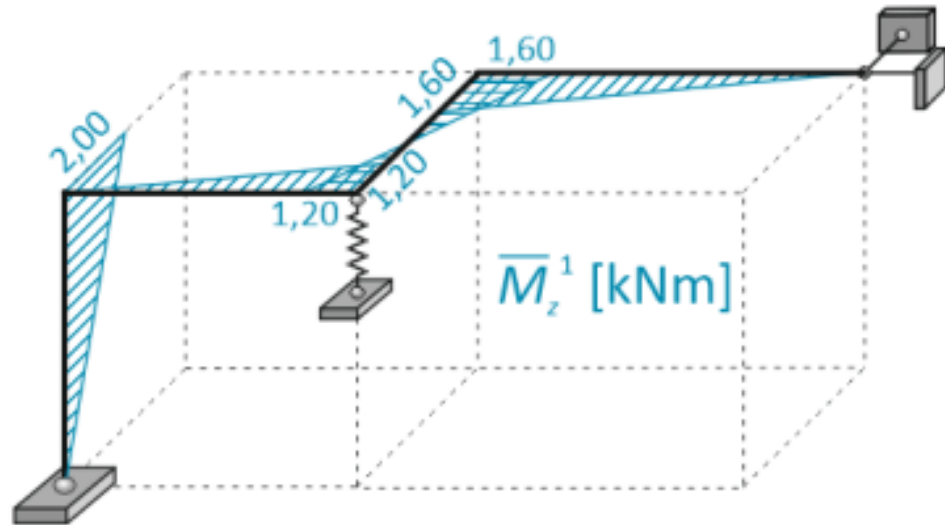
$$\bar{M}_{z,AC}^1 = 0 ; \bar{M}_{z,CA}^1 = \bar{R}_{Ax}^1 \cdot L_3 = 2,00 \text{ kNm}$$

$$\bar{M}_{z,CD}^1 = 0 ; \bar{M}_{z,DC}^1 = \bar{R}_{Ax}^1 \cdot L_1 = 1,20 \text{ kNm}$$

$$\bar{M}_{z,DE}^1 = \bar{R}_{Ax}^1 \cdot L_1 = 1,20 \text{ kNm} ; \bar{M}_{z,ED}^1 = \bar{R}_{Bx}^1 \cdot L_2 = -1,60 \text{ kNm}$$

$$\bar{M}_{z,EB}^1 = \bar{R}_{Bx}^1 \cdot L_2 = -1,60 \text{ kNm} ; \bar{M}_{z,BE}^1 = 0$$

4. ROZWIĄZANIE UKŁADU PODSTAWOWEGO OD SIŁY NADLICZBOWEJ



$$\bar{M}_{z,AC}^1 = 0 ; \bar{M}_{z,CA}^1 = \bar{R}_{A,X}^1 \cdot L_3 = 2,00 \text{ kNm}$$

$$\bar{M}_{z,CD}^1 = 0 ; \bar{M}_{z,DC}^1 = \bar{R}_{A,X}^1 \cdot L_1 = 1,20 \text{ kNm}$$

$$\bar{M}_{z,DE}^1 = \bar{R}_{A,X}^1 \cdot L_1 = 1,20 \text{ kNm} ; \bar{M}_{z,ED}^1 = \bar{R}_{B,X}^1 \cdot L_2 = -1,60 \text{ kNm}$$

$$\bar{M}_{z,EB}^1 = \bar{R}_{B,X}^1 \cdot L_2 = -1,60 \text{ kNm} ; \bar{M}_{z,BE}^1 = 0$$

### **Zadanie domowe (projekt nr 1, zadanie nr 1):**

1. Sprawdzenie SW i GN układu
2. Sporządzić wykresy sił wewnętrznych od obciążenia danego i od siły hiperstatycznej.
3. Zainstalować program Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2021