



Politechnika
Wroclawska

MECHANIKA BUDOWLI

LABORATORIUM NR 1

Prowadząca: dr inż. Katarzyna Misiurek



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



ZAJĘCIA LABORATORYJNO - PROJEKTOWE

1. W ramach zajęć do wykonania są 3 projekty;
2. Na 4 zajęciach odbędzie się test obejmujący tematyką 3 projekty;
3. Do kartkówki przewidziana jest poprawa na 5 zajęciach;
4. Do poprawy kartkówki przystąpić może tylko ten, kto najpóźniej w dniu poprawy odda gotowe – kompletne projekty;
5. Projekt musi być wykonany poprawnie – w przeciwnym razie należy go poprawić;
6. Termin oddania projektu to termin kartkówki;
7. Frekwencja – co najmniej 70%;



ZAJĘCIA LABORATORYJNO - PROJEKTOWE

- 1. Projekt nr 1 - Metoda sił i obliczanie przemieszczeń - układy załamane w planie - (1 zajęcia);**
- 2. Projekt nr 2 - Metoda przemieszczeń – układy przesuwne –(1 zajęcia);**
- 3. Projekt nr 3 - Analiza stateczności – (1 zajęcia);**



ZAJĘCIA LABORATORYJNE - WARUNKI ZALICZENIA

1. Obecność na zajęciach;
2. Poprawne wykonanie 3 projektów;
3. Czynna aktywność na zajęciach;
4. Zaliczenie - test + rozmowa po zaliczonym teście (4-5 zajęcia);
5. Na każde zajęcia trzeba być przygotowanym;



POMOCE DYDAKTYCZNE

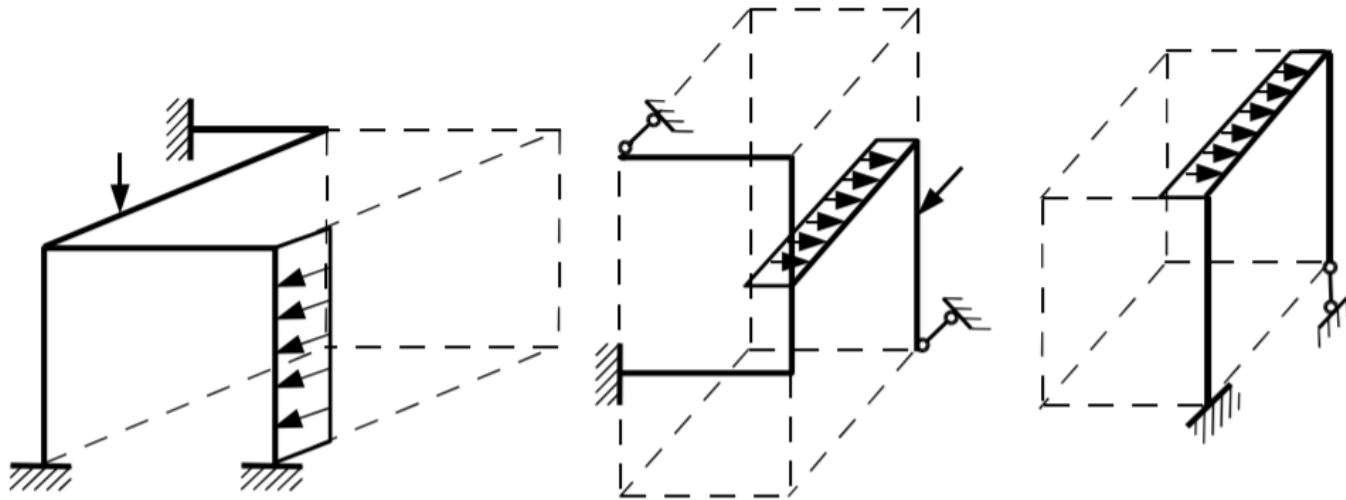
1. Wykład dr inż. Małgorzata Gładysz - Bień;
2. Strona Katedry Mechaniki Budowli i Inżynierii Miejskiej
<http://k3-wbliw.pwr.edu.pl/dydaktyka/studia-stacjonarne-ii-stopnia>
3. E-portla - kurs Mechanika Budowli
4. Strona Prowadzącej przedmiot:
<https://wbliw.pwr.edu.pl/pracownicy/katarzyna-misiurek/mechanika-budowli-studia-stacjonarne-ii-stopnia.html>
5. W.Nowacki, Mechanika budowli t.1;
6. Mechanika budowli. Ujęcie komputerowe
7. A.Chudziński, Statyka Budowli cz.2;
8. A.Cybuslki, Z.Grodecki, Statyka ustrojów prętowych t.IV;

PROJEKTY - WYMAGANIA

1. Ćwiczenia projektowe wykonujemy na kartkach formatu A-4;
2. **Pierwsza strona projektu jest jego okładką.**
3. **Drugą kartkę projektu powinien stanowić wydany temat;**
4. Kolejna kartka projektu powinna zawierać schemat rozwiązywanego zadania z wymiarami, obciążeniami i jednostkami;
5. Piszemy używając długopisu lub pióra lub komputera;
6. Numerujemy poszczególne strony zachowując ciągłość numeracji;
7. Gotowy projekt wraz załącznikami przesyłamy jako jeden dokument;
8. Przesyłany projekt podpisujemy imieniem i nazwiskiem;
9. Jeżeli 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, zachować i zapisać wszystkie jednostki);

UKŁADY PRZESTRZENNE - OBLICZANIE PRZEMIESZCZEŃ

Układ przestrzenny – to konstrukcja, której elementy ułożone są w trzech wymiarach (x , y , z). Układem przestrzennym jest także konstrukcja płaska wpisana w płaszczyznę, na którą działają siły prostopadłe do tej płaszczyzny (kierunek ich działania pokrywa się z trzecim wymiarem).



Ramy przestrzenne statycznie niewyznaczalne rozwiązujemy analogicznie jak układy płaskie.

UKŁADY PRZESTRZENNE - OBLICZANIE STOPNIA STATYCZNEJ NIEWYZNACZALNOŚCI

STOPIEŃ STATYCZNEJ NIEWYZNACZALNOŚCI

UKŁADY PRZESTRZENNE

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

RUSZTY I DŹWIGARY ZAŁAMANE W PLANIE

$$n_h = e - 3 \cdot t$$

UKŁADY PŁASKIE

$$n_h = e - 3 \cdot t$$

RUSZTY BELKOWE

$$n_h = e - 2 \cdot b$$

KRATOWNICE PRZESTRZENNE

$$n_h = p + r - 3 \cdot w$$

KRATOWNICE PŁASKIE

$$n_h = p + r - 2 \cdot w$$

gdzie t - liczba sztywnych tarcz otwartych,
 e - liczba wiezi łączących tarcze (belki rusztu belkowego) między sobą i z fundamentem,
 b - liczba belek rusztu belkowego,
 p - liczba prętów kratownicy,
 r - liczba więzi podporowych kratownicy,
 w - liczba węzłów kratownicy.

Gdy:

$n_h=0$ układ jest **Statycznie Wyznaczalny (NW)**.

$n_h>0$ układ jest **Statycznie niewyznaczalny (SN)**.

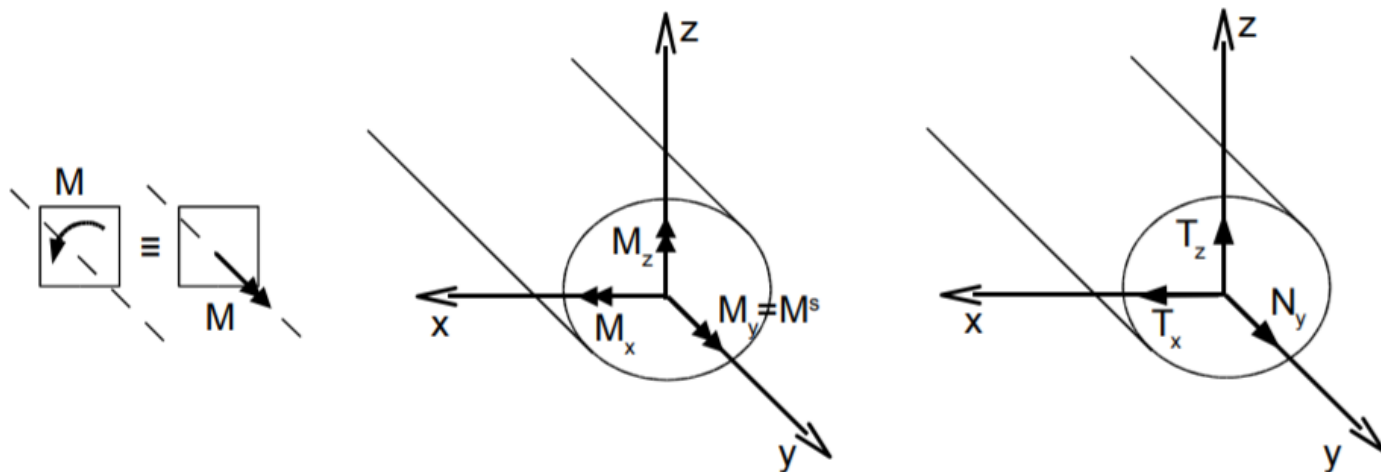
UKŁADY PRZESTRZENNE - OBLICZANIE PRZEMIESZCZEŃ

W celu **obliczenia przemieszczeń** należy określić siły, jakie występują w przekrojach ustroju prętowego.

W układach przestrzennych rozróżniamy siły działające:

1. wzdłuż trzech osi,
2. momenty zginające w dwóch płaszczyznach
3. moment skręcający.

Moment działający wokół osi zaznaczamy jako wektor z podwójnym grotem wzdłuż tej osi (przyjmujemy oznaczenia jak dla układów prawoskrętnych).



UKŁADY PRZESTRZENNE - OBLICZANIE PRZEMIESZCZEŃ

Przemieszczenia od obciążenia siłami będą obliczane ze wzoru:

$$\Delta_{iF} = \Delta_i^F = \int \frac{Mx^i \cdot Mx^F}{GIs} \cdot dx + \int \frac{My^i \cdot My^F}{Ely} \cdot dx + \int \frac{Mz^i \cdot Mz^F}{Elz} \cdot dx +$$
$$+ \int \frac{N^i \cdot N^F}{EA} \cdot dx + \int \frac{\kappa_y \cdot Vy^i \cdot Vy^F}{GA} \cdot dx + \int \frac{\kappa_z \cdot Vz^i \cdot Vz^F}{GA} \cdot dx + \sum_s \frac{S_s^i \cdot S_s^F}{k_s}$$

W układach przestrzennych

- występuje 6 rodzajów sił wewnętrznych:

Mx, My, Mz, Nx, Vy, Vz

- pręt musi posiadać następujące charakterystyki geometryczne:

$Is = Ix, Iy, Iz, Ax=Ay=Az=A, \kappa$

- pręt musi posiadać następujące charakterystyki materiałowe:

E, G, ν

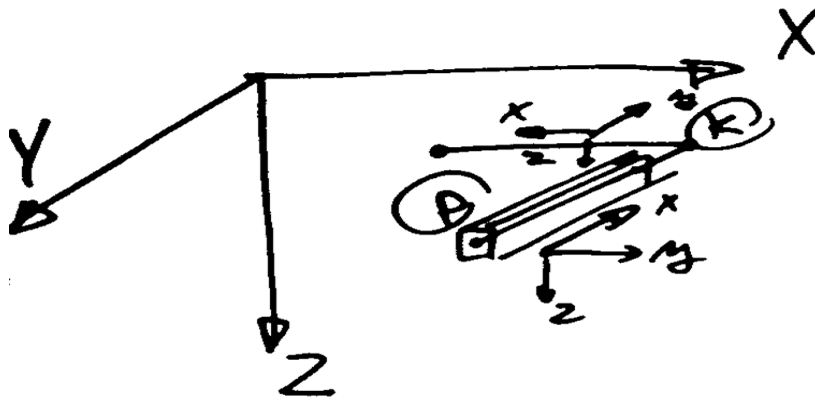
UKŁADY PRZESTRZENNE - INFORMACJE PODSTAWOWE

Dla konstrukcji przestrzennych przyjmuje się dwa układy współrzędnych:

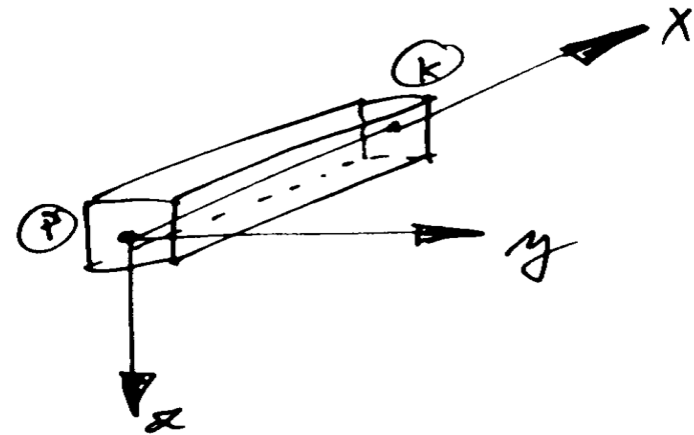
- globalny X, Y, Z dla całej konstrukcji - UG,
- lokalny x, y, z dla każdego pręta – UL.

Oba układy są układami prawoskrętnymi.

UKŁAD GLOBALNY



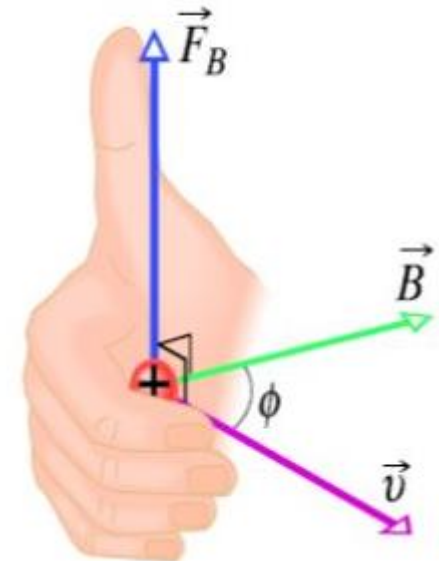
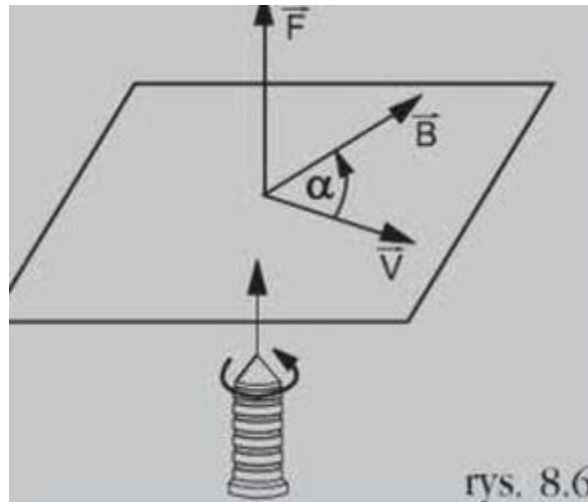
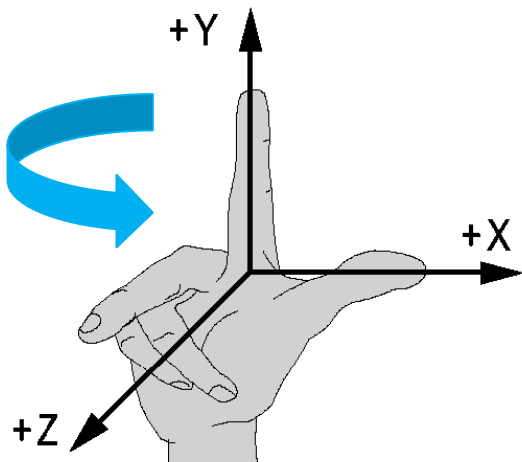
UKŁAD LOKALNY



x jest osią styczną do osi pręta ze zwrotem od początku do końca pręta
 y, z są to osie główne przekroju poprzecznego pręta

UKŁADY PRZESTRZENNE - INFORMACJE PODSTAWOWE

Układy współrzędnych są prawoskrętne – obowiązuje reguła prawej dłoni.

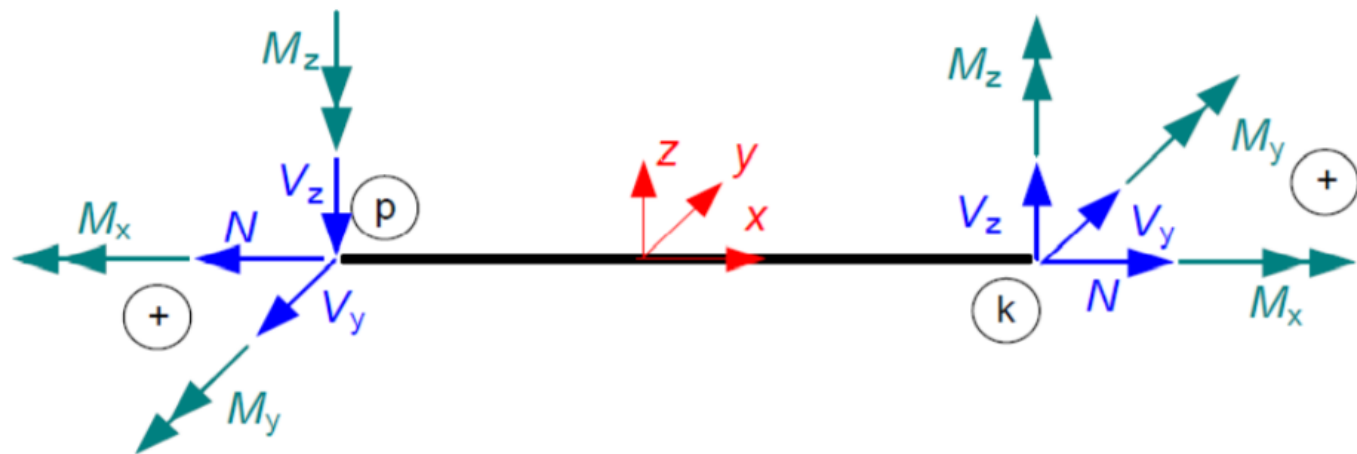


UKŁADY PRZESTRZENNE - INFORMACJE PODSTAWOWE

Umowa znakowania sił przekrojowych wewnętrznych

Siłom przekrojowym (wewnętrznym) liczonym w przekroju pręta od strony jego początku (P) przypisujemy **znak plus (+)**, gdy ich wektory mają zwroty **przeciwne** niż odpowiadające im osie lokalnego układu współrzędnych.

Siłom przekrojowym (wewnętrznym) liczonym w przekroju pręta od strony jego końca (K) przypisujemy **znak (+)**, gdy ich wektory mają zwroty **zgodne** z osiami lokalnego układu współrzędnych.



UKŁADY PRZESTRZENNE - DŹWIGARY ZAŁAMANE W PLANIE

- ❑ **RUSZTY I DŹWIGARY ZAŁAMANE W PLANIE**, jakie będziemy rozpatrywać, są układami płaskimi o obciążeniu działającym prostopadle do płaszczyzny dźwigara skonstruowanymi tak, że obciążenia te nie wywołują sił w płaszczyźnie dźwigara.
- ❑ W układach tych do liczby e zalicza się tylko więzi translacyjne prostopadłe do płaszczyzny dźwigara i więzi rotacyjne usytuowane w płaszczyznach prostopadłych do płaszczyzny dźwigara.
- ❑ **Stopień statycznej niewyznaczalności (SSN)** dla układu załamanego w planie, gdzie występują tylko trzy rodzaje sił wewnętrznych tj. M_x , V_z , M_y wynosi:

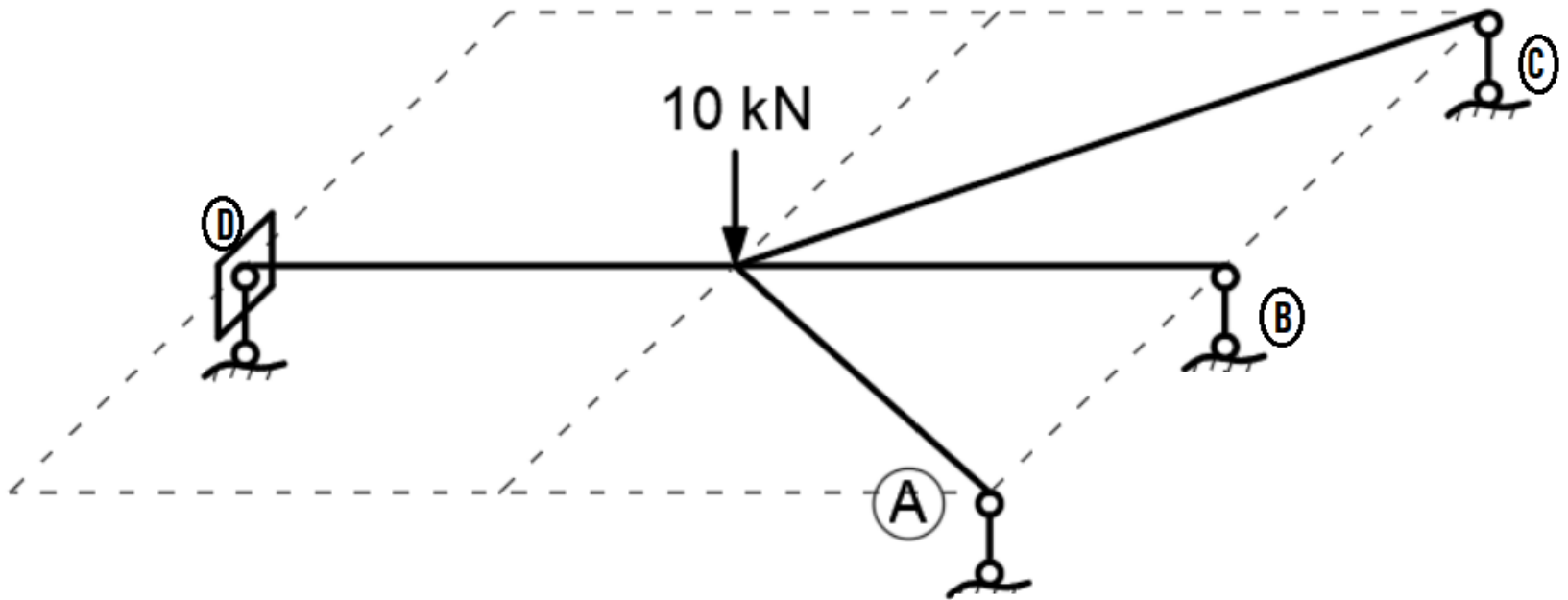
$$n_h = e - 3t$$

gdzie: e - liczb stopni swobody.

t - liczba tarcz.

UKŁADY PRZESTRZENNE - DŹWIGARY ZAŁAMANE W PLANIE

1. Proszę obliczyć stopień statycznej niewyznaczalności układu
2. Proszę zaproponować układ podstawowy Metody Sił



METODA SIŁ - TOK POSTĘPOWANIA

1. Wyznaczenie stopnia statycznej niewyznaczalności

- przekształcenie układu w zbiór sztywnych tarcz otwartych, obliczenie liczby tarcz,
- obliczenie liczby więzi elementarnych podporowych i więzi między tarczami,
- obliczenie stopnia statycznej niewyznaczalności n_h

2. Dobranie układu podstawowego metody sił i rozpisanie ogólnej postaci układu równań metody sił.

Układ podstawowy metody sił = układ zadany z n_h przeciętymi lub usuniętymi więziami zastąpionymi niewiadomymi siłami hiperstatycznymi (siły lub momenty) oznaczonymi przez $X_1, X_2, \text{ itp.}$ W układzie podstawowym należy narysować obciążenia, podać wymiary i sztywności prętów, oznaczyć węzły, wyróżnić włókna uprzywilejowane.

Ogólna postać układu równań metody sił:

$$\sum_j \delta_{ij} X_j + \delta_{iF} = \Delta_i^{rz}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n_h$$

METODA SIŁ - TOK POSTĘPOWANIA

- 3. Rozwiązanie układu podstawowego od danego obciążenia**
 - szkic konstrukcji i obciążenia, zaznaczone zwroty reakcji podpór,
 - wyznaczenie reakcji podpór,
 - obliczenie rzędnych charakterystycznych i sporządzenie wykresów sił przekrojowych
- 4. Rozwiązanie układu podstawowego od obciążenia siłą $X_1=1$**
 - szkic konstrukcji i obciążenia, zaznaczone zwroty reakcji podpór,
 - wyznaczenie reakcji podpór,
 - obliczenie rzędnych charakterystycznych i sporządzenie wykresów sił przekrojowych
- 5. ... powtarzamy punkt 5 tyle razy ile wynosi stopień statycznej niewyznaczalności**

METODA SIŁ - TOK POSTĘPOWANIA

6. Obliczenie współczynników układu równań

Współczynniki układu równań obliczamy wykorzystując wzory

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

Do obliczenia całek w powyższych wzorach zastosowano wzór Simpsona lub Mohra. Ze względu na charakter wykresów momentów skręcających i zginających całki w powyższych wzorach przedstawiono w postaci sum całek dla przedziałów całkowania, w których funkcje podcałkowe spełniają założenia umożliwiające zastosowanie odpowiedniego wzoru.

7. Szczegółowa postać układu równań

8. Rozwiązanie układu równań

9. Obliczenie rzędnych charakterystycznych sił przekrojowych i sporządzenie wykresów

10. Przeprowadzenie kontroli rozwiązania

- sprawdzenie statycznej dopuszczalności rozwiązania (równania równowagi elementów i węzłów, równania równowagi układu jako całości)
- sprawdzenie kinematycznej dopuszczalności rozwiązania (sprawdzenie ciągłości konstrukcji - obliczenie n_h przemieszczeń).

PROJEKTOWANIE PRZEKROJU

Projektowanie przekroju wg hipotezy wytrzymałościowej Hubera-Misesa-Hencky'ego (H-M-H)

$$\sigma_{zred} = \sqrt{\sigma_n^2 + 3\tau^2} \leq f_d,$$

$$\sigma_n = \frac{\max M_y^F * \gamma_f}{W_y}, \quad \tau = \frac{M_x^F * \gamma_f}{W_s}, \quad (M_x^F \text{ odpowiadający } \max M_y^F)$$

dla rur $W_s = 2W$, stąd $W \geq \frac{\gamma_f * \sqrt{(\max M_y^F)^2 + 0.75(M_x^F)^2}}{f_d}$

Uwaga: Należy również sprawdzić naprężenia zredukowane dla maksymalnego momentu skręcającego i odpowiadającego mu momentu zginającego – w rozpatrywanym zadaniu są to te same wartości momentów.

OBLICZANIE PRZEMIESZCZENIA

Szukane przemieszczenie policzymy na podstawie wzoru

$$\Delta_{iF} = \int \frac{\bar{M}x^i \cdot Mx^F}{GIs} dx + \int \frac{\bar{M}y^i \cdot My^F}{EIy} \cdot dx + \sum \frac{\bar{S}_s^i \cdot S_s^F}{k_s}$$

Wyznaczyliśmy już momenty M^F od obciążenia danego w układzie statycznie niewyznaczalnym. Aby skorzystać z przytoczonego wzoru musimy jeszcze rozwiązać dowolny układ podstawowy dźwigara od obciążenia jednostkowego przyłożonego w miejscu i kierunku szukanego przemieszczenia $P_i = 1$. Może to być taki sam układ, jaki był przyjęty do rozwiązania układu od obciążenia danego. Może też być dowolny inny układ.