

Aeroelastyczność i wytrzymałość turbin wiatrowych

Przykładowe pytania i zagadnienia na kolokwium zaliczeniowe

1. Naskicuj i opisz geometrię profilu płata. Nanieś na szkic i opisz podstawowe pojęcia opisujące profil płata (np. cięciwa, kat natarcia, itd).

2. Naskicuj profil płata, na rysunku nanieś:

- a) wektor siły oporu \mathbf{d} , siły nośnej \mathbf{l} , siły (reakcji) wypadkowej \mathbf{r} oraz moment \mathbf{m} ,
- b) wektor siły stycznej do cięciwy profilu \mathbf{f}_c , siły normalnej \mathbf{f}_n , reakcji \mathbf{r} oraz moment \mathbf{m} ,

Na szkic nanieś wektor prędkości napływu V_∞ oraz zaznacz kąt natarcia α .

Uwaga: można wykonać dwa szkice: osobno dla a) i osobno dla b).

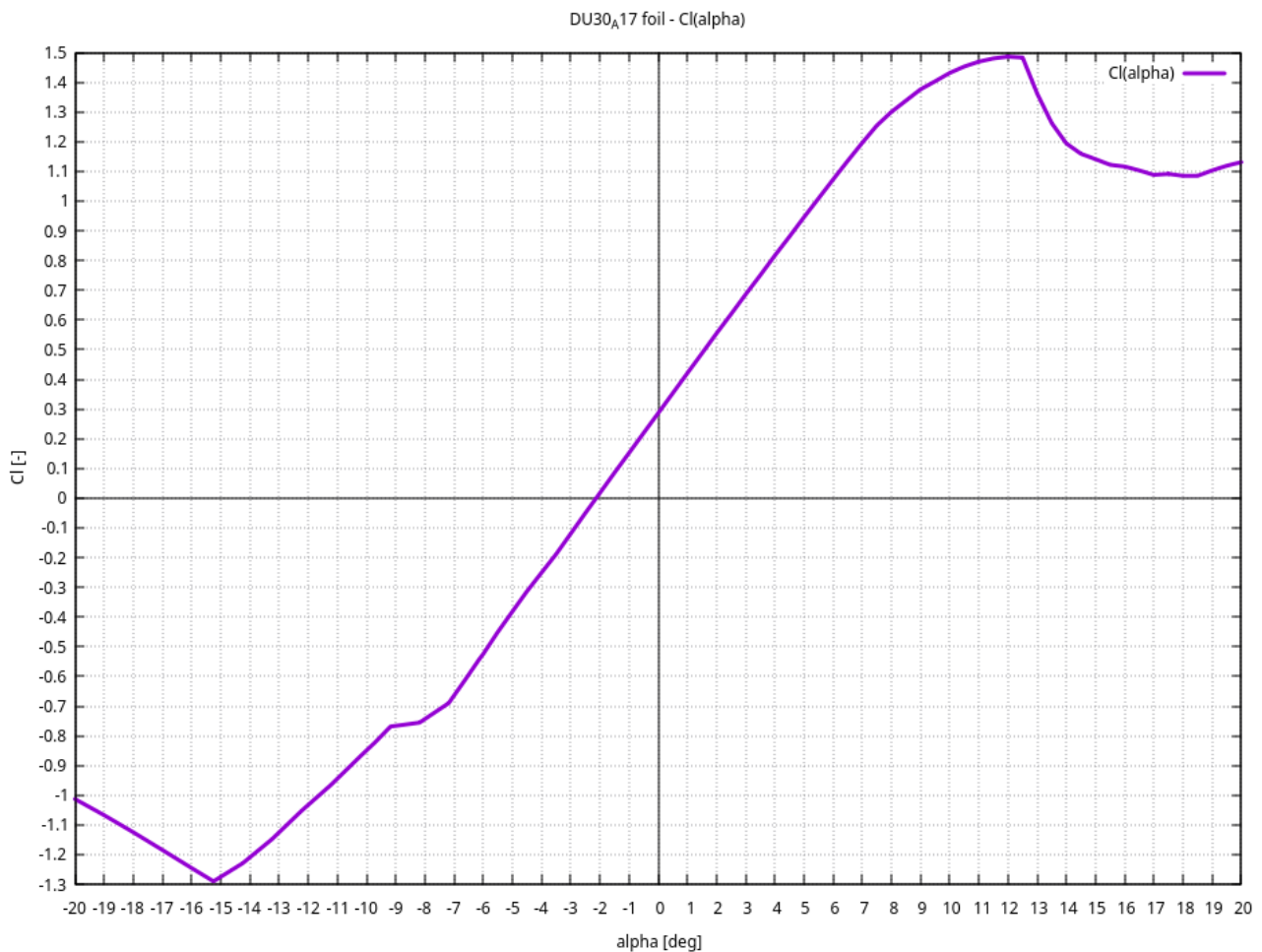
3. Podaj wzory na siłę nośną L , siłę oporu D oraz moment M .

Na podstawie wykresu (rys. 3) przedstawiającego zależności współczynników siły nośnej $C_l(\alpha)$ oraz siły oporu $C_d(C_l)$ odczytaj odpowiednie wartości współczynników i oblicz wartości siły L i D dla następujących kątów: -2, 0, 2, 4, 6 stopni. Narysuj wykresy (L i D w funkcji α).

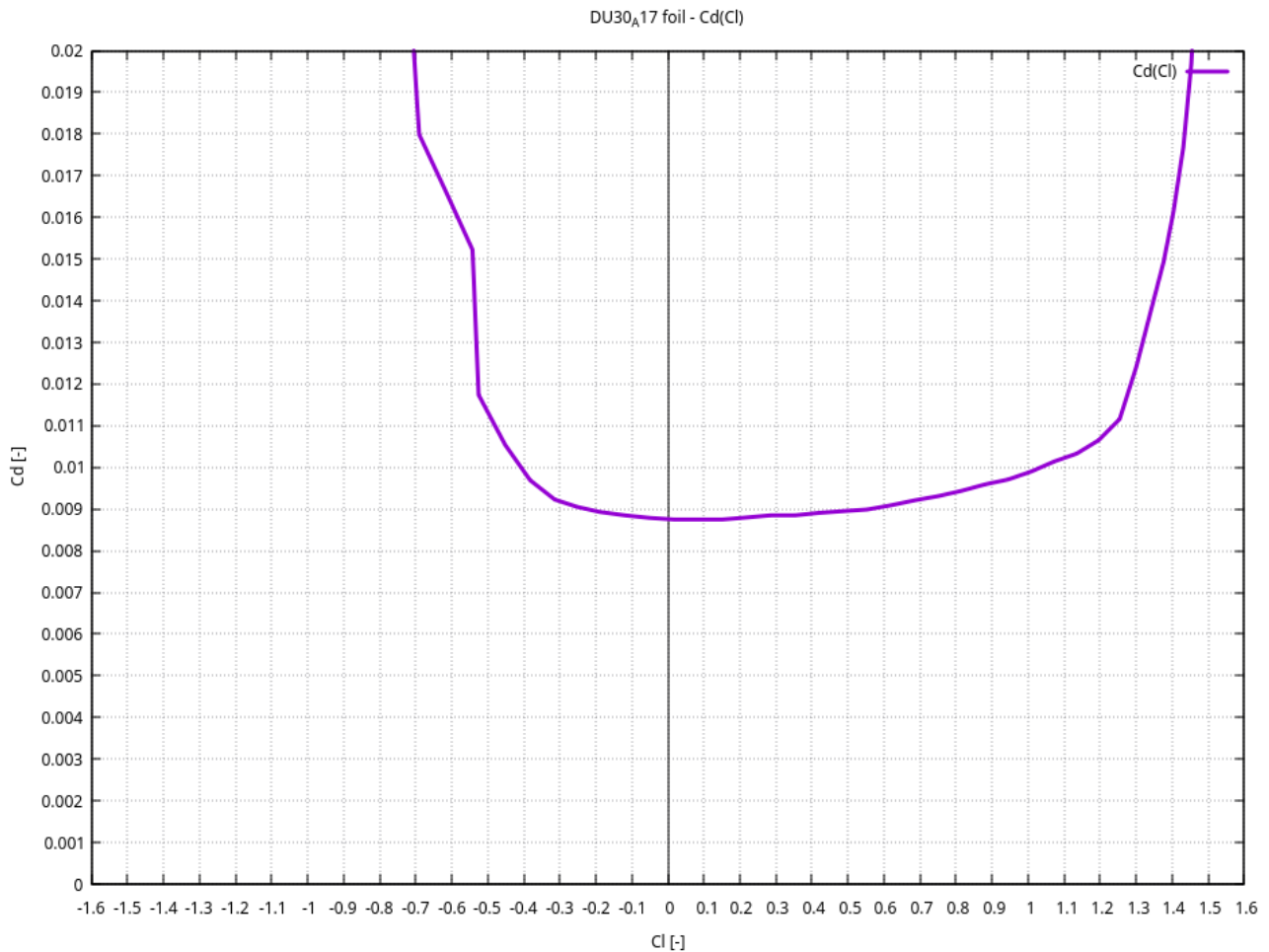
powierzchnia obrysu płata: $S = 180 \text{ m}^2$

prędkość napływu: $v = 10 \text{ m/s}$

gęstość powietrza: $\rho = 1,3 \text{ kg/m}^3$



Rys 1. a) $C_l(\alpha)$



Rys 3. b) $C_d(C_l)$

4. Podaj wzór na moment bezwładności sztywności względem osi O_y (najlepiej zapisany w formie sumy całek).

Oblicz moment bezwładności sztywności przekroju poprzecznego (EJ_y) (**rysunek 4**) dla następujących danych:

$$E_1 = 69\,000 \text{ MPa,}$$

$$E_2 = 18\,000 \text{ MPa,}$$

$$B = 2 \text{ m,}$$

$$H_1 = 1,000 \text{ m}$$

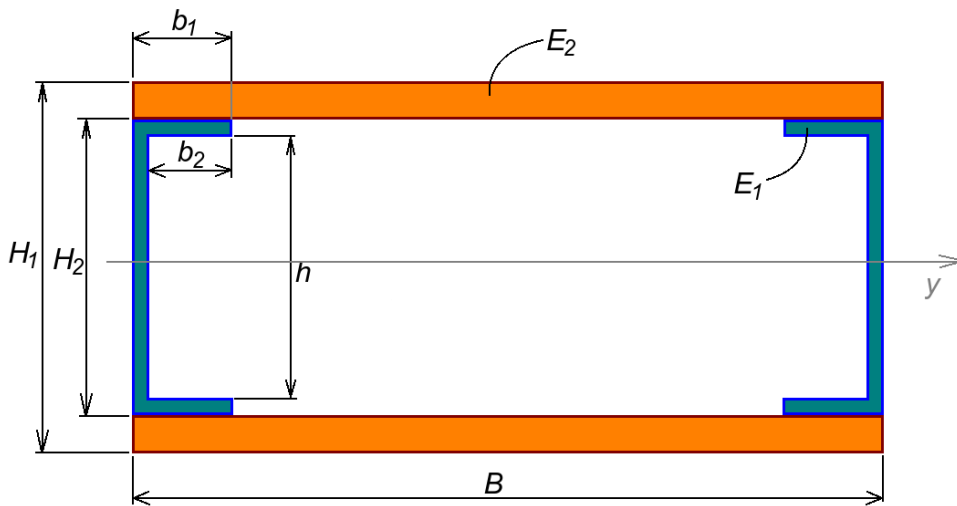
$$H_2 = 0,920 \text{ m}$$

$$b_1 = 0,300 \text{ m}$$

$$b_2 = 0,284 \text{ m}$$

$$h = 0,890 \text{ m}$$

Wskazówka: moment bezwładności prostokąta względem jego osi obojętnej wynosi $J_{\blacksquare} = bh^3/12$



Rys. 4. Szkic przekroju pła (kompozytowego)

5. Podaj wzory na rozkład sił tnących $T(x)$ oraz rozkład momentów gnących $M_g(x)$ dla zadanego obciążenia ciągłego $q(x)$.

a) Rozkład obciążeń łopaty turbiny wiatrowej o długości $l=60\text{m}$ podany jest wzorem:

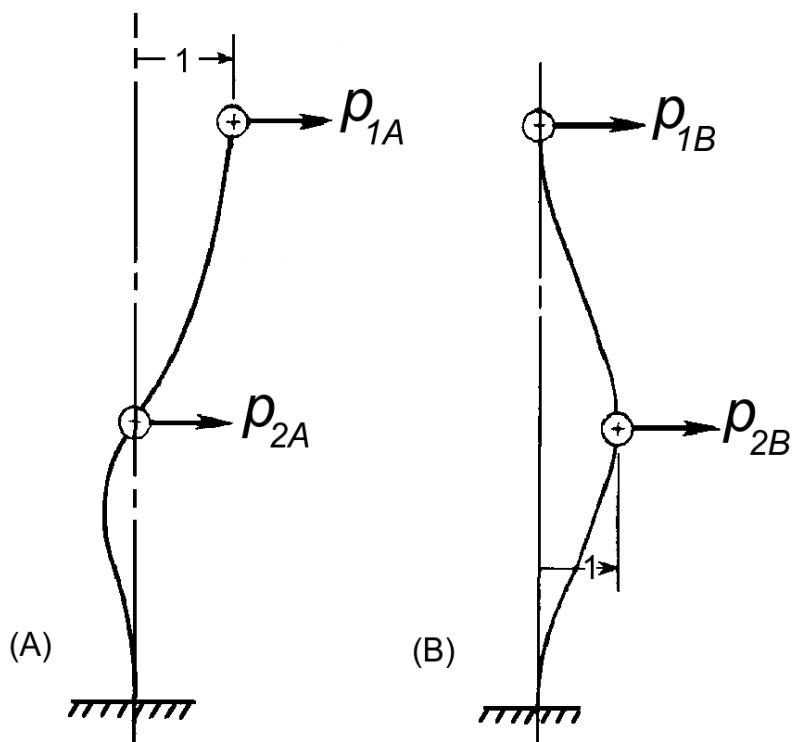
$$q(x) = -0,00434x^2 + 0,244x + 2,84 \quad [\text{kN}]$$

- Wyznacz rozkład sił tnących $T(x)$ i momentów gnących $M_g(x)$.
- Narysuj wykresy $T(x)$ i $M_g(x)$ (wylicz wartości w węzłach 0,10,20,30,40,50,60 m)

Sformułuj i omów warunki brzegowe, z których należy skorzystać.

6. Omów, na przykładzie belki wspornikowej o określonych dwóch węzłach „1” i „2” w jaki sposób można zbudować dla niej macierz sztywności. Narysuj szkic, podaj postać tej macierzy.

7. Belkę przedstawioną na **rysunku 7** obciążono układem sił (A) oraz (B) wywołując określoną linię ugięcia (patrz rysunek). Zbuduj macierz sztywności dla tej belki.



Rys 7. Ugięcie belki pod wpływem układu obciążeń (A) oraz (B)

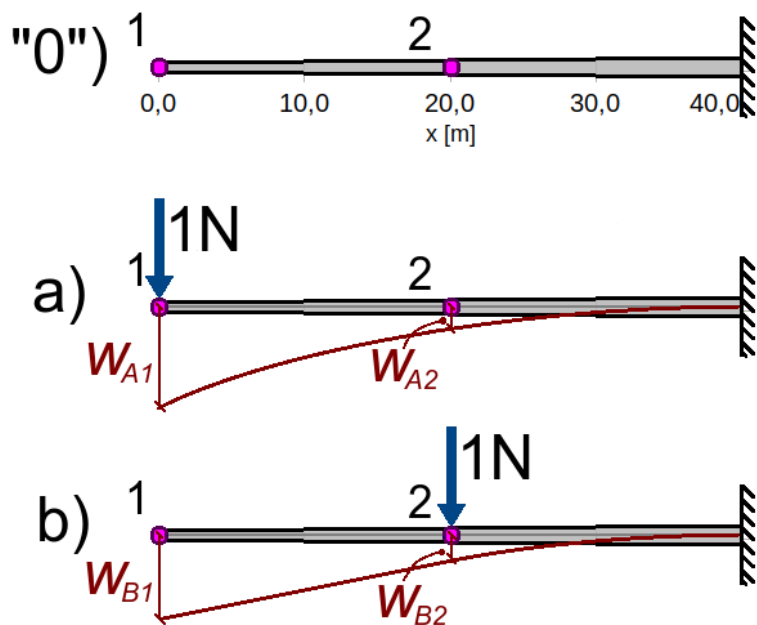
8. Łopate turbinę (belkę) przedstawioną na rys. 8 „0” obciążono układem sił **a**) i zanotowano ugięcia w_{A1} oraz w_{A2} (patrz rysunek), a następnie obciążono układem sił **b**) obserwując ugięcia w_{B1} oraz w_{B2} . Oblicz macierz sztywności K tej belki.

Dane:

$$w_{A1} = 20,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}; w_{A2} = 5,3 \cdot 10^{-6} \text{ m};$$

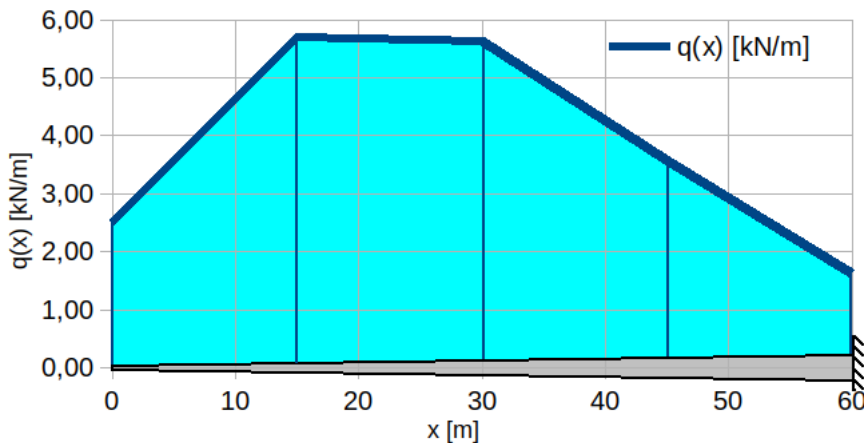
$$w_{B1} = 4,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}; w_{B2} = 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ m};$$

Wskazówka: Zbuduj macierz K^{-1} a następnie oblicz macierz K . Patrz też przykład 5 z wykładu.



Rys. 8. Układy sił i ugięcia.

9. Łopatę turbiny (belkę) o długości $l=60\text{m}$, rys. 9, obciążono obciążeniem ciągłym $q(x)$ zdefiniowanym w **tabeli 9**. Wyznacz ugięcie belki w_i w przekroju $i=1,2,3,4$ przy zadanej sztywności $(EJ)_i$ (patrz tabela).



Rys. 9. Rozkład obciążenia ciągłego $q(x)$

Tabela 9. Rozkład sztywności $(EJ)_y$ oraz obciążenia $q(x)$ wzdłuż belki.

x [m]	$(EJ)_y$ [MNm^2]	$q(x)$ [kN/m]
0	14,0	2,48
15	99,7	5,69
30	563,1	5,63
45	2675,0	3,58
60	12921,2	1,62

10. Podaj postać macierzy mas belki przedstawionej na **rys. 10.1**. Napisz w jaki sposób oblicza się elementy macierzy mas (podaj wzory dla belki opisanej na **rys. 10.1**).

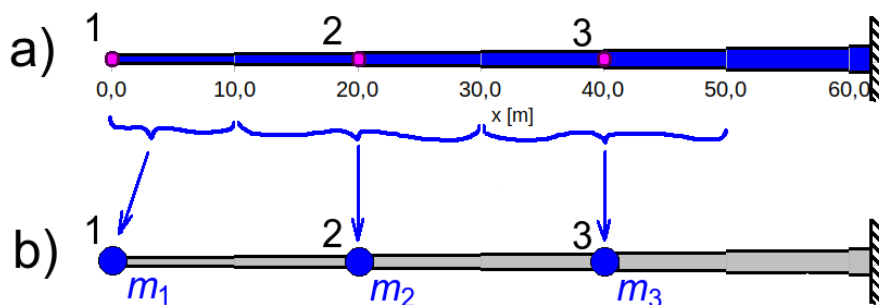
Rozkład masy w postaci funkcji $\bar{m}(x)$ [t/m] zdefiniowanej na wykresie (**rys. 10.2**). W celu rozwiązania zagadnienia dynamiki belki wprowadzono model mas skupionych umieszczonych w węzłach „1”, „2” i „3” (patrz rysunek).

Wyznacz wartości mas skupionych: m_1, m_2, m_3 .

Dane:

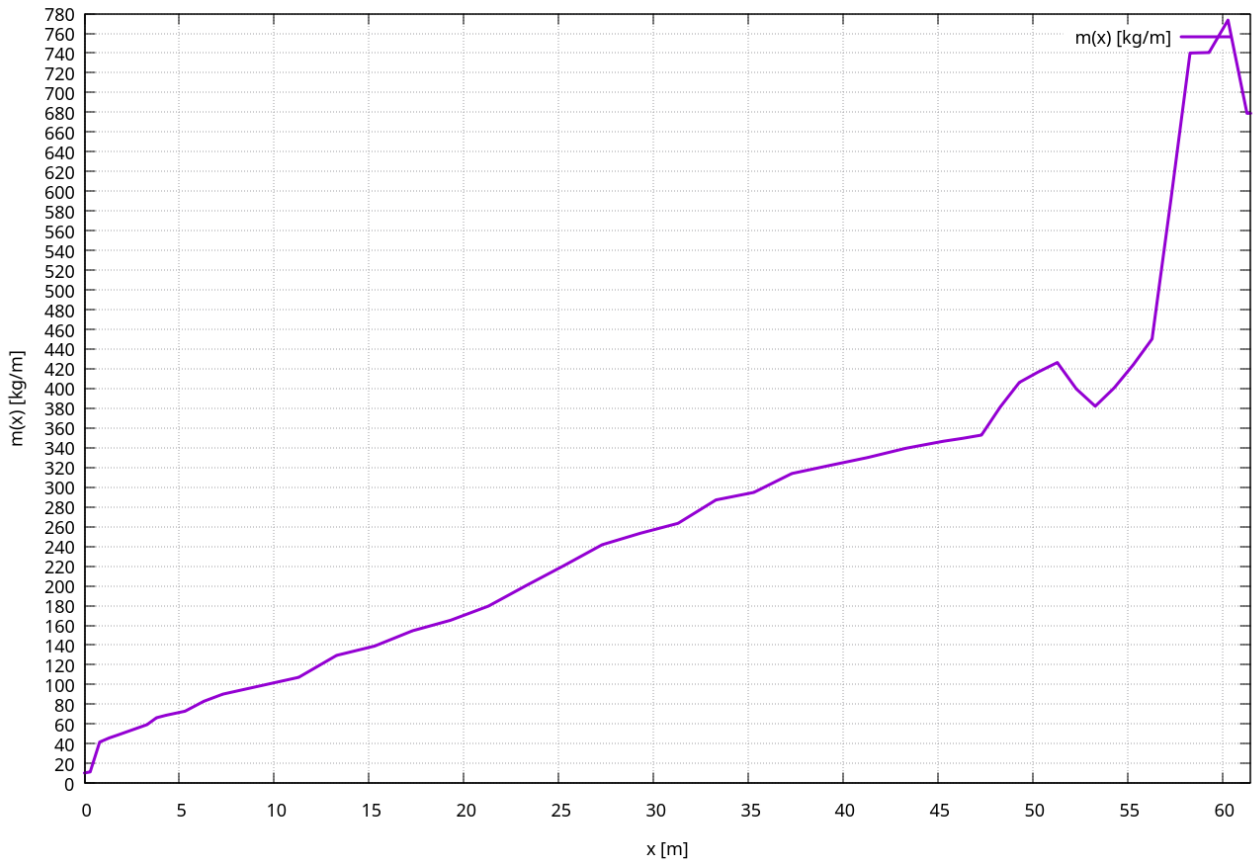
Położenia węzłów (mas skupionych): $x_1=0\text{m}$, $x_2=20\text{m}$, $x_3=40\text{m}$;

Długość belki: $l=61,5\text{m}$;



Rys. 10.1. Schemat modelu dynamicznego belki (rozkład mas skupionych).

Blade LMH64-5 (5MW NREL)



Rys. 10.2 Rozkład gęstości masy $\bar{m}(x)$ [kg/m].

11. Podaj postać macierzy tłumienia dla układu o 3 masach skupionych (3 węzłach). Opisz w jaki sposób się taką macierz tłumienia wyznacza.

12. Sformułuj równanie (macierzowe) ruchu łopaty turbiny (belki) odwzorowanej układem o trzech masach skupionych. Podaj równanie w wersji pełnej (z widoczną postacią macierzy). Opisz występujące w równaniu macierze i wektory.

Pozostały zakres materiału (część dubluje się z zakresem wyżej):

- Będą również pytania odnoszące się do Przykładów 1,2,3,4,5
 - macierz sztywności, macierz mas, macierz tłumienia
 - równanie ruchu łopaty (belki) [Wstęp do dynamiki belki]
- Patrz prezentacja z wykładów.