

obciążenie śniegiem $S = 2,4 \text{ kN/m}$
odciążenie wiatru $W = \pm 10,7 \text{ kN}$

Poz. 1.2. Założenia materiałowe

Pojisto, że elementy stalowe
będą wykonane:

stal: S275, $f_y = 275 \text{ MPa}$

profile: dwuteowniki walcowane
IPE

połączenia: spawane

- elektrody wg zaleceń
Technologia

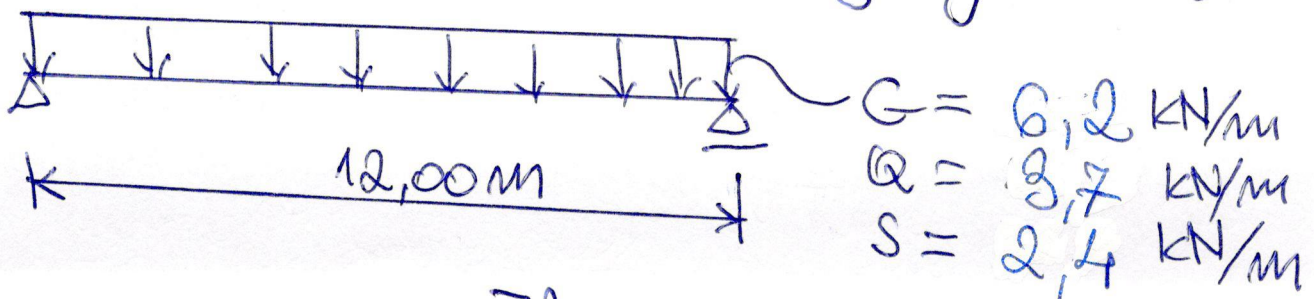
- strefy

HV M24 kl. 10.9
(dla sprężanych)

lub M20 kl. 8.8
(dla niesprężanych)

Poz. 2. Rygiel R1

Poz. 2.1. Schemat statyczny i obciążenie



Długość obliczeniowa belki

$$L_d = L = 12,00 \text{ m},$$

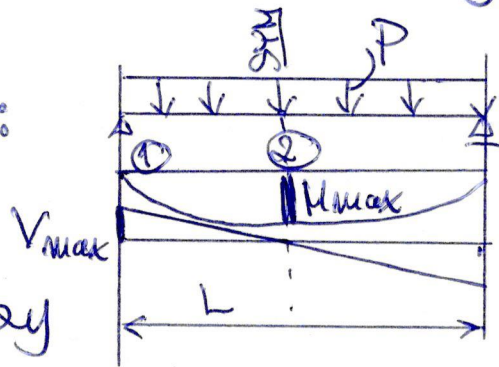
Zalążka się ze na głowicach słupów zostaną wykonstruowane elementy centrujące obciążenie w osi słupów

"Obciążenie obliczeniowe" wyznaczony na poziomie sił przekrojowych

Poz. 2.2. Maksymalne i minimalne siły przekrojowe

Wykresy sił przekrojowych:

wskazuje że w belce wystąpią dwa przekroje krytyczne: ① i ②, przy



czym w przekroju ① wystąpią siły:

$$(M, V) = (M_{\max}, 0), \text{ gdzie } M_{\max} = \frac{PL^2}{8}$$

a w przekroju ② siły:

$$(M, V) = (0, V_{\max}), \text{ gdzie } V_{\max} = \frac{PL}{2}$$

Uwaga: Powinno się przytaczać się dla wprowadzenia bo są to informacje pośrednie, ważne,

więc NIE powinny być zamieszczone w profesjonalnym projekcie:

NIE rysuje się pośrednie zamykane, prostych schematów, wykresów sił, ani tej wzorów!

Poz. 2.2.1 Obliczeniowy moment zginający w przekroju ②

$$M_G = \frac{6,2 \cdot 12^2}{8} = 111,6 \text{ kNm}$$

$$M_Q = 3,7 \cdot 12^2 / 8 = 66,6 \text{ kNm}$$

$$M_S = 2,4 \cdot 12^2 / 8 = 43,2 \text{ kNm}$$

$$M_W = \emptyset$$

Kombinacja 1 (redukcja zmiennych, bez redukcji stałych)

$$M_{K1} = 1,35 \cdot 111,6 + 1,5(66,6 \cdot 0,7 + 43,2 \cdot 0,5 + \emptyset) = 253,0 \text{ kNm}$$

Kombinacja 2 (G 2 redukcja, wiodące Q)
wiodące S

$$M_{K2} = 1,35 \cdot 0,85 \cdot 111,6 + 1,5(66,6 \cdot 0,7 + 43,2 \cdot 1,0 + \emptyset) = 262,8 \text{ kNm}$$

$$M_{K2} = 1,35 \cdot 0,85 \cdot 111,6 + 1,5(66,6 \cdot 1,0 + 43,2 \cdot 0,5 + \emptyset) = 260,4 \text{ kNm}$$

$$M_{K2} = 1,35 \cdot 0,85 \cdot 111,6 + 1,5(66,6 \cdot 0,7 + 43,2 \cdot 0,5 + \emptyset) = 230,4$$

Do dalszych obliczeń przyjęto

$$M_{Ed} = \max \{ 253,0 ; 262,8 ; 260,4 ; 230,4 \} = 262,8 \text{ kNm}$$

Uwaga: 1) Powyżej wyznaczony moment zginający jest siłą maksymalną

2) W przekroju ② nie dostała się minimalnego momentu zginającego, bo nie jest istotny.

3) moment minimalny w belce wystąpi w przekroju ①; $M_{Ed} = 0$ kNm

Poz. 2.2.2. Obliczeniowa siła poprzeczna (przekrój ①)

$$V_G = 6,2 \cdot 12/2 = 37,2 \text{ kN}$$

$$V_Q = 3,7 \cdot 12/2 = 22,2 \text{ kN}$$

$$V_S = 2,4 \cdot 12/2 = 14,4 \text{ kN}$$

$$V^W = \pm 10,7 \text{ kN} \text{ (tylko lewa podpora)}$$

$$V_{K1} = 1,35 \cdot 37,2 + 1,5(22,2 \cdot 0,7 + 14,4 \cdot 0,5 + 10,7 \cdot 0,6) = 84,0 \text{ kN}$$

$$V_{K2}^S = 1,35 \cdot 0,85 \cdot 37,2 + 1,5(22,2 \cdot 0,7 + 14,4 \cdot 1,0 + 10,7 \cdot 0,6) = 87,2 \text{ kN}$$

$$V_{K2}^Q = 1,35 \cdot 0,85 \cdot 37,2 + 1,5(22,2 \cdot 1,0 + 14,4 \cdot 0,5 + 10,7 \cdot 0,6) = 86,4 \text{ kN}$$

$$V_{K2}^W = 1,35 \cdot 0,85 \cdot 37,2 + 1,5(22,2 \cdot 0,7 + 14,4 \cdot 0,5 + 10,7 \cdot 1,0) = 82,8 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = \max\{84,0; 87,2; 86,4; 82,8\} = 87,2 \text{ kN}$$

(tylko lewa podpora)

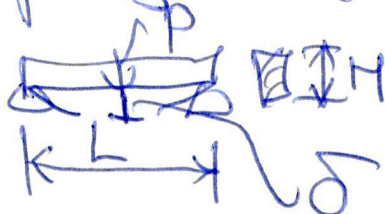
- Uwaga: 1) Siła V_{Ea} jest stowarzyszona z zerowym momentem
- 2) Powyższe wyznaczenie w kombinacji dla wszystkich obciążeń wielokrotnych
- 3) Siła V_{Ea} obciąża strop S_{1L} .
 W przypadku stupa i stopy wina fund. jest minimalna reakcja, więc przy wyznaczaniu stupa powożymy obciążenia korzystnie ze względu na V_{min} (por. 3)

Poz. 2.3. Wstępny dobór przekroju belki

- Zadanie projektowania elementów konstrukcyjnych jest zadaniem nieliniowym i rozwiązywanym iteracyjnie:
- 1 krok - wstępny, szacunkowy dobór przekrojów (szacujemy)
 - 2 krok - sprawdzenie warunków SGN i SGO dla przyjętego przekroju
 - 3 krok - jeśli warunki nie są spełnione o więcej niż 2%, to korygujemy przekroj (zmniejszamy lub zwiększamy) i przechodzimy do 2 kroku. Iteracje kończymy gdy OK.

Poz. 2.3.1. Wspólny dobór z warunkiem ugięcia (SGU)

Ponieważ ugięcie jest proporcjonalne do 4-tej potęgi L , a sztywność do 3-tej potęgi H (wysokości przekroju, np. dla



$$\delta = \frac{PL^4}{EI} \leq \frac{L}{n}, \text{ gdzie } n = 150 \text{ do } 500$$

gdzie $n = 150$ do 500 a dla belek stalowych konstrukcyjnych jest dobrym miernikiem $n = 250$,

$$\rightarrow i = \frac{L}{H}$$

i mamy (z doświadczenie i zadani optymalizacyjnych

$$\frac{H}{L} = \frac{1}{20} \text{ do } \frac{1}{30},$$

$$\text{średnio } H = L/25$$

$$\text{Dla } L = 1200 \text{ cm} : H = \frac{1200}{25} = 48 \text{ cm}$$

Poz. 2.3.2. Wspólny dobór z warunkiem nośności (SGN) $M_{b,rd}$

$$M_{b,rd} \geq M_{Ed},$$

-7-

$$\text{gdzie } M_{b,rd} = \gamma_{LT} \cdot W_y \cdot f_y / \gamma_{MO},$$

$W_y = W_{ya}$ dla przekroju kl. 1 (zginany przekrój walcowaty)

Współczynnik zwężenia estymie
przyjmy $\alpha_{LT} = 0,7$,
cyli potrzebny wskaźnik wytrzyma.

$$W_{pl, potrzeb} = \frac{262,8}{0,7 \cdot 1,0 \cdot 275} = 1365 \text{ cm}^3$$

Z tabeli przyjęto estymie IPE 450:

$$W_{pl,y} = 1702 \text{ cm}^3$$

Uwaga: Przyjmując upicie będzie
przekrośnione, ($H = 45 \text{ cm}$ < osac. 48 cm),
dla sprawdzenia to w dalszym
procesie projektowania

Por. 2.4. Sprawdzenie wytrzymałości
belki.

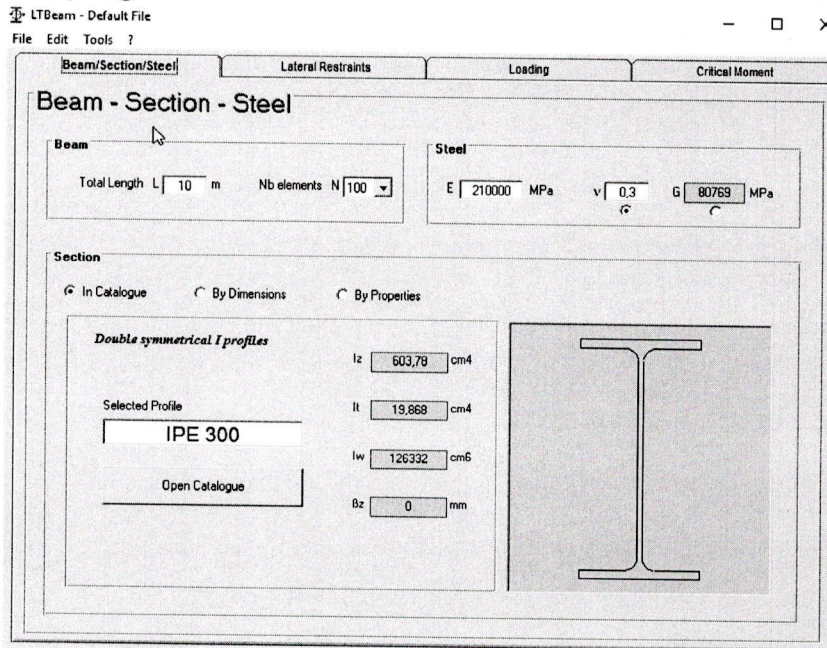
Por. 2.4.1. Obliczanie momentu
krytycznego M_{cr}

A Instaluj program LTBEAM
(obecnie wersja 1.0.11)

B Uruchamianie i wpisuj dane
jak pokazano w sesji.

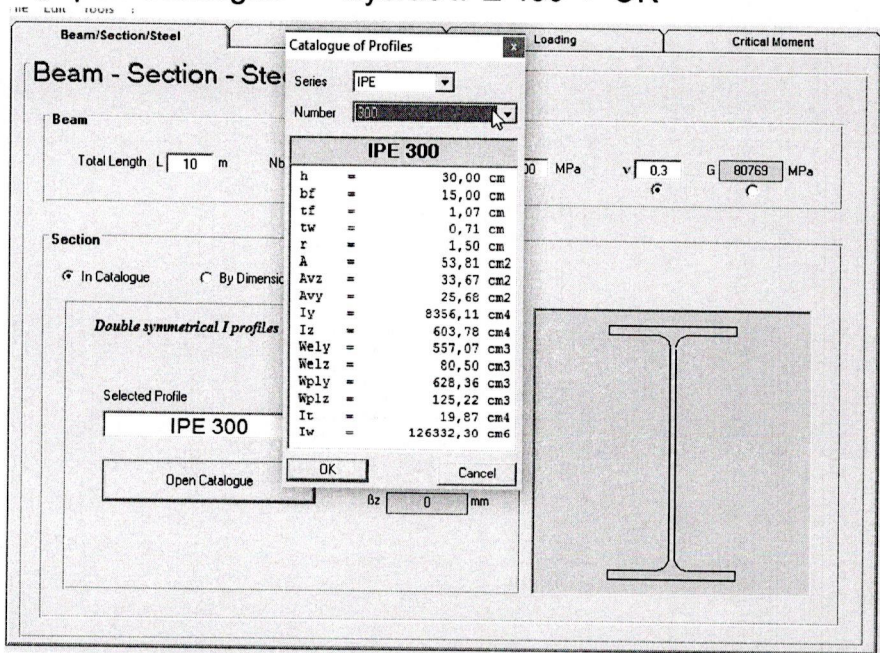
SESJA LTBEAM

1. Uruchomić program



2. Wybór profilu (Beam / Selection/ Steel) i długości belki

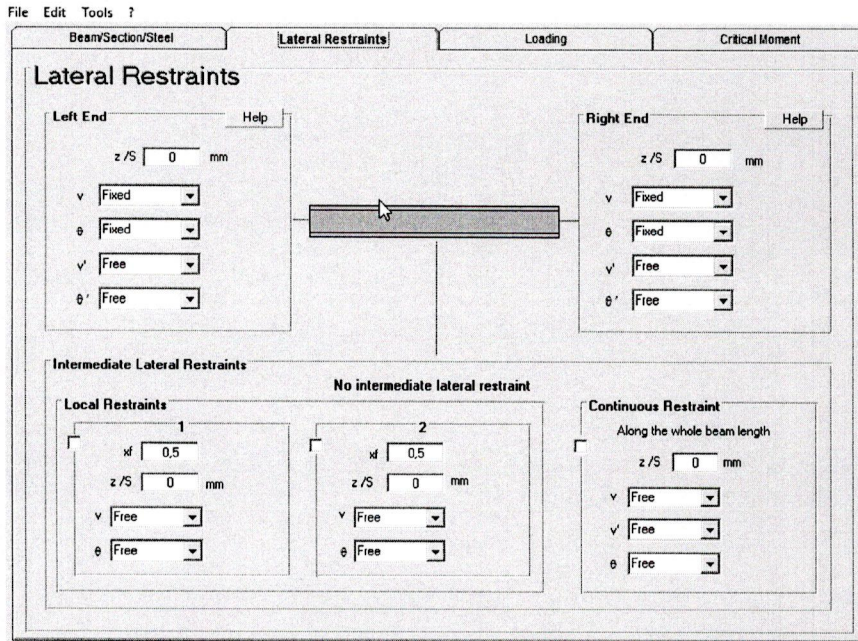
2.1. „Open Catalogue” -> wybrać IPE 450 -> OK



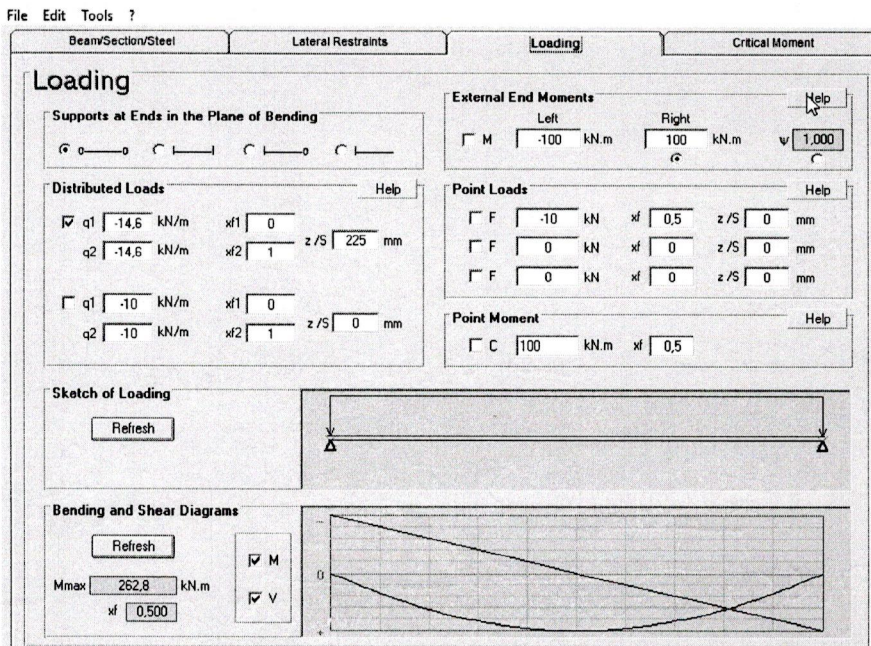
2.2. Wpisać długość belki Total Length” -> 12 m

3. Stężenia belki przeciw zwichrzeniu

W tym przypadku pozostawiamy podpory widełkowe tylko na podporach



4. Obciążenia „Loadings”



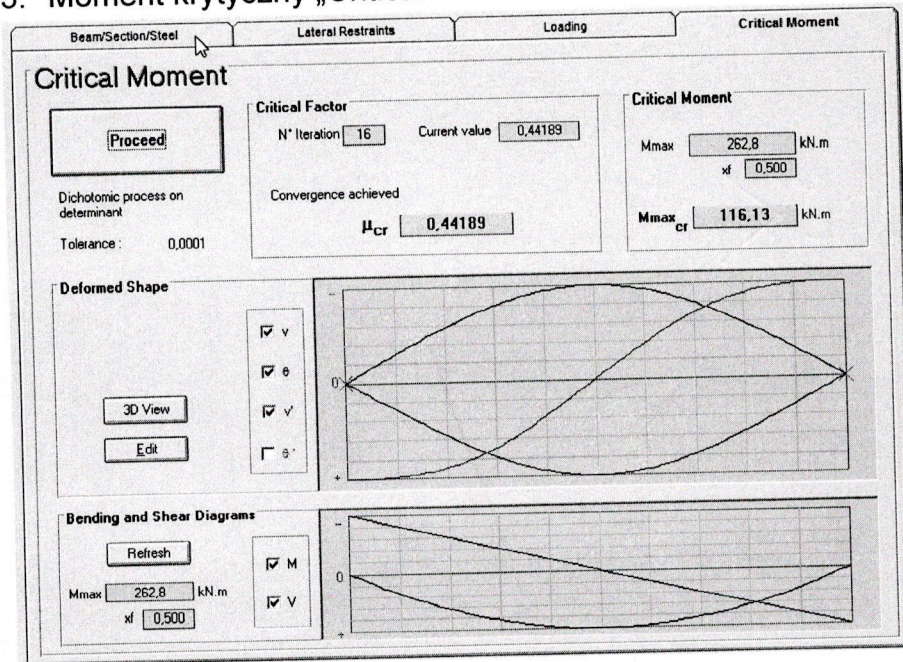
W tym przypadku zaznaczamy [v] przy 1-szym obciążeniu rozłożonym (pozostałych nie aktywizujemy) i wprowadzamy wartość obciążenia obliczeniowego

$$q_1 = q_2 = 1,35 \cdot 0,85 \cdot 6,2 + 1,5 (3,7 \cdot 0,7 + 2,4 \cdot 1,0 + \emptyset) = 14,6 \text{ kN/m}$$

oraz punkt przyłożenia obciążenia. Dla obciążenia przyłożonego na półce górnej jego odległość od środka ścinania (dla dwuteownika od środka ciężkości) to $H/2 = 450/2 = 225 \text{ mm}$

Odczytujemy, że LTBEAM prawidłowo policzył moment zginający (zgodny z naszymi obliczeniami)

5. Moment krytyczny „Critical Moment”



Po naciśnięciu „Proceed” uzyskujemy rezultat:

Moment krytyczny $M_{cr}=116,13$ kNm

Mnożnik krytyczny obciążenia $\mu_{cr}=0,44189$ ($=116,13/262,8$)

Poz. 2.4.2. Wyznaczenie współczynnika zwichnięcia

Poz. 2.4.2.1. Względna smukłość belki

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{1702 \cdot 275 \cdot 10^{-3}}{116,13}} = 2,00$$

Poz. 2.4.2.2.

Krywa wybojowa i współczynnik zwichnięcia

Z tab 6.4 EC3 dla dwuteownika

walcowego i $h/b \leq 2 \rightarrow$ krywa "a"

Z rys. 6.4 EC3, odczytując $\alpha_{LT} = 0,24$

2.4.3. Sprawdzenie nośności

$$M_{bRd} = 0,24 \cdot 1702 \cdot 275 \cdot 10^{-3} / 1,0 = 112,3 \text{ kNm} < 262,8 \text{ kNm}$$

Nośność belki jest przekroczone,
więc należy zwiększyć przekrój

Sprawdzenie dolocmanus dla IPE 500
i dla IPE 550 i nadal są za małe

Przyjęto IPE 600:

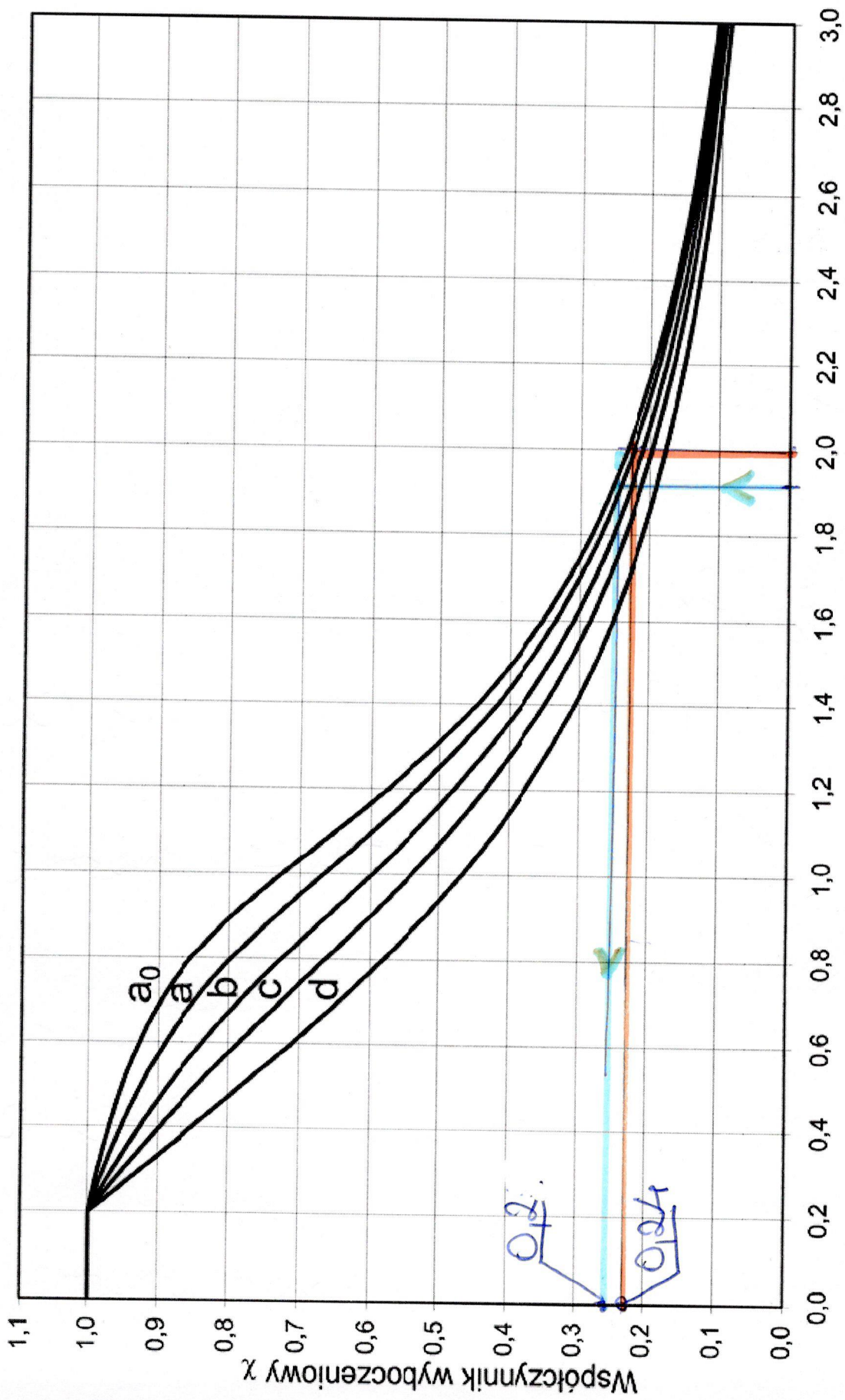
$$W_{pl,y} = 3512 \text{ cm}^3$$

$$M_{Rd} = 3512 \cdot 275 / 1,0 = 965,8 \text{ kNm}$$

$$M_{cr} = 278,1 \text{ kNm (LTBeam)}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{965,8}{278,1}} = 1,86 \rightarrow \chi_{LT} = \underline{0,28}$$

$$M_{bRd} = 965,8 \cdot 0,28 = 270,4 \text{ kNm} > 262,8 \text{ kNm}$$



Smukłość względna $\bar{\lambda}$

Rysunek 6.4: Krzywe wyboczenia

Poz. 2.5. Sprawdzenie SGU
(ugięcia belki)

$$\sigma_{dop} = \frac{1200}{250} = 4,8 \text{ cm}$$

$$\sigma = \frac{5}{384} \frac{p_k \cdot L^4}{E I_y} = \frac{5}{384} \frac{123 \cdot 1200^4}{210000 \cdot 82003} =$$

$$= 17,1 \text{ mm} = 1,7 \text{ cm} < 4,8 \text{ cm},$$

gdzie $p_k = 1,0 \cdot 6,2 + 1,0(3,7 + 2,4) = 12,3 \text{ kN/m}$
 I_y dla IPE600 : $I_y = 82003 \text{ cm}^4$

Poz. 2.6. Sprawdzenie możliwości na ścinanie

W przekroju ① $V_{Ed} = 87,2 \text{ kN}$

$$V_{b,Rd} = 83,8 \cdot \frac{275}{\sqrt{3}} \cdot 10^{-1} = 1330 \text{ kN} > 87,2 \text{ kN}$$

gdzie dla IPE600 $A_{oy} = 83,8 \text{ cm}^2$

