

STRONA TYTUŁOWA

TOM I

PROJEKT TECHNICZNY BRANŻY KONSTRUKCYJNEJ

Kategoria obiektu budowlanego:

KATEGORIA XIII - POZOSTAŁE BUDYNKI MIESZKALNE

Nazwa obiektu budowlanego:

**CZTERY BUDYNKI MIESZKALNE WIELORODZINNE WRAZ Z
INSTALACJĄ ZEWNĘTRZNĄ WODOCIĄGOWĄ I INSTALACJĄ
ZEWNĘTRZNĄ KANALIZACJI SANITARNEJ.**

Adres obiektu budowlanego:

**WOJ. ZACHODNIOPOMORSKIE, GMINA POLANÓW,
OBRĘB EWIDENCYJNY MIASTO POLANÓW 2, DZ. 11/66**

Identyfikatory działek ewidencyjnych:

320906_4.0002.11/66

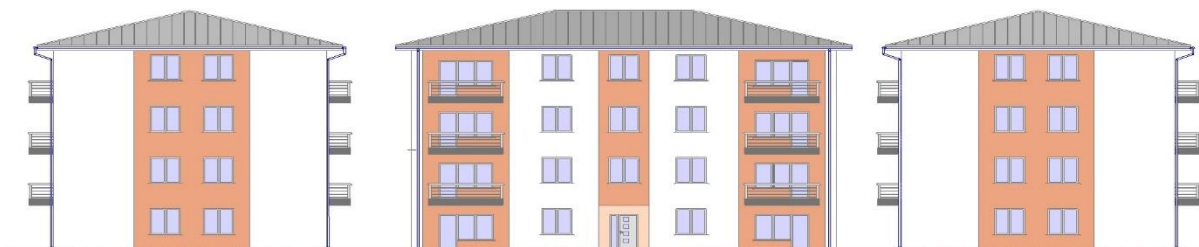
Inwestor:

GMINA POLANÓW, UL. WOLNOŚCI 4, 76-010 POLANÓW

JEDNOSTKA PROJEKTOWA:



**ATM Projektowanie Anna i Tomasz Molenda
Spółka Cywilna
ul. Zwycięstwa 40/70, 75-037 Koszalin**



Zespół projektowy:

KONSTRUKCJA

Projektował	Podpis
Mgr inż. Krzysztof Gajdzica Uprawnienia numer: ZPPB-U.73425/35/98	
Sprawdził	Podpis
Mgr inż. Danuta Dębska Uprawnienia numer: UAN/U/7342/43/91	

Polanów, wrzesień 2022r.

Zawartość opracowania.		Strony
I.	Opis Techniczny	
1.	Oświadczenia projektantów	
2.	Stwierdzenia przygotowania zawodowego oraz oświadczenia przynależności do odpowiednich Izb Inżynierskich Zespołu Projektowego.	
II.	Część rysunkowa	
III.	Obliczenia statyczne	
IV.	Dokumentacja formalna	

Opis Techniczny

1. Podstawa opracowania

- Zlecenie inwestora
- Projekt branży architektonicznej projektu indywidualnego
- Za podstawę sporządzania obliczeń statycznych przyjęto aktualne przepisy, literaturę techniczną i obowiązujące normy:
 - PN-EN 1991-1-4:2008 - Obciążenie wiatrem
 - PN-80/B-02010/Az1:2006 - Obciążenie śniegiem
 - PN-EN 1991-1-1 - Obciążenia stałe
 - PN-81/B-03150/00-Konstrukcje z drewna i materiałów drewnopochodnych. Obliczenia statyczne i projektowanie. Postanowienia ogólne.
 - PN-81/B-03020 - Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie
 - PN-B-30G2 :1999 - Konstrukcje murowe niezbrojone. Projektowanie i obliczanie.
 - „Konstrukcje betonowe” M. Kamiński, J. Pędziwiatr, D. Styś. Wrocław 2000
 - „Konstrukcje Żelbetowe” J. Kobiak Arkady, Warszawa 1973
 - „Projektowanie konstrukcyjno-budowlane ...” Bohdan Lewicki, Jan Sieczkowski W-wa 2000

2. Układ konstrukcyjny

Projektowane obiekty to cztery budynki mieszkalne wielorodzinne. Każdy budynek to obiekt szesnastolokalowy, czterokondygnacyjny, w pełni podpiwniczony. Każdy budynek kryty dachem czterospadkowym (kopertowym) o kącie nachylenia połaci 15°. Każdy budynek projektowany w technologii tradycyjnej murowej. Ściany zewnętrzne piwnicy każdego budynku zaprojektowano jako dwuwarstwowe, żelbetowe, wylewane na mokro. Ściany zewnętrzne kondygnacji nadziemnych zaprojektowano z bloczków z betonu komórkowego (ściany parteru z bloczków klasy 700, zaś wyższe kondygnacje z bloczków klasy 600). Ściany zewnętrzne wzmocnione żelbetowymi trzpieniami. Konstrukcja dachu płatwiowo-krokwiova.

3. Zastosowane układy statyczne

Stropy – żelbetowe płyty kanałowe żelbetowe i płyty dwukierunkowo zginane (korytarze) Nadproża- jednoprzęsłowe. Schemat podparcia nadproży wg. części rysunkowej i obliczeniowej.

Podciągi – jednoprzęsłowe lub dwuprzęsłowe. Schemat podparcia podciągów wg. części rysunkowej i obliczeniowej.

Konstrukcja dachu – drewniana – płatwiowo-krokwiova

Trzpień – słupy pionowe zakotwione w ścianach piwnicy i w wieńcach lub elementach konstrukcyjnych pięter.

Założenia przyjęte do obliczeń konstrukcji:

Obciążenie śniegiem wg PN-80/B-02010/Az1:2006

Obciążenie wiatrem wg PN-EN 1991-1-4:2008

Posadowienie fundamentów wg PN-81/B-03020

Obciążenia użytkowe wg PN-82/B-02003

Obciążenia stałe wg PN-EN 1991-1-1

4. Materiały konstrukcyjne

Przyjęto następujące materiały konstrukcyjne:

Beton C16/20 (dawniej B20) – fundamenty, ściany piwnicy

Beton C25/30 (dawniej B30) – elementy konstrukcyjne kondygnacji nadziemnych

Stal zbrojeniowa A-IIIN - RB 500 (wg PN-EN 1992-1-1:2008 (Eurokod 2))

Pustaki z betonu komórkowego gr. 24cm murowane na klej (spoina pozioma), spoina pionowa – brak (pustaki z systemem pióro-wpust)

Drewno klasy C24.

Dopuszczalne odchyłki dla poszczególnych robót (murowych, żelbetowych) należy przyjąć zgodnie z Polskimi Normami oraz Warunkami Technicznymi Wykonania i Odbioru Robót Budowlano-Montażowych.

II. CZĘŚĆ RYSUNKOWA

II.	Część rysunkowa	
1.	K1/1 – Rzut fundamentów – skala 1:100	
2.	K1/2 – Rzut stropu nad piwnicą – skala 1:100	
3.	K1/3 – Rzut piwnicy – wieńce i ściany – skala 1:100	
4.	K1/4 – Rzut stropu nad parterem – skala 1:100	
5.	K1/5 – Rzut parteru – nadproża i trzpienie – skala 1:100	
6.	K1/6 – Rzut stropu na I piętrze – skala 1:100	
7.	K1/7 – Rzut I piętra – nadproża i trzpienie – skala 1:100	
8.	K1/8 – Rzut stropu nad II piętrze – skala 1:100	
9.	K1/9 – Rzut II piętra – nadproża i trzpienie – skala 1:100	
10.	K1/10 – Rzut stropu nad III piętrze – skala 1:100	
11.	K1/11 – Rzut III piętra – nadproża i trzpienie – skala 1:100	
12.	K1/12 – Ściana zewnętrzna SZ1 – skala 1:100	
13.	K1/13 – Ściana zewnętrzna SZ2 – skala 1:100	
14.	K1/14 – Ściana wewnętrzna SW1 – skala 1:100	
15.	K1/15 – Ściana wewnętrzna SW2 – skala 1:100	
16.	K1/16 – Ściana wewnętrzna SW3 – skala 1:100	
17.	K1/17 – Ściana wewnętrzna SW4 – skala 1:100	
18.	K1/18 – Ściana wewnętrzna SW5 – skala 1:100	
19.	K1/19 – Ściana wewnętrzna SW6 – skala 1:100	
20.	K1/20 – Ściana wewnętrzna SW7 – skala 1:100	
21.	K1/21 – Poz. 0.1, Poz. 0.2 – skala 1:100	
22.	K1/22 – Poz. 1.1, Poz. 1.2 – skala 1:100	
23.	K1/23 – Poz. 3.1, Poz. 1.4, Poz. 1.6 – skala 1:100	
24.	K1/24 – Poz. 2.1, Poz. 2.2 – skala 1:100	
25.	K1/25 – Poz. 4.3, Poz. 2.3, Poz. 3.3 – skala 1:100	
26.	K1/26 – Poz. 4.1, Poz. 4.2 – skala 1:100	
27.	K1/27 – Poz. 4.8.1., Poz. 4.4 – skala 1:100	
28.	K1/28 – Poz. 4.7, Poz. 4.9 – skala 1:100	
29.	K1/29 – Poz. 1.5, Poz. 2.5, Poz. 3.5 – skala 1:100	

30.	K1/30 – Poz. 4.6, Poz. 4.5, balkon – skala 1:100	
31.	K1/31 – Poz. 4.8 – skala 1:100	
32.	K1/32 – Poz. 1.6, Poz. 2.4, Poz. 3.4 – skala 1:100	
33.	K1/33 – Wieńce – skala 1:100	
34.	K1/34 – Trzpień TZ1.1-4.1 – skala 1:100	
35.	K1/35 – Trzpień TZ1.2-4.2 – skala 1:100	
36.	K1/36 – Trzpień TZ1.3-4.3 – skala 1:100	
37.	K1/37 – Trzpień TZ4-4 – skala 1:100	
38.	K1/38 – Klatka schodowa – skala 1:100	
39.	K1/39 – Szyb windy – skala 1:100	
40.	K1/40 – Płyta stropowa górna szybu windy – skala 1:100	
41.	K1/41 – Płyta stropowa dolna szybu windy – skala 1:100	
42.	K1/42 – Płyta stropowa korytarza Parteru, I Piętra i II Piętra- skala 1:100	
43.	K1/43 – Płyta stropowa korytarza III piętra – skala 1:100	
44.	K1/44 – Rzut więźby dachowej – skala 1:100	
45.	K1/45 – Szczegół połączenia balkonu z płytą kanałową	
46.	K2/1 – Rzut fundamentów – skala 1:100	
47.	K2/2 – Rzut stropu nad piwnicą – skala 1:100	
48.	K2/3 – Rzut piwnicy – wieńce i ściany – skala 1:100	
49.	K2/4 – Rzut stropu nad parterem – skala 1:100	
50.	K2/5 – Rzut parteru – nadproża i trzpień – skala 1:100	
51.	K2/6 – Rzut stropu na I piętrze – skala 1:100	
52.	K2/7 – Rzut I piętra – nadproża i trzpień – skala 1:100	
53.	K2/8 – Rzut stropu nad II piętrze – skala 1:100	
54.	K2/9 – Rzut II piętra – nadproża i trzpień – skala 1:100	
55.	K2/10 – Rzut stropu nad III piętrze – skala 1:100	
56.	K2/11 – Rzut III piętra – nadproża i trzpień – skala 1:100	
57.	K2/12 – Ściana zewnętrzna SZ1 – skala 1:100	
58.	K2/13 – Ściana zewnętrzna SZ2 – skala 1:100	
59.	K2/14 – Ściana wewnętrzna SW1 – skala 1:100	

60.	K2/15 – Ściana wewnętrzna SW2 – skala 1:100	
61.	K2/16 – Ściana wewnętrzna SW3 – skala 1:100	
62.	K2/17 – Ściana wewnętrzna SW4 – skala 1:100	
63.	K2/18 – Ściana wewnętrzna SW5 – skala 1:100	
64.	K2/19 – Ściana wewnętrzna SW6 – skala 1:100	
65.	K2/20 – Ściana wewnętrzna SW7 – skala 1:100	
66.	K2/21 – Poz. 0.1, Poz. 0.2 – skala 1:100	
67.	K2/22 – Poz. 1.1, Poz. 1.2 – skala 1:100	
68.	K2/23 – Poz. 3.1, Poz. 1.4, Poz. 1.6 – skala 1:100	
69.	K2/24 – Poz. 2.1, Poz. 2.2 – skala 1:100	
70.	K2/25 – Poz. 4.3, Poz. 2.3, Poz. 3.3 – skala 1:100	
71.	K2/26 – Poz. 4.1, Poz. 4.2 – skala 1:100	
72.	K2/27 – Poz. 4.8.1., Poz. 4.4 – skala 1:100	
73.	K2/28 – Poz. 4.7, Poz. 4.9 – skala 1:100	
74.	K2/29 – Poz. 1.5, Poz. 2.5, Poz. 3.5 – skala 1:100	
75.	K2/30 – Poz. 4.6, Poz. 4.5, balkon – skala 1:100	
76.	K2/31 – Poz. 4.8 – skala 1:100	
77.	K2/32 – Poz. 1.6, Poz. 2.4, Poz. 3.4 – skala 1:100	
78.	K2/33 – Wieńce – skala 1:100	
79.	K2/34 – Trzpień TZ1.1-4.1 – skala 1:100	
80.	K2/35 – Trzpień TZ1.2-4.2 – skala 1:100	
81.	K2/36 – Trzpień TZ1.3-4.3 – skala 1:100	
82.	K2/37 – Trzpień TZ4-4 – skala 1:100	
83.	K2/38 – Klatka schodowa – skala 1:100	
84.	K2/39 – Szyb windy – skala 1:100	
85.	K2/40 – Płyta stropowa górna szybu windy – skala 1:100	
86.	K2/41 – Płyta stropowa dolna szybu windy – skala 1:100	
87.	K2/42 – Płyta stropowa korytarza Parteru, I Piętra i II Piętra- skala 1:100	
88.	K2/43 – Płyta stropowa korytarza III piętra – skala 1:100	
89.	K2/44 – Rzut więźby dachowej – skala 1:100	

90.	K2/45 – Szczegół połączenia balkonu z płytą kanałową	
91.	K3/1 – Rzut fundamentów – skala 1:100	
92.	K3/2 – Rzut stropu nad piwnicą – skala 1:100	
93.	K3/3 – Rzut piwnicy – wieńce i ściany – skala 1:100	
94.	K3/4 – Rzut stropu nad parterem – skala 1:100	
95.	K3/5 – Rzut parteru – nadproża i trzpienie – skala 1:100	
96.	K3/6 – Rzut stropu na I piętrze – skala 1:100	
97.	K3/7 – Rzut I piętra – nadproża i trzpienie – skala 1:100	
98.	K3/8 – Rzut stropu nad II piętrze – skala 1:100	
99.	K3/9 – Rzut II piętra – nadproża i trzpienie – skala 1:100	
100.	K3/10 – Rzut stropu nad III piętrze – skala 1:100	
101.	K3/11 – Rzut III piętra – nadproża i trzpienie – skala 1:100	
102.	K3/12 – Ściana zewnętrzna SZ1 – skala 1:100	
103.	K3/13 – Ściana zewnętrzna SZ2 – skala 1:100	
104.	K3/14 – Ściana wewnętrzna SW1 – skala 1:100	
105.	K3/15 – Ściana wewnętrzna SW2 – skala 1:100	
106.	K3/16 – Ściana wewnętrzna SW3 – skala 1:100	
107.	K3/17 – Ściana wewnętrzna SW4 – skala 1:100	
108.	K3/18 – Ściana wewnętrzna SW5 – skala 1:100	
109.	K3/19 – Ściana wewnętrzna SW6 – skala 1:100	
110.	K3/20 – Ściana wewnętrzna SW7 – skala 1:100	
111.	K3/21 – Poz. 0.1, Poz. 0.2 – skala 1:100	
112.	K3/22 – Poz. 1.1, Poz. 1.2 – skala 1:100	
113.	K3/23 – Poz. 3.1, Poz. 1.4, Poz. 1.6 – skala 1:100	
114.	K3/24 – Poz. 2.1, Poz. 2.2 – skala 1:100	
115.	K3/25 – Poz. 4.3, Poz. 2.3, Poz. 3.3 – skala 1:100	
116.	K3/26 – Poz. 4.1, Poz. 4.2 – skala 1:100	
117.	K3/27 – Poz. 4.8.1., Poz. 4.4 – skala 1:100	
118.	K3/28 – Poz. 4.7, Poz. 4.9 – skala 1:100	
119.	K3/29 – Poz. 1.5, Poz. 2.5, Poz. 3.5 – skala 1:100	
120.	K3/30 – Poz. 4.6, Poz. 4.5, balkon – skala 1:100	

121.	K3/31 – Poz. 4.8 – skala 1:100	
122.	K3/32 – Poz. 1.6, Poz. 2.4, Poz. 3.4 – skala 1:100	
123.	K3/33 – Wieńce – skala 1:100	
124.	K3/34 – Trzpień TZ1.1-4.1 – skala 1:100	
125.	K3/35 – Trzpień TZ1.2-4.2 – skala 1:100	
126.	K3/36 – Trzpień TZ1.3-4.3 – skala 1:100	
127.	K3/37 – Trzpień TZ4-4 – skala 1:100	
128.	K3/38 – Klatka schodowa – skala 1:100	
129.	K3/39 – Szyb windy – skala 1:100	
130.	K3/40 – Płyta stropowa górna szybu windy – skala 1:100	
131.	K3/41 – Płyta stropowa dolna szybu windy – skala 1:100	
132.	K3/42 – Płyta stropowa korytarza Parteru, I Piętra i II Piętra- skala 1:100	
133.	K3/43 – Płyta stropowa korytarza III piętra – skala 1:100	
134.	K3/44 – Rzut więzby dachowej – skala 1:100	
135.	K3/45 – Szczegół połączenia balkonu z płytą kanałową	
136.	K4/1 – Rzut fundamentów – skala 1:100	
137.	K4/2 – Rzut stropu nad piwnicą – skala 1:100	
138.	K4/3 – Rzut piwnicy – wieńce i ściany – skala 1:100	
139.	K4/4 – Rzut stropu nad parterem – skala 1:100	
140.	K4/5 – Rzut parteru – nadproża i trzpień – skala 1:100	
141.	K4/6 – Rzut stropu na I piętrze – skala 1:100	
142.	K4/7 – Rzut I piętra – nadproża i trzpień – skala 1:100	
143.	K4/8 – Rzut stropu nad II piętrze – skala 1:100	
144.	K4/9 – Rzut II piętra – nadproża i trzpień – skala 1:100	
145.	K4/10 – Rzut stropu nad III piętrze – skala 1:100	
146.	K4/11 – Rzut III piętra – nadproża i trzpień – skala 1:100	
147.	K4/12 – Ściana zewnętrzna SZ1 – skala 1:100	
148.	K4/13 – Ściana zewnętrzna SZ2 – skala 1:100	
149.	K4/14 – Ściana wewnętrzna SW1 – skala 1:100	
150.	K4/15 – Ściana wewnętrzna SW2 – skala 1:100	

151.	K4/16 – Ściana wewnętrzna SW3 – skala 1:100	
152.	K4/17 – Ściana wewnętrzna SW4 – skala 1:100	
153.	K4/18 – Ściana wewnętrzna SW5 – skala 1:100	
154.	K4/19 – Ściana wewnętrzna SW6 – skala 1:100	
155.	K4/20 – Ściana wewnętrzna SW7 – skala 1:100	
156.	K4/21 – Poz. 0.1, Poz. 0.2 – skala 1:100	
156.	K4/22 – Poz. 1.1, Poz. 1.2 – skala 1:100	
157.	K4/23 – Poz. 3.1, Poz. 1.4, Poz. 1.6 – skala 1:100	
158.	K4/24 – Poz. 2.1, Poz. 2.2 – skala 1:100	
159.	K4/25 – Poz. 4.3, Poz. 2.3, Poz. 3.3 – skala 1:100	
160.	K4/26 – Poz. 4.1, Poz. 4.2 – skala 1:100	
161.	K4/27 – Poz. 4.8.1., Poz. 4.4 – skala 1:100	
162.	K4/28 – Poz. 4.7, Poz. 4.9 – skala 1:100	
163.	K4/29 – Poz. 1.5, Poz. 2.5, Poz. 3.5 – skala 1:100	
164.	K4/30 – Poz. 4.6, Poz. 4.5, balkon – skala 1:100	
165.	K4/31 – Poz. 4.8 – skala 1:100	
166.	K4/32 – Poz. 1.6, Poz. 2.4, Poz. 3.4 – skala 1:100	
167.	K4/33 – Wieńce – skala 1:100	
168.	K4/34 – Trzpień TZ1.1-4.1 – skala 1:100	
169.	K4/35 – Trzpień TZ1.2-4.2 – skala 1:100	
170.	K4/36 – Trzpień TZ1.3-4.3 – skala 1:100	
171.	K4/37 – Trzpień TZ4-4 – skala 1:100	
172.	K4/38 – Klatka schodowa – skala 1:100	
173.	K4/39 – Szyb windy – skala 1:100	
174.	K4/40 – Płyta stropowa górna szybu windy – skala 1:100	
175.	K4/41 – Płyta stropowa dolna szybu windy – skala 1:100	
176.	K4/42 – Płyta stropowa korytarza Parteru, I Piętra i II Piętra- skala 1:100	
177.	K4/43 – Płyta stropowa korytarza III piętra – skala 1:100	
178.	K4/44 – Rzut więźby dachowej – skala 1:100	
179.	K4/45 – Szczegół połączenia balkonu z płytą kanałową	

III. OBLICZENIA STATYCZNE

1. Zestawienie obciążeń

1.1. Dach

Obciążenia stałe:

Lp.	Wyszczególnienie	Grubość warstwy m	Ciężar w stanie powietrznosuchy m kN/m ³	Wartość charakterystyczna obciążenia kN/m ²
1	2	3	4	5
	Obciążenia stałe			
1	Blacha + mata podkładowa	0,003	78,0	0,234
2	Deskowanie pełne	0,025	5,5	0,138
3	Kontrłaty -	0,05	5,5	0,275
	Razem g, kN/m²			0,65

1.1.2. Obciążenie śniegiem

Położenie obiektu: strefa 3, wysokość n.p.m. $A = 85 \text{ m}$

$$\Rightarrow s_k = 0,006 \times A - 0,6 \leq 1,20 \quad s_k = 1,2 \text{ kN/m}^2$$

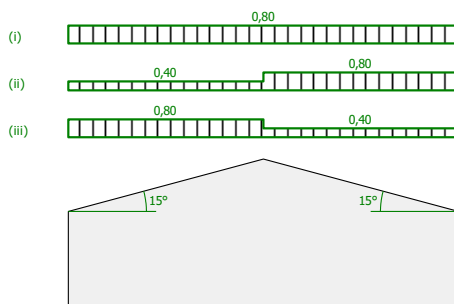
Ekspozycja obiektu: teren normalny $\Rightarrow C_e = 1,00$

Rodzaj dachu: dach dwuspadowy

Kąt połaci dachu $\alpha_1 = 15^\circ$

Kąt połaci dachu $\alpha_2 = 15^\circ$

$$\Rightarrow \mu_1 = 0,80 \quad (\text{przypadek (i) obc. równomierne})$$



Obciążenie charakterystyczne $s = \mu_1 \times C_e \times C_t \times s_k = 0,80 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,20 \text{ kN/m}^2 = 0,96 \text{ kN/m}^2$

Obciążenie obliczeniowe $s_o = 1,50 \times 0,96 \text{ kN/m}^2 = \mathbf{1,44 \text{ kN/m}^2}$

1.1.3 Obciążenie wiatrem

Położenie obiektu: strefa 2, wysokość n.p.m. $A = 85 \text{ m}$

$$\Rightarrow v_{b,0} = 26 \text{ m/s}$$

Kierunek wiatru 270°

Kategoria terenu - I

Wysokości: minimalna $z_{\min} = 1 \text{ m}$, maksymalna $z_{\max} = 200 \text{ m}$, wymiar chropowatości $z_0 = 0,01 \text{ m}$

Wysokość odniesienia nad gruntem: $z_{e0} = h = 14,10 \text{ m} = 14,10 \text{ m}$

Wysokość odniesienia: $z_e = z_{e0} = 14,10 \text{ m} = 14,10 \text{ m}$

Bazowa prędkość wiatru: $v_b = C_{dir} \times C_{season} \times v_{b,0} = 1,00 \times 1,0 \times 26 \text{ m/s} = 26 \text{ m/s}$

Wsp. chropowatości: $c_r(z_e) = 1,20 \times (z_e / 10)^{0,13} = 1,20 \times (14,10 / 10)^{0,13} = 1,25$

Wsp. ekspozycji: $c_e(z_e) = 2,80 \times (z_e / 10)^{0,19} = 2,80 \times (14,10 / 10)^{0,19} = 2,99$

Średnia prędkość wiatru:

$$v_m(z_e) = c_r(z_e) \times c_o(z_e) \times v_b = 1,25 \times 1,00 \times 26 \text{ m/s} = 32,6 \text{ m/s}$$

Bazowe ciśnienie prędkości:

$$q_b = 0,5 \times \rho \times v_b^2 = 0,5 \times 1,25 \text{ kg/m}^3 \times (26 \text{ m/s})^2 = 0,42 \text{ kN/m}^2$$

Szczytowe ciśnienie prędkości:

$$\Rightarrow q_p(z_e) = c_e(z_e) \times q_b = 2,99 \times 0,42 \text{ kN/m}^2 = 1,26 \text{ kN/m}^2$$

Rodzaj elementu: **dach czterospadowy**

Wymiary budynku:

szerokość (prostopadle do kierunku wiatru): $b = 22,64 \text{ m}$

długość (równolegle do kierunku wiatru): $d = 15,14 \text{ m}$

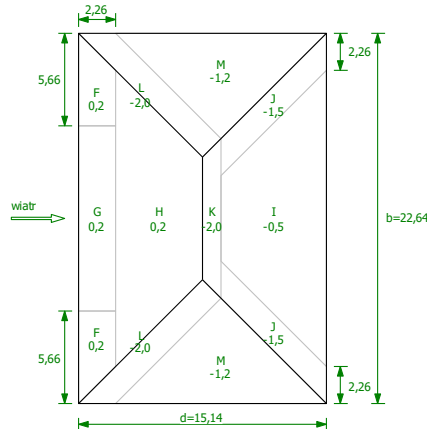
wysokość: $h = 14,10 \text{ m}$

nachylenie dachu dla połaci nawietrznej i zawietrznej: $\alpha_b = 15,00^\circ$

nachylenie dachu dla połaci bocznej: $\alpha_d = 15,00^\circ$

$e = \min(b, 2h) = 22,64 \text{ m}$

Pole powierzchni przegrody: $A_{ref} < 1 \text{ m}^2$



Wariant obciążenia o dodatnich wartościach pól.

Połąć nawietrzna.

Współczynnik ciśnienia wewnętrznego:

Założono budynek bez ściany dominującej.

Przyjęto:

$$\Rightarrow c_{pi} = -0,30$$

Poziom odniesienia do obliczenia ciśnienia wewn. wiatru: $z_i = z_e = 14,10 \text{ m} = 14,10 \text{ m}$

Wsp. ekspozycji: $c_e(z_i) = 2,80 \times (z_i / 10)^{0,19} = 2,80 \times (14,10 / 10)^{0,19} = 2,99$

Szczytowe ciśnienie prędkości:

$$\Rightarrow q_p(z_i) = c_e(z_i) \times q_b = 2,99 \times 0,42 \text{ kN/m}^2 = 1,26 \text{ kN/m}^2$$

1.1.3.1 Obciążenie wiatrem Pole F

Współczynnik ciśnienia zewnętrznego: $c_{pe,F} = 0,2$

Obciążenie charakterystyczne $w_k = q_p(z_e) \times c_{pe,F} - q_p(z_i) \times c_{pi} = 1,26 \text{ kN/m}^2 \times 0,2 - 1,26 \text{ kN/m}^2 \times -0,30 = 0,63 \text{ kN/m}^2$

Obciążenie obliczeniowe $w_o = 1,50 \times 0,63 \text{ kN/m}^2 = \mathbf{0,95 \text{ kN/m}^2}$

1.1.3.2. Pole G

Współczynnik ciśnienia zewnętrznego: $c_{pe,G} = 0,2$

Obciążenie charakterystyczne $w_k = q_p(z_e) \times c_{pe,G} - q_p(z_i) \times c_{pi} = 1,26 \text{ kN/m}^2 \times 0,2 - 1,26 \text{ kN/m}^2 \times -0,30 = 0,63 \text{ kN/m}^2$

Obciążenie obliczeniowe $w_o = 1,50 \times 0,63 \text{ kN/m}^2 = \mathbf{0,95 \text{ kN/m}^2}$

1.1.3.3. Pole H

Współczynnik ciśnienia zewnętrznego: $c_{pe,H} = 0,2$

Obciążenie charakterystyczne $w_k = q_p(z_e) \times c_{pe,H} - q_p(z_i) \times c_{pi} = 1,26 \text{ kN/m}^2 \times 0,2 - 1,26 \text{ kN/m}^2 \times -0,30 = 0,63 \text{ kN/m}^2$

Obciążenie obliczeniowe $w_o = 1,50 \times 0,63 \text{ kN/m}^2 = \mathbf{0,95 \text{ kN/m}^2}$

1.2. Obciążenie płyt stropowych kanałowych (mieszkania)

1.2.1. Użytkowe (kategoria A)

Obciążenie charakterystyczne $Q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2 = 2,00 \text{ kN/m}^2$

Obciążenie obliczeniowe $Q_{o1} = 1,00 \times 2,00 \text{ kN/m}^2 = \mathbf{2,00 \text{ kN/m}^2}$

1.2.2. Ściany działowe o c.w. do 3.0 kN/m

Obciążenie charakterystyczne $Q_k = 1,2 \text{ kN/m}^2 = 1,20 \text{ kN/m}^2$

Obciążenie obliczeniowe $Q_{o1} = 1,00 \times 1,20 \text{ kN/m}^2 = \mathbf{1,20 \text{ kN/m}^2}$

Lp.	Wyszczególnienie			
-----	------------------	--	--	--

		Grubość warstwy m	Ciężar w stanie powietrznosuchym kN/m³	Wartość charakterystyczna obciążenia kN/m²
1	2	3	4	5
	Obciążenia stałe			
1	Płytki ceramiczne 7 mm	0,007	21,0	0,147
2	Zaprawa klejąca 5 mm	0,005	15,0	0,075
3	Płynna folia 1,5 mm			0,017
4	Jastrych cementowy 50 mm	0,050	21,0	1,050
5	Folia PE 0,2 mm			0,002
6	Styropian 100 mm	0,100	0,20	0,020
7	Strop	0,24		
8	Tynk cementowo-wapienny 15 mm	0,015	19,0	0,285
	Razem g, kN/m²			1,60
	Obciążenia zmienne			
1	Obciążenie zastępcze od ścianek działowych			1,20
2	Obciążenie użytkowe - pokoje i pom. mieszkalne			2,00
	Razem p, kN/m²			3,20
	Łącznie g + p, kN/m²			4,80

Należy przyjąć płyty stropowe kanałowe o nośności 6,0kN/m²

1.3. Obciążenie płyt stropowych monolitycznych (korytarze)

1.3.1. Użytkowe (kategoria A)

Obciążenie charakterystyczne $Q_k = 3,0 \text{ kN/m}^2 = 3,00 \text{ kN/m}^2$

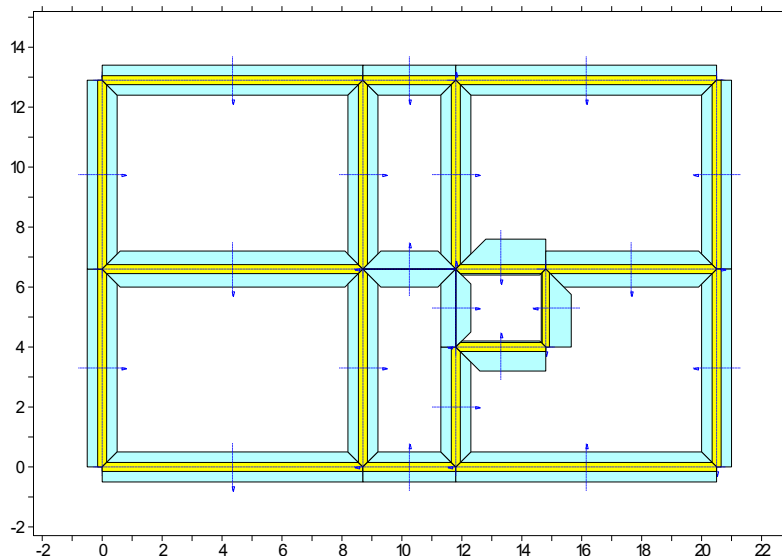
Obciążenie obliczeniowe $Q_{o1} = 1,00 \times 3,00 \text{ kN/m}^2 = 3,00 \text{ kN/m}^2$

Lp.	Wyszczególnienie	Grubość warstwy m	Ciężar w stanie powietrznosuchym kN/m³	Wartość charakterystyczna obciążenia kN/m²
1	2	3	4	5
	Obciążenia stałe			
1	Płytki ceramiczne 7 mm	0,007	21,0	0,147
2	Zaprawa klejąca 5 mm	0,005	15,0	0,075
3	Płynna folia 1,5 mm			0,017
4	Jastrych cementowy 50 mm	0,050	21,0	1,050
5	Folia PE 0,2 mm			0,002
6	Styropian 100 mm	0,100	0,20	0,020
7	Strop	0,24		
8	Tynk cementowo-wapienny 15 mm	0,015	19,0	0,285
	Razem g, kN/m²			1,60
	Obciążenia zmienne			
1	Obciążenie zastępcze od ścianek działowych			0,00

2	Obciążenie użytkowe			3,00
	Razem p, kN/m²			3,00
	Łącznie g + p, kN/m²			4,60

Obliczenia ław fundamentowych

DANE OGÓLNE PROJEKTU



Grunty występujące w Projekcie

Parametry geotechniczne gruntów

Lp	Nazwa gruntu	Symbo l	Spójnoś ć	Kąt tarcia	Wytrz.	Identyfikator	Etykieta
			c' [kPa]	φ' [stopnie]	C _{uk} [kPa]		
1	Gлина piaszczysta	saCCl	27,77	16,3	nieokr.	saCCl_c:27,77_f:16,3	

Uwaga: Parametry gruntów c', φ' są wartościami efektywnymi.

Grupy obciążeń

Symbol	Nazwa	Rodzaj	γf1	γf2	ψ0	ψ1	ψ2
CW	ciężar własny	stałe	1,35	1,00			
STAŁE	OD dachu	stałe	1,35	1,00			
STAŁE1	Od Ściani stropów	stałe	1,35	1,00			
ZM_DAC H	Zmienne na dachu	zmienne	1,50		1,00	1,00	1,00
ZM_SCI ANY	Zmienne stropów	zmienne	1,50		1,00	1,00	1,00

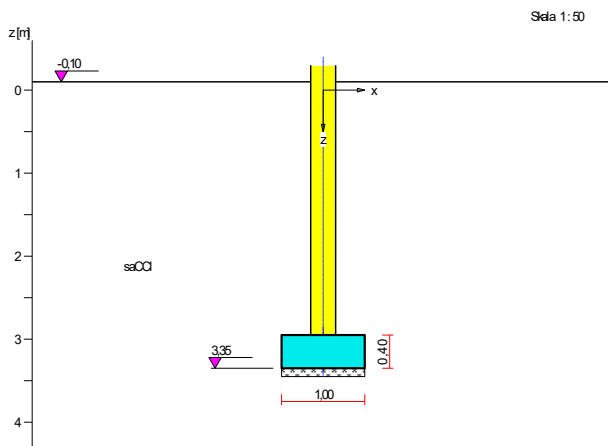
Kombinacje obciążeń

Lp.	Rodzaj	Stan	Zawsze	Ewentualnie
1	podstawowa	aktywna	CW+STAŁE+STAŁE1	ZM_DACH+ZM_SCIANY

Kombinacje podstawowe wyznaczane na podstawie wzoru 6.10 PN-EN 1990.

FUNDAMENT ŁAWA 1

Nazwa fundamentu: ława



Wymiary fundamentu

Względny poziom posadowienia: $z_f = 3,35$ m

Kształt przekroju fundamentu: **prosty**

Szerokość podstawy: $B = 1,00$ m,

Wysokość: $H = 0,40$ m.

Podłoże gruntowe: Teren

Istniejący względny poziom terenu: $z_t = -0,10$ m,

Projektowany względny poziom terenu: $z_{tp} = -0,10$ m.

Warstwy gruntu

Lp.	Poz. stropu [m]	Grubość [m]	Nazwa gruntu	Identyfikator	Poz. wody gr. [m]
1	-0,10	nieokreśl.	Gлина piaszczysta	saCCl_c:27,77_f:16,3	brak wody

Konstrukcja na fundamencie

Typ konstrukcji: **ściana żelbetowa – piwnica, ściana murowana wzmocniona trzpieniami – kondygnacje nadziemne**

Szerokość: $b = 0,24$ m,

Warstwa wyrównawcza pod fundamentem

Grubość: $h = 0,10$ m,

Charakterystyczny ciężar objętościowy: $\gamma_{ww \text{ char}} = 22,00$ kN/m³.

Warstwa wyrównawcza pod fundamentem

Grubość: $h = 0,10$ m,

Charakterystyczny ciężar objętościowy: $\gamma_{ww \text{ char}} = 22,00$ kN/m³.

Obciążenie od konstrukcji

Względny poziom przyłożenia obciążenia: $z_{obc} = 2,95$ m.

Lista obciążeń:

Grupa obc.	Rodzaj	N	Hx	My
symbol	obciążenia	[kN/m]	[kN/m]	[kNm/m]
STAŁE	stałe	4,0	0,0	0,00
STAŁE1	stałe	190,0	0,0	0,00
ZM_DACH	zmienne	7,5	0,0	0,00

ZM_SCIANY	zmienne	25,2	0,0	0,00
-----------	---------	------	-----	------

Stan graniczny I

Analiza stanu granicznego I dla kombinacji obciążenia nr 4

Litera kombinacji obciążeń:

$$1,35 \cdot CW + 1,35 \cdot STALE + 1,35 \cdot STALE + 1,5 \cdot [ZM_DACH] + 1,5 \cdot 1 \cdot ZM_SCIANY$$

Wymiary podstawy fundamentu rzeczywistego: $B = 1,00 \text{ m}$, $L = 8,70 \text{ m}$.

Względny poziom posadowienia: $H = 3,35 \text{ m}$.

Rodzaj kombinacji obciążenia: podstawowa.

Sytuacja obliczeniowa: trwała.

Zestawienie obciążeń:

Pozycja	Obc. char.	Ex	γ	Obc. obl. G	Mom. obl. M_G
	[kN/m]	[m]	[-]	[kN/m]	[kNm/m]
Fundament	10,00	0,00	1,4(1,0)	13,50	0,00
Grunt - pole 1	22,42	-0,33	1,4(1,0)	30,26	-9,84
Grunt - pole 2	22,42	0,33	1,4(1,0)	30,26	9,84

Obciążenia zewnętrzne od konstrukcji na jednostkę długości fundamentu:

siła pionowa: $N = 310,95 \text{ kN/m}$, mimośród względem podstawy fund. $E = 0,00 \text{ m}$,

siła pozioma: $H_x = 0,00 \text{ kN/m}$, mimośród względem podstawy fund. $E_z = 0,40 \text{ m}$,

moment: $M_y = 0,00 \text{ kNm/m}$.

Sprawdzenie położenia wypadkowej obciążenia względem podstawy fundamentu

Obciążenie pionowe:

$$N_r = (N + G) \cdot L = (310,95 + 74,03 + 54,84) \cdot 8,70 = 3349,30 + 3182,33 \text{ kN}.$$

Moment względem środka podstawy:

$$M_r = (-N \cdot E + H_x \cdot E_z + M_y + M_{Gy}) \cdot L = (-310,95 \cdot 0,00 + 0,00 + 0,00) \cdot 8,70 = 0,00 + 0,00 \text{ kNm}.$$

Mimośród siły względem środka podstawy:

$$e_r = |M_r / N_r| = 0,00 / 3349,30 = 0,00 \text{ m}.$$

$$e_r = 0,00 \text{ m} < 0,17 \text{ m}.$$

Wniosek: Wypadkowa obciążenia wewnątrz rdzenia podstawy fundamentu.

Sprawdzenie warunku granicznej nośności fundamentu rzeczywistego

Zredukowane wymiary podstawy fundamentu:

$$B' = B - 2 \cdot e_r = 1,00 - 2 \cdot 0,00 = 1,00 \text{ m}, \quad L' = L = 8,70 \text{ m}.$$

Obliczeniowe efektywne naprężenie w poz. posadowienia fund.: $q' = 72,45 \text{ kPa}$.

Obliczeniowy efektywny ciężar obj. gruntu poniżej posadowienia fund.: $\gamma' = 21,00 \text{ kN/m}^3$.

Współczynniki nośności podłoża:

efektywny kąt tarcia wewnętrznego: $\varphi' = 16,33^\circ$,

efektywna spójność: $c' = 27,77 \text{ kPa}$,

$N_c = 11,86$, $N_q = 4,48$, $N_\gamma = 2,04$,

wykładnik: $m = 0,00$,

$i_c = 1,00$, $i_q = 1,00$, $i_\gamma = 1,00$,

współczynniki kształtu: $s_c = 1,04$, $s_q = 1,03$, $s_\gamma = 0,97$,

$b_c = 1,00$, $b_q = 1,00$, $b_\gamma = 1,00$.

Odpór graniczny podłoża:

$$R = B' L' (c' \cdot b_c \cdot s_c \cdot N_c \cdot i_c + q' \cdot b_q \cdot s_q \cdot N_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot b_\gamma \cdot s_\gamma \cdot N_\gamma \cdot i_\gamma) = 6076,31 \text{ kN}.$$

Nośność podłoża: $R_d = R / \gamma_N = 6076,31 / 1,40 = 4340,22 \text{ kPa}$.

Sprawdzenie warunku obliczeniowego:

$$N_r = 3349,30 \text{ kN} < R_d = 4340,22 \text{ kN}.$$

Wniosek: warunek nośności jest spełniony.

Sprawdzenie warunku przesunięcia fundamentu rzeczywistego

Całkowite obciążenie poziome fundamentu:

$$H = H_x \cdot L = 0,00 \cdot 8,70 = 0,00 \text{ kN}.$$

Obliczeniowy kąt tarcia jest równy $\delta_k = \varphi' = 16,3^\circ$.

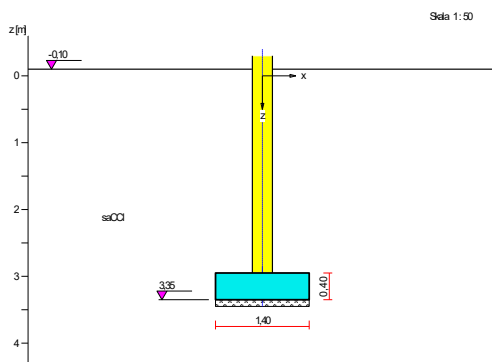
Opór tarcia na podstawie fundamentu: $R_{t,d} = N_r \cdot \tan \delta_k / \gamma_{Rh} = 3349,30 \cdot \tan 16,3^\circ / 1,10 = 892,29 \text{ kN}.$

Sprawdzenie warunku na przesunięcie:

$$|H| = 0,00 \text{ kN} < R_{t,d} = 892,29 \text{ kN}.$$

Wniosek: warunek przesunięcia jest spełniony.

FUNDAMENT ŁAWA 2



1. Wymiary fundamentu

Względny poziom posadowienia: $z_f = 3,35 \text{ m}$

Kształt przekroju fundamentu: **prosty**

Wymiary podstawy: $B = 1,40 \text{ m}$,

Wysokość: $H = 0,40 \text{ m}$, mimośród: $E = 0,00 \text{ m}$.

1.1. Podłoże gruntowe

1.2. Teren

Istniejący względny poziom terenu: $z_t = -0,10 \text{ m}$,

Projektowany względny poziom terenu: $z_{tp} = -0,10 \text{ m}$.

1.3. Warstwy gruntu

Lp.	Poz. stropu [m]	Grubość [m]	Nazwa gruntu	Identyfikator	Poz. wody gr. [m]
1	-0,10	nieokreśl.	Gлина piaszczysta	saCCl_c:27,77_f:16,3	brak wody

2. Konstrukcja na fundamencie

Typ konstrukcji: **ściana żelbetowa – piwnica, ściana murowana wzmocniona trzpieniami – kondygnacje nadziemne**

Szerokość: $b = 0,24 \text{ m}$,

3. Warstwa wyrównawcza pod fundamentem

Grubość: $h = 0,10 \text{ m}$,

Charakterystyczny ciężar objętościowy: $\gamma_{ww \text{ char}} = 22,00 \text{ kN/m}^3$.

4. Obciążenie od konstrukcji

Względny poziom przyłożenia obciążenia: $z_{obc} = 2,95 \text{ m}$.

Lista obciążeń:

Grupa obc.	Rodzaj	N	H _x	My
symbol	obciążenia	[kN/m]	[kN/m]	[kNm/m]
STAŁE	stałe	51,0	0,0	0,00
STAŁE1	stałe	277,2	0,0	0,00
ZM_DACH	zmienne	5,0	0,0	0,00
ZM_SCIANY	zmienne	58,9	0,0	0,00

5. Materiał

Rodzaj materiału: **żelbet**

Klasa betonu: C16/20, Klasa stali: $f_{yk}=500$,

6. Stan graniczny I

6.1. Analiza stanu granicznego I dla kombinacji obciążenia nr 4

Literał kombinacji obciążeń:

$$1,35 \cdot CW + 1,35 \cdot STAŁE + 1,35 \cdot STAŁE1 + 1,5 \cdot [ZM_DACH] + 1,5 \cdot 1 \cdot ZM_SCIANY$$

Wymiary podstawy fundamentu rzeczywistego: $B = 1,40$ m, $L = 8,70$ m.

Względny poziom posadowienia: $H = 3,35$ m.

Rodzaj kombinacji obciążenia: podstawowa.

Sytuacja obliczeniowa: trwała.

Zestawienie obciążeń:

Pozycja	Obc. char.	Ex	γ	Obc. obl. G	Mom. obl. M _G
	[kN/m]	[m]	[-]	[kN/m]	[kNm/m]
Fundament	14,00	0,00	1,4(1,0)	18,90	0,00
Grunt - pole 1	35,23	-0,42	1,4(1,0)	47,56	-20,21
Grunt - pole 2	35,23	0,42	1,4(1,0)	47,56	20,21

Obciążenia zewnętrzne od konstrukcji na jednostkę długości fundamentu:

siła pionowa: $N = 538,92$ kN/m, mimośród względem podstawy fund. $E = 0,00$ m,

siła pozioma: $H_x = 0,00$ kN/m, mimośród względem podstawy fund. $E_z = 0,40$ m,

moment: $M_y = 0,00$ kNm/m.

Sprawdzenie położenia wypadkowej obciążenia względem podstawy fundamentu

Obciążenie pionowe:

$$N_r = (N + G) \cdot L = (538,92 + 114,01 \mid 84,45) \cdot 8,70 = 5680,53 \mid 5423,36 \text{ kN.}$$

Moment względem środka podstawy:

$$M_r = (-N \cdot E + H_x \cdot E_z + M_y + M_{Gy}) \cdot L = (-538,92 \cdot 0,00 + 0,00 \mid 0,00) \cdot 8,70 = 0,00 \mid 0,00 \text{ kNm.}$$

Mimośród siły względem środka podstawy:

$$e_r = |M_r / N_r| = 0,00 / 5680,53 = 0,00 \text{ m.}$$

$$e_r = 0,00 \text{ m} < 0,23 \text{ m.}$$

Wniosek: Wypadkowa obciążenia wewnątrz rdzenia podstawy fundamentu.

Sprawdzenie warunku granicznej nośności fundamentu rzeczywistego

Zredukowane wymiary podstawy fundamentu:

$$B' = B - 2 \cdot e_r = 1,40 - 2 \cdot 0,00 = 1,40 \text{ m, } L' = L = 8,70 \text{ m.}$$

Obliczeniowe efektywne naprężenie w poz. posadowienia fund.: $q' = 72,45$ kPa.

Obliczeniowy efektywny ciężar obj. gruntu poniżej posadowienia fund.: $\gamma' = 21,00$ kN/m³.

Współczynniki nośności podłoża:

efektywny kąt tarcia wewnętrznego: $\phi' = 16,33^\circ$,

efektywna spójność: $c' = 27,77$ kPa,

$N_c = 11,86$, $N_q = 4,48$, $N_\gamma = 2,04$,

wykładnik: $m = 0,00$,

$i_c = 1,00$, $i_q = 1,00$, $i_\gamma = 1,00$,

współczynniki kształtu: $s_c = 1,06$, $s_q = 1,05$, $s_\gamma = 0,95$,

$b_c = 1,00$, $b_q = 1,00$, $b_\gamma = 1,00$.

Odpór graniczny podłoża:

$$R = B' \cdot L' \cdot (c' \cdot b_c \cdot s_c \cdot N_{c,i_c} + q' \cdot b_q \cdot s_q \cdot N_{q,i_q} + 0,5 \cdot \gamma' \cdot b_\gamma \cdot s_\gamma \cdot N_{\gamma,i_\gamma}) = 8720,27 \text{ kN.}$$

Nośność podłoża: $R_d = R/\gamma_N = 8720,27/1,40 = 6228,76 \text{ kPa}$.

Sprawdzenie warunku obliczeniowego:

$$N_r = 5680,53 \text{ kN} < R_d = 6228,76 \text{ kN.}$$

Wniosek: warunek nośności jest spełniony.

Sprawdzenie warunku przesunięcia fundamentu rzeczywistego

Całkowite obciążenie poziome fundamentu:

$$H = H_x \cdot L = 0,00 \cdot 8,70 = 0,00 \text{ kN.}$$

Obliczeniowy kąt tarcia jest równy $\delta_k = \varphi' = 16,3^\circ$.

Opór tarcia na podstawie fundamentu: $R_{t,d} = N_r \cdot \tan \delta_k / \gamma_{Rh} = 5680,53 \cdot \tan 16,3^\circ / 1,10 = 1513,36 \text{ kN}$.

Sprawdzenie warunku na przesunięcie:

$$|H| = 0,00 \text{ kN} < R_{t,d} = 1513,36 \text{ kN.}$$

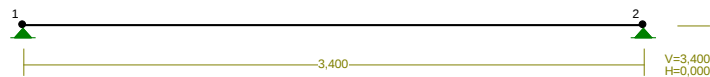
Wniosek: warunek przesunięcia jest spełniony.

Wniosek: warunki wytrzymałościowe zginania ławy są spełnione.

Obliczenia podciągów

Poz. 0.1., Poz. 1.1., Poz. 2.1., Poz. 3.1.,

RM_Win v. 11.114 licencja nr 46201



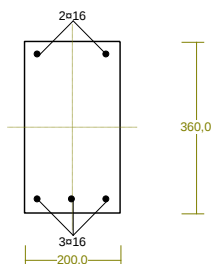
WĘZŁY:

Wyniki wymiarowania elementu żelbetowego wg PN-EN-1992

RM_Zb1992 v. 1.43 licencja nr 46201

Cechy przekroju:

zadanie P-0.1, pręt nr 1, przekrój: $x_a=1,70 \text{ m}$, $x_b=1,70 \text{ m}$



Wymiary przekroju [cm]:

$$h=36,0, \quad b=20,0,$$

Cechy materiałowe dla sytuacji stałej lub przejściowej

BETON: C25/30

$$f_{ck} = 25,0 \text{ MPa}, \quad f_{cd} = \alpha \cdot f_{ck} / \gamma_c = 1,00 \times 25,0 / 1,40 = 17,9 \text{ MPa}$$

Cechy geometryczne przekroju betonowego:

$$A_c = 720 \text{ cm}^2, \quad J_{cy} = 77760 \text{ cm}^4, \quad J_{cz} = 24000 \text{ cm}^4$$

STAL: fyk=400

$$f_{yk} = 400 \text{ MPa}, \quad \gamma_s = 1,15, \quad f_{yd} = 348 \text{ MPa}$$

$$\zeta_{lim}=0,0035/(0,0035+f_{yd}/E_s)=0,0035/(0,0035+348/200000)=0,668,$$

Zbrojenie główne:

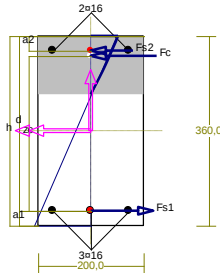
$$A_{s1}+A_{s2}=10,05 \text{ cm}^2, \rho=100 (A_{s1}+A_{s2})/A_c=100 \times 10,05/720=1,40 \%,$$

$$J_{sy}=2323 \text{ cm}^4, J_{sz}=417 \text{ cm}^4,$$

Nośność przekroju prostokątnego:

zadanie P-0.1, pręt nr 1, przekrój: $x_a=1,64 \text{ m}$, $x_b=1,76 \text{ m}$

Obliczenia wykonano dla kombinacji [CW A (a)] grup obciążeń, dla której warunek stanu granicznego nośności przekroju jest najniekorzystniejszy



Wielkości obliczeniowe:

$$N_{Ed}=0,00 \text{ kN},$$

$$M_{Ed}=\sqrt{(M_{Edy}^2 + M_{Edz}^2)} = \sqrt{(-39,88^2 + 0,00^2)} = 39,88 \text{ kNm}$$

$$f_{cd}=17,9 \text{ MPa}, f_{yd}=348 \text{ MPa} = f_{td},$$

Zbrojenie rozciągane: $A_{s1}=6,03 \text{ cm}^2$,

Zbrojenie ściskane: $A_{s2}=4,02 \text{ cm}^2$,

$$A_s=A_{s1}+A_{s2}=10,05 \text{ cm}^2, \rho=100 \times A_s/A_c=100 \times 10,05/720=1,40 \%$$

Wielkości geometryczne [cm]:

$$h=36,0, d=33,2, x=11,1 (\xi=0,334),$$

$$a_1=2,8, a_2=2,8, a_c=3,8, z_c=29,4, A_{cc}=222 \text{ cm}^2,$$

$$\varepsilon_c=-0,56 \text{ ‰}, \varepsilon_{s2}=-0,42 \text{ ‰}, \varepsilon_{s1}=1,11 \text{ ‰},$$

Wielkości statyczne [kN, kNm]:

$$F_c = -100,82, F_{s1} = 134,47, F_{s2} = -33,66,$$

$$M_c = 14,32, M_{s1} = 20,44, M_{s2} = 5,12,$$

Warunek stanu granicznego nośności:

$$M_{Rd} = 65,08 \text{ kNm} > M_{Ed} = M_c + M_{s1} + M_{s2} = 14,32 + (20,44) + (5,12) = 39,88 \text{ kNm}$$

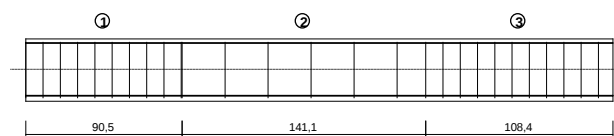
Zbrojenie poprzeczne (strzemiona)

zadanie P-0.1, pręt nr 1

Na całej długości pręta przyjęto strzemiona o średnicy $\phi=6 \text{ mm}$ ze stali $f_{yk}=500$, dla której $f_{ywd} = 435 \text{ MPa}$.

Minimalny stopień zbrojenia na ścinanie:

$$\rho_{w,min} = 0,08 \sqrt{f_{ck}} / f_{yk} = 0,08 \times \sqrt{25} / 400 = 0,00100$$



Rozstaw strzemion:

Strefa nr 1

Początek i koniec strefy: $x_a = 0,0$ $x_b = 90,5 \text{ cm}$

Maksymalny podłużny rozstaw strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 332 \times (1 + 0,000) = 249$$

przyjęto $s_{l,max} = 249 \text{ mm}$.

Maksymalny poprzeczny rozstaw ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 332 = 249$$

$$s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{b,max} = 249 \text{ mm}$.

Maksymalny rozstawy strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm.}$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{200,0; 360,0\} = 200,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

$$\text{przyjęto } s_{cl,max} = 200,0 \text{ mm.}$$

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 120,0 \text{ mm}$.

Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **10,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 0,57 / (10,0 \times 20,0 \times 1,000) = 0,00283$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00283} > \mathbf{0,00100} = \rho_{w \min}$$

Strefa nr 2

Początek i koniec strefy: $x_a = 90,5$ $x_b = 231,6$ cm

Maksymalny podłużny rozstawy strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 332 \times (1 + 0,000) = 249$$

$$\text{przyjęto } s_{l,max} = 249 \text{ mm.}$$

Maksymalny poprzeczny rozstawy ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 332 = 249 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

$$\text{przyjęto } s_{b,max} = 249 \text{ mm.}$$

Maksymalny rozstawy strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm.}$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{200,0; 360,0\} = 200,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

$$\text{przyjęto } s_{cl,max} = 200,0 \text{ mm.}$$

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 120,0 \text{ mm}$.

Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **24,9** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 0,57 / (24,9 \times 20,0 \times 1,000) = 0,00114$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00114} > \mathbf{0,00100} = \rho_{w \min}$$

Strefa nr 3

Początek i koniec strefy: $x_a = 231,6$ $x_b = 340,0$ cm

Maksymalny podłużny rozstawy strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 332 \times (1 + 0,000) = 249$$

$$\text{przyjęto } s_{l,max} = 249 \text{ mm.}$$

Maksymalny poprzeczny rozstawy ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 332 = 249 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

$$\text{przyjęto } s_{b,max} = 249 \text{ mm.}$$

Maksymalny rozstawy strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm.}$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{200,0; 360,0\} = 200,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

$$\text{przyjęto } s_{cl,max} = 200,0 \text{ mm.}$$

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 120,0 \text{ mm}$.

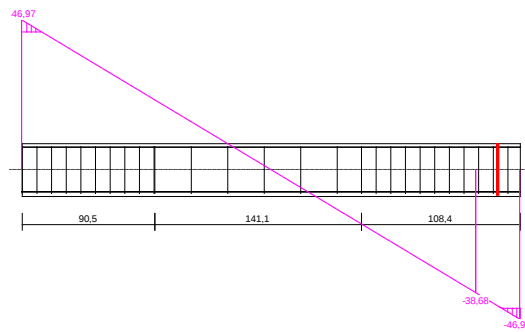
Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **10,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 0,57 / (10,0 \times 20,0 \times 1,000) = 0,00283$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00283} > \mathbf{0,00100} = \rho_{w \min}$$

Ścinanie

zadanie P-0.1, pręt nr 1, przekrój: $x_a = 3,25$ m, $x_b = 0,15$ m, obciążenia: CW A (a)



Siły przekrojowe: $N_{Ed} = 0,00$;
 $V_{Ed} = -42,83 \text{ kN}$

Nośność elementów niewymagających zbrojenia na ścinanie:

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \frac{6,03}{20,0 \times 33,2} = 0,00908; \quad \rho_l \leq 0,02$$

Przyjęto $\rho_l = 0,00908$.

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0,00 / 720,00 \times 10 = 0,00 \text{ MPa} \quad \sigma_{cp} \leq 0,2 f_{cd} = 3,58 \text{ MPa}$$

Przyjęto $\sigma_{cp} = 0,00 \text{ MPa}$.

$$k = 1 + \sqrt{200/d} = 1 + \sqrt{200/332,0} = 1,776 \quad k \leq 2,0$$

Przyjęto $k = 1,776$

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18/1,4 = 0,129$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,035 \times 1,776^{3/2} \times 25^{1/2} = 0,414$$

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d =$$

$$= [0,129 \times 1,776 \times (100 \times 0,00908 \times 25)^{1/3} + 0,15 \times 0,00] \times 20,0 \times 33,2 \times 10^{-1} = 42,94 \text{ kN}$$

lecz nie mniej niż

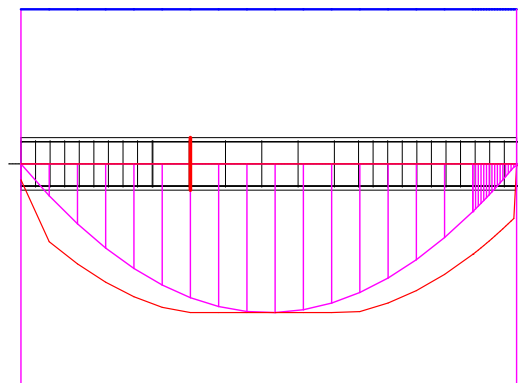
$$V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d = (0,414 + 0,15 \times 0,00) \times 20,0 \times 33,2 \times 10^{-1} = 27,51 \text{ kN}$$

Przyjęto $V_{Rd,c} = 42,94 \text{ kN}$

$$V_{Ed} = 42,83 < 42,94 = V_{Rd,c}$$

Nośność zbrojenia podłużnego

zadanie P-0.1, pręt nr 1, obciążenia: CW A (a)



Sprawdzenie siły przenoszanej przez zbrojenie rozciągane dla $x = 1,163 \text{ m}$:

$$\Delta F_{td} = 0,5 |V_{Ed}| (\cot \theta - \cot \alpha) = 0,5 \times 14,85 \times (1,997 - 0,000) = 14,85 \text{ kN}$$

Sumaryczna siła w zbrojeniu rozciągany:

$$F_{td} = F_{td,m} + \Delta F_{td} = 121,11 + 14,85 = 135,96 \text{ kN};$$

$$F_{td} \leq F_{td,max} = 134,55 \text{ kN}$$

Przyjęto $F_{td} = 134,55 \text{ kN}$

$$F_{td} = 134,55 < 209,80 = 6,03 \times 348 \times 10^{-1} = A_s f_{yd}$$

Ograniczenie naprężeń (SGU)

zadanie P-0.1, pręt nr 1, przekrój: $x_a=1,74 \text{ m}$, $x_b=1,66 \text{ m}$, obciążenia: CW A

Ograniczenie naprężeń w betonie od charakterystycznej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia rys podłużnych, mikrorys i wysokiego pełzania:

$$\sigma_{ck} = 6,265 < 25,000 = 1,00 \times 25,0 = k_1 f_{ck}$$

Ograniczenie naprężeń w betonie od quasi-stałej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia pełzania nieliniowego:

$$\sigma_{cqs} = 6,265 < 11,250 = 0,45 \times 25,0 = k_2 f_{ck}$$

Ograniczenie naprężeń rozciągających w zbrojeniu od charakterystycznej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia niedopuszczalnego zarysowania lub deformacji:

$$\sigma_{sk} = 147,123 < 320,000 = 0,80 \times 400 = k_3 f_{yk}$$

Zarysowanie

zadanie P-0.1, pręt nr 1, obciążenia: CW A

Położenie przekroju:

$$x = 1,744 \text{ m}$$

Siły przekrojowe od obc. quasi-stałych:

$$M_{Ed} = 26,86 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 0,00 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = -0,81 \text{ kN}$$

Wymiary przekroju:

$$b_w = 20,0 \text{ cm}$$

$$d = h - a_1 = 36,0 - 2,8 = 33,2 \text{ cm}$$

$$A_c = 720 \text{ cm}^2$$

$$W_c = 4320 \text{ cm}^3$$

Minimalne zbrojenie:

Wymagane pole zbrojenia rozciąganego dla zginania, przy naprężeniach wywołanych przyczynami zewnętrznymi:

$$\sigma_c = N_{Ed} / bh = 0,00 / (20,0 \times 36,0) \times 10 = 0,000 \text{ Mpa}$$

$$k_c = 0,4 \left(1 - \frac{\sigma_c}{k_1 h / h^* f_{ct,eff}} \right) = 0,4 \times [1 - 0,000 / (0,800 \times 36,0 / 36,0 \times 2,60)] = 0,400; \quad k_c \leq 1,0$$

$$A_{s,min} = k_c k f_{ct,eff} A_{ct} / \sigma_s = 0,400 \times 1,0 \times 2,60 \times 360 / 400 = 0,94 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 6,03 > 0,94 = A_{s,min}$$

Zarysowanie:

$$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 2,6 \times 4320 \times 10^{-3} = 11,23 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 26,86 > 11,23 = M_{cr}$$

Przekrój zarysowany.

Szerokość rozwarcia rysy prostopadłej do osi pręta:

Przyjęto $k_2 = 0,500$.

$$\rho_{p,eff} = A_s / A_{c,eff} = 6,03 / 140 = 0,04308$$

Dla rozstawu prętów zbrojenia wynoszącego 72 mm, który jest nie większy niż $5(c+\phi/2)$

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff} = 3,400 \times 20,0 + 0,800 \times 0,500 \times 0,425 \times 16 / 0,04308 = 131,13 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = [\sigma_s - k_t f_{ct,eff} / \rho_{p,eff} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})] / E_s =$$

$$= [151,3 - 0,400 \times 2,60 / 0,04308 \times (1 + 200000 / 31000 \times 0,04308)] / 200000 = 0,00060$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} \leq 0,6 \sigma_s / E_s = 0,6 \times 151,3 / 200000 = 0,00045$$

Przejęto $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,00060$.

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 131,13 \times 0,00060 = 0,08 \text{ mm}$$

$$w_k = \mathbf{0,08} < \mathbf{0,4} = w_{lim}$$

Ugięcia

zadanie P-0.1, pręt nr 1, obciążenia: CW A

Ugięcia wyznaczono dla obciążeń quasi-stałych.

Współczynniki pełzania dla obciążeń długotrwałych przyjęto równy $\phi(\infty, t_0) = 2,00$.

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \phi(\infty, t_0)} = \frac{31000}{1 + 2,00} = 10333 \text{ MPa}$$

Moment rysujący:

$$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 2,6 \times 4320 \times 10^{-3} = 11,23 \text{ kNm}$$

Całkowity moment zginający $M_{Ed} = 26,86 \text{ kN}$ powoduje zarysowanie przekroju.

Sztywność elementu z uwzględnieniem pełzania betonu:

Sztywność na zginanie wyznaczona dla momentu $M = 26,86 \text{ kNm}$.

Wielkości geometryczne przekroju: $x_I = 18,6 \text{ cm}$ $I_I = 122332 \text{ cm}^4$
 $x_{II} = 12,7 \text{ cm}$ $I_{II} = 70346 \text{ cm}^4$

Sztywność elementu niezarysowanego:

$$B_I = E_{c,eff} I_I = 10333 \times 122332 \times 10^{-5} = 12641 \text{ kNm}^2$$

Sztywność elementu w pełni zarysowanego:

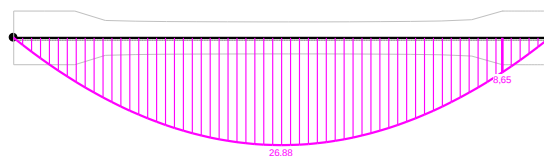
$$B_{II} = E_{c,eff} I_{II} = 10333 \times 70346 \times 10^{-5} = 7269 \text{ kNm}^2$$

Sztywność elementu:

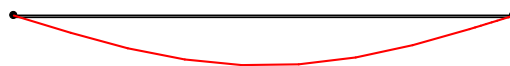
$$\zeta = 1 - \beta (\sigma_s / \sigma_s)^2 = 1 - \beta (M_{cr} / M)^2 = 1 - 0,50 \times (11,23 / 26,86)^2 = 0,913$$

$$1/B = \zeta 1/B_{II} + (1 - \zeta) 1/B_I$$

$$B = \frac{B_{II}}{\zeta + (1 - \zeta) B_{II} / B_I} = \frac{7269}{0,913 + (1 - 0,913) \times 7269 / 12641} = 7550 \text{ kNm}^2$$



Wykres sztywności i momentów dla obciążeń quasi-stałych.



Ugięcia.

Ugięcie w punkcie o współrzędnej $x = 1,647 \text{ m}$, wyznaczone poprzez całkowanie funkcji krzywizny osi pręta ($1/\rho$) z uwzględnieniem zmiany sztywności wzdłuż osi elementu, wynosi:

$$a = a_{\infty,d} = 4,2 \text{ mm}$$

$$a = \mathbf{4,2} < \mathbf{13,6} = a_{lim}$$

Poz. 0.2.

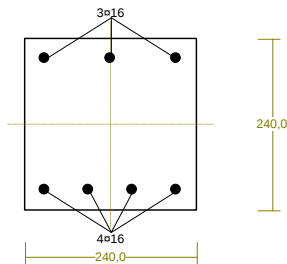
WEZŁY:



Wyniki wymiarowania elementu żelbetowego wg PN-EN-1992

Cechy przekroju:

zadanie P-0.2, pręt nr 1, przekrój: $x_a=1,56$ m, $x_b=1,56$ m



Wymiary przekroju [cm]:

$$h=240,0, \quad b=240,0,$$

Cechy materiałowe dla sytuacji stałej lub przejściowej

BETON: C25/30

$$f_{ck}=25,0 \text{ MPa}, \quad f_{cd}=\alpha \cdot f_{ck} / \gamma_c = 1,00 \times 25,0 / 1,40 = 17,9 \text{ MPa}$$

Cechy geometryczne przekroju betonowego:

$$A_c=576 \text{ cm}^2, \quad J_{cy}=27648 \text{ cm}^4, \quad J_{cz}=27648 \text{ cm}^4$$

STAL: $f_{yk}=400$

$$f_{yk}=400 \text{ MPa}, \quad \gamma_s=1,15, \quad f_{yd}=348 \text{ MPa}$$

$$\zeta_{lim}=0,0035 / (0,0035 + f_{yd} / E_s) = 0,0035 / (0,0035 + 348 / 200000) = 0,668,$$

Zbrojenie główne:

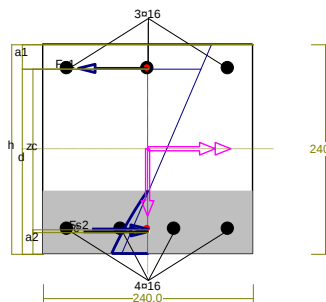
$$A_{s1}+A_{s2}=14,07 \text{ cm}^2, \quad \rho=100 (A_{s1}+A_{s2}) / A_c = 100 \times 14,07 / 576 = 2,44 \%,$$

$$J_{sy}=1191 \text{ cm}^4, \quad J_{sz}=719 \text{ cm}^4,$$

Nośność przekroju prostokątnego:

zadanie P-0.2, pręt nr 1, przekrój: $x_a=3,12$ m, $x_b=0,00$ m

Obliczenia wykonano dla kombinacji [CW A (a)] grup obciążeń, dla której warunek stanu granicznego nośności przekroju jest najniekorzystniejszy



Wielkości obliczeniowe:

$$N_{Ed}=0,00 \text{ kN},$$

$$M_{Ed}=\sqrt{(M_{Edy}^2 + M_{Edz}^2)} = \sqrt{(30,07^2 + 0,00^2)} = 30,07 \text{ kNm}$$

$$f_{cd}=17,9 \text{ MPa}, \quad f_{yd}=348 \text{ MPa} = f_{td},$$

Zbrojenie rozciągane: $A_{s1}=6,03 \text{ cm}^2$,

Zbrojenie ściskane: $A_{s2}=8,04 \text{ cm}^2$,

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 14,07 \text{ cm}^2, \rho = 100 \times A_s / A_c = 100 \times 14,07 / 576 = 2,44 \%$$

Wielkości geometryczne [cm]:

$$h = 24,0, d = 21,2, x = 7,2 (\xi = 0,339),$$

$$a_1 = 2,8, a_2 = 2,8, a_c = 2,5, z_c = 18,7, A_{cc} = 173 \text{ cm}^2,$$

$$\varepsilon_c = -0,69 \text{ ‰}, \varepsilon_{s2} = -0,42 \text{ ‰}, \varepsilon_{s1} = 1,34 \text{ ‰},$$

Wielkości statyczne [kN, kNm]:

$$F_c = -94,16, F_{s1} = 161,78, F_{s2} = -67,63,$$

$$M_c = 8,97, M_{s1} = 14,88, M_{s2} = 6,22,$$

Warunek stanu granicznego nośności:

$$M_{Rd} = \mathbf{40,24 \text{ kNm}} > M_{Ed} = M_c + M_{s1} + M_{s2} = 8,97 + (14,88) + (6,22) = \mathbf{30,07 \text{ kNm}}$$

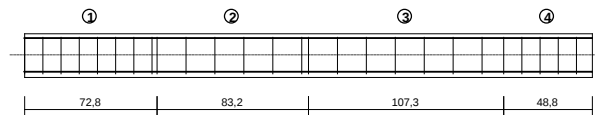
Zbrojenie poprzeczne (strzemiona)

zadanie P-0.2, pręt nr 1

Na całej długości pręta przyjęto strzemiona o średnicy $\phi = 6 \text{ mm}$ ze stali $f_{yk} = 400$, dla której $f_{ywd} = 348 \text{ MPa}$.

Minimalny stopień zbrojenia na ścinanie:

$$\rho_{w,min} = 0,08 \sqrt{f_{ck}} / f_{yk} = 0,08 \times \sqrt{25} / 400 = 0,00100$$



Rozstaw strzemion:

Strefa nr 1

Początek i koniec strefy: $x_a = 0,0$ $x_b = 72,8 \text{ cm}$

Maksymalny podłużny rozstaw strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 212 \times (1 + 0,000) = 159$$

przyjęto $s_{l,max} = 159 \text{ mm}$.

Maksymalny poprzeczny rozstaw ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 212 = 159 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{b,max} = 159 \text{ mm}$.

Maksymalny rozstaw strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm}.$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{240,0; 240,0\} = 240,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{cl,max} = 240,0 \text{ mm}$.

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 144,0 \text{ mm}$.

Przyjęto strzemiona 3-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **10,0 cm**, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 0,85 / (10,0 \times 24,0 \times 1,000) = 0,00353$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00353} > \mathbf{0,00100} = \rho_{w,min}$$

Strefa nr 2

Początek i koniec strefy: $x_a = 72,8$ $x_b = 156,0 \text{ cm}$

Maksymalny podłużny rozstaw strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 212 \times (1 + 0,000) = 159$$

przyjęto $s_{l,max} = 159 \text{ mm}$.

Maksymalny poprzeczny rozstaw ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 212 = 159 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{b,max} = 159 \text{ mm}$.

Maksymalny rozstaw strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm}.$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{240,0; 240,0\} = 240,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

$$\text{przyjęto } s_{cl,max} = 240,0 \text{ mm.}$$

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 144,0 \text{ mm}$.

Przyjęto strzemiona 3-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **15,9** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 0,85 / (15,9 \times 24,0 \times 1,000) = 0,00222$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00222} > \mathbf{0,00100} = \rho_{w \min}$$

Strefa nr 3

Początek i koniec strefy: $x_a = 156,0$ $x_b = 263,3$ cm

Maksymalny podłużny rozstaw strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 212 \times (1 + 0,000) = 159$$

$$\text{przyjęto } s_{l,max} = 159 \text{ mm.}$$

Maksymalny poprzeczny rozstaw ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 212 = 159 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

$$\text{przyjęto } s_{b,max} = 159 \text{ mm.}$$

Maksymalny rozstaw strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm.}$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{240,0; 240,0\} = 240,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

$$\text{przyjęto } s_{cl,max} = 240,0 \text{ mm.}$$

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 144,0 \text{ mm}$.

Przyjęto strzemiona 3-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **15,9** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 0,85 / (15,9 \times 24,0 \times 1,000) = 0,00222$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00222} > \mathbf{0,00100} = \rho_{w \min}$$

Strefa nr 4

Początek i koniec strefy: $x_a = 263,3$ $x_b = 312,0$ cm

Maksymalny podłużny rozstaw strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 212 \times (1 + 0,000) = 159$$

$$\text{przyjęto } s_{l,max} = 159 \text{ mm.}$$

Maksymalny poprzeczny rozstaw ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 212 = 159 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

$$\text{przyjęto } s_{b,max} = 159 \text{ mm.}$$

Maksymalny rozstaw strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm.}$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{240,0; 240,0\} = 240,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

$$\text{przyjęto } s_{cl,max} = 240,0 \text{ mm.}$$

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 144,0 \text{ mm}$.

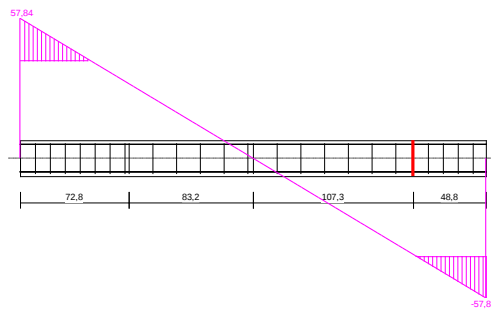
Przyjęto strzemiona 3-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **10,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 0,85 / (10,0 \times 24,0 \times 1,000) = 0,00353$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00353} > \mathbf{0,00100} = \rho_{w \min}$$

Ścinanie

zadanie P-0.2, pręt nr 1, przekrój: $x_a = 2,63$ m, $x_b = 0,49$ m, obciążenia: CW A (a)



Siły przekrojowe: $N_{Ed} = 0,00$;
 $V_{Ed} = -39,76 \text{ kN}$

Nośność elementów niewymagających zbrojenia na ścinanie:

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \frac{6,03}{24,0 \times 21,2} = 0,01186; \quad \rho_l \leq 0,02$$

Przyjęto $\rho_l = 0,01186$.

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0,00 / 576,00 \times 10 = 0,00 \text{ MPa} \quad \sigma_{cp} \leq 0,2 f_{cd} = 3,58 \text{ MPa}$$

Przyjęto $\sigma_{cp} = 0,00 \text{ MPa}$.

$$k = 1 + \sqrt{200/d} = 1 + \sqrt{200/212,0} = 1,971 \quad k \leq 2,0$$

Przyjęto $k = 1,971$

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18/1,4 = 0,129$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,035 \times 1,971^{3/2} \times 25^{1/2} = 0,484$$

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d =$$

$$= [0,129 \times 1,971 \times (100 \times 0,01186 \times 25)^{1/3} + 0,15 \times 0,00] \times 24,0 \times 21,2 \times 10^{-1} = 39,91 \text{ kN}$$

lecz nie mniej niż

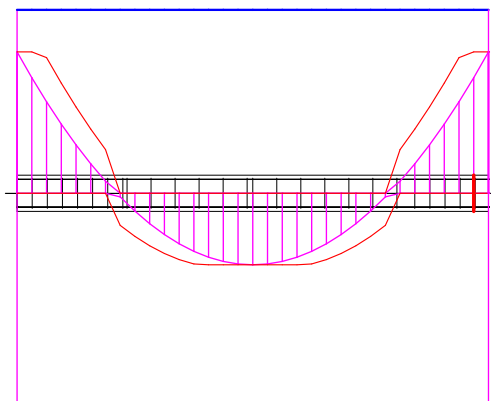
$$V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d = (0,484 + 0,15 \times 0,00) \times 24,0 \times 21,2 \times 10^{-1} = 24,64 \text{ kN}$$

Przyjęto $V_{Rd,c} = 39,91 \text{ kN}$

$$V_{Ed} = 39,76 < 39,91 = V_{Rd,c}$$

Nośność zbrojenia podłużnego

zadanie P-0.2, pręt nr 1, obciążenia: CW A (a)



Sprawdzenie siły przenoszonej przez zbrojenie rozciągane dla $x = 3,022 \text{ m}$:

$$\Delta F_{td} = 0,5 |V_{Ed}| (\cot \theta - \cot \alpha) = 0,5 \times 54,22 \times (1,997 - 0,000) = 54,14 \text{ kN}$$

Sumaryczna siła w zbrojeniu rozciągany:

$$F_{td} = F_{td,m} + \Delta F_{td} = 132,26 + 54,14 = 186,39 \text{ kN};$$

$$F_{td} \leq F_{td,max} = 161,78 \text{ kN}$$

Przyjęto $F_{td} = 161,78 \text{ kN}$

$$F_{td} = 161,78 < 209,80 = 6,03 \times 348 \times 10^{-1} = A_s f_{yd}$$

Ograniczenie naprężeń (SGU)

zadanie P-0.2, pręt nr 1, przekrój: $x_a=3,12 \text{ m}$, $x_b=0,00 \text{ m}$, obciążenia: CW A

Ograniczenie naprężeń w betonie od charakterystycznej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia rys podłużnych, mikrorys i wysokiego pełzania:

$$\sigma_{ck} = 7,888 < 25,000 = 1,00 \times 25,0 = k_1 f_{ck}$$

Ograniczenie naprężeń rozciągających w zbrojeniu od charakterystycznej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia niedopuszczalnego zarysowania lub deformacji:

$$\sigma_{sk} = 176,108 < 320,000 = 0,80 \times 400 = k_3 f_{yk}$$

Zarysowanie

zadanie P-0.2, pręt nr 1, obciążenia: CW A

Położenie przekroju:

$$x = 3,120 \text{ m}$$

Siły przekrojowe od obc. quasi-stałych:

$$M_{Ed} = -20,17 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 0,00 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = -38,78 \text{ kN}$$

Wymiary przekroju:

$$b_w = 24,0 \text{ cm}$$

$$d = h - a_1 = 24,0 - 2,8 = 21,2 \text{ cm}$$

$$A_c = 576 \text{ cm}^2$$

$$W_c = 2304 \text{ cm}^3$$

Minimalne zbrojenie:

Wymagane pole zbrojenia rozciąganego dla zginania, przy naprężeniach wywołanych przyczynami zewnętrznymi:

$$\sigma_c = N_{Ed} / bh = 0,00 / (24,0 \times 24,0) \times 10 = 0,000 \text{ Mpa}$$

$$k_c = 0,4 \left(1 - \frac{\sigma_c}{k_1 h / h^* f_{ct,eff}} \right) = 0,4 \times [1 - 0,000 / (0,800 \times 24,0 / 24,0 \times 2,60)] = 0,400; \quad k_c \leq 1,0$$

$$A_{s,min} = k_c k f_{ct,eff} A_{ct} / \sigma_s = \\ = 0,400 \times 1,0 \times 2,60 \times 288 / 400 = 0,75 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 6,03 > 0,75 = A_{s,min}$$

Zarysowanie:

$$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 2,6 \times 2304 \times 10^{-3} = 5,99 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 20,17 > 5,99 = M_{cr}$$

Przekrój zarysowany.

Szerokość rozwarcia rysy prostopadłej do osi pręta:

Przyjęto $k_2 = 0,500$.

$$\rho_{p,eff} = A_s / A_{c,eff} = 6,03 / 129 = 0,04689$$

Dla rozstawu prętów zbrojenia wynoszącego 92 mm, który jest nie większy niż $5(c+\phi/2)$

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff} = 3,400 \times 20,0 + 0,800 \times 0,500 \times 0,425 \times 16 / 0,04689 = 126,00 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = [\sigma_s - k_t f_{ct,eff} / \rho_{p,eff} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})] / E_s = \\ = [180,9 - 0,400 \times 2,60 / 0,04689 \times (1 + 200000 / 31000 \times 0,04689)] / 200000 = 0,00076$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} \leq 0,6 \sigma_s / E_s = 0,6 \times 180,9 / 200000 = 0,00054$$

Przejęto $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,00076$.

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 126,00 \times 0,00076 = 0,10 \text{ mm}$$

$$w_k = 0,10 < 0,4 = w_{lim}$$

Ugięcia

zadanie P-0.2, pręt nr 1, obciążenia: CW A

Ugięcia wyznaczono dla obciążeń quasi-stałych.

Współczynniki pełzania dla obciążeń długotrwałych przyjęto równy $\phi(\infty, t_0) = 2,00$.

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \phi(\infty, t_0)} = \frac{31000}{1 + 2,000} = 10333 \text{ MPa}$$

Moment rysujący:

$$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 2,6 \times 2304 \times 10^{-3} = 5,99 \text{ kNm}$$

Całkowity moment zginający $M_{Ed} = -20,17 \text{ kN}$ powoduje zarysowanie przekroju.

Sztywność elementu z uwzględnieniem pełzania betonu:

Sztywność na zginanie wyznaczona dla momentu $M = -20,17 \text{ kNm}$.

Wielkości geometryczne przekroju:

$$x_I = 11,6 \text{ cm} \quad I_I = 50553 \text{ cm}^4$$

$$x_{II} = 7,9 \text{ cm} \quad I_{II} = 28644 \text{ cm}^4$$

Sztywność elementu niezarysowanego:

$$B_I = E_{c,eff} I_I = 10333 \times 50553 \times 10^{-5} = 5224 \text{ kNm}^2$$

Sztywność elementu w pełni zarysowanego:

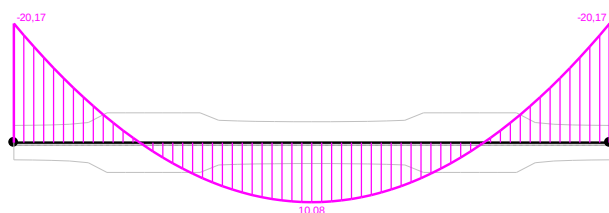
$$B_{II} = E_{c,eff} I_{II} = 10333 \times 28644 \times 10^{-5} = 2960 \text{ kNm}^2$$

Sztywność elementu:

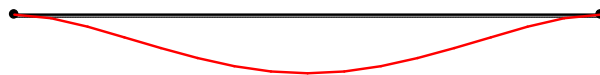
$$\zeta = 1 - \beta (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2 = 1 - \beta (M_{cr} / M)^2 = 1 - 0,50 \times (5,99/20,17)^2 = 0,956$$

$$1/B = \zeta 1/B_{II} + (1-\zeta) 1/B_I$$

$$B = \frac{B_{II}}{\zeta + (1-\zeta) B_{II} / B_I} = \frac{2960}{0,956 + (1-0,956) \times 2960/5224} = 3018 \text{ kNm}^2$$



Wykres sztywności i momentów dla obciążeń quasi-stałych.



Ugięcia.

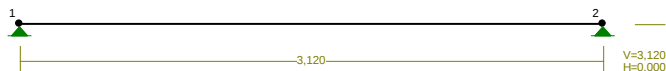
Ugięcie w punkcie o współrzędnej $x = 1,560 \text{ m}$, wyznaczone poprzez całkowanie funkcji krzywizny osi pręta ($1/\rho$) z uwzględnieniem zmiany sztywności wzdłuż osi elementu, wynosi:

$$a = a_{\infty,d} = 1,8 \text{ mm}$$

$$a = 1,8 < 12,5 = a_{lim}$$

Poz. 1.2.

WEZŁY:

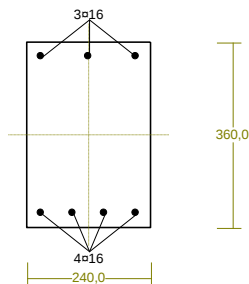


Wyniki wymiarowania elementu żelbetowego wg PN-EN-1992

RM_Zb1992 v. 1.43 licencja nr 46201

Cechy przekroju:

zadanie P-1.2, pręt nr 1, przekrój: $x_a=1,56$ m, $x_b=1,56$ m



Wymiary przekroju [cm]:

$$h=36,0, \quad b=24,0,$$

Cechy materiałowe dla sytuacji stałej lub przejściowej

BETON: C25/30

$$f_{ck}=25,0 \text{ MPa}, \quad f_{cd}=\alpha \cdot f_{ck} / \gamma_c = 1,00 \times 25,0 / 1,40 = 17,9 \text{ MPa}$$

Cechy geometryczne przekroju betonowego:

$$A_c=864 \text{ cm}^2, \quad J_{cy}=93312 \text{ cm}^4, \quad J_{cz}=41472 \text{ cm}^4$$

STAL: $f_{yk}=500$

$$f_{yk}=500 \text{ MPa}, \quad \gamma_s=1,15, \quad f_{yd}=435 \text{ MPa}$$

$$\zeta_{lim}=0,0035 / (0,0035 + f_{yd} / E_s) = 0,0035 / (0,0035 + 435 / 200000) = 0,617,$$

Zbrojenie główne:

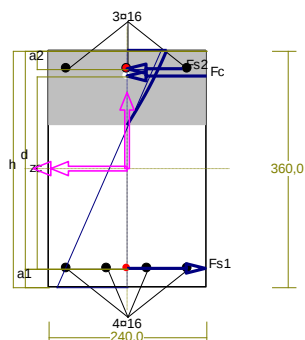
$$A_{s1}+A_{s2}=14,07 \text{ cm}^2, \quad \rho=100 (A_{s1}+A_{s2}) / A_c = 100 \times 14,07 / 864 = 1,63 \%,$$

$$J_{sy}=3252 \text{ cm}^4, \quad J_{sz}=719 \text{ cm}^4,$$

Nośność przekroju prostokątnego:

zadanie P-1.2, pręt nr 1, przekrój: $x_a=1,48$ m, $x_b=1,64$ m

Obliczenia wykonano dla kombinacji [CW A (a)] grup obciążeń, dla której warunek stanu granicznego nośności przekroju jest najniekorzystniejszy



Wielkości obliczeniowe:

$$N_{Ed}=0,00 \text{ kN},$$

$$M_{Ed}=\sqrt{(M_{Edy})^2 + (M_{Edz})^2} = \sqrt{(-61,26^2 + 0,00^2)} = 61,26 \text{ kNm}$$

$$f_{cd}=17,9 \text{ MPa}, \quad f_{yd}=435 \text{ MPa} = f_{td},$$

Zbrojenie rozciągane: $A_{s1}=8,04 \text{ cm}^2$,

Zbrojenie ściskane: $A_{s2}=6,03 \text{ cm}^2$,

$$A_s=A_{s1}+A_{s2}=14,07 \text{ cm}^2, \rho=100 \times A_s/A_c=100 \times 14,07/864=1,63 \%$$

Wielkości geometryczne [cm]:

$$h=36,0, d=33,2, x=11,4 (\xi=0,343),$$

$$a_1=2,8, a_2=2,8, a_c=3,9, z_c=29,3, A_{cc}=273 \text{ cm}^2,$$

$$\varepsilon_c=-0,67 \text{ ‰}, \varepsilon_{s2}=-0,51 \text{ ‰}, \varepsilon_{s1}=1,29 \text{ ‰},$$

Wielkości statyczne [kN, kNm]:

$$F_c=-145,79, F_{s1}=206,84, F_{s2}=-61,06,$$

$$M_c=20,53, M_{s1}=31,44, M_{s2}=9,28,$$

Warunek stanu granicznego nośności:

$$M_{Rd}=107,61 \text{ kNm} > M_{Ed}=M_c+M_{s1}+M_{s2}=20,53+(31,44)+(9,28)=61,26 \text{ kNm}$$

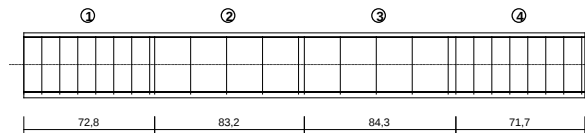
Zbrojenie poprzeczne (strzemiona)

zadanie P-1.2, pręt nr 1

Na całej długości pręta przyjęto strzemiona o średnicy $\phi=6 \text{ mm}$ ze stali $f_{yk}=400$, dla której $f_{ywd}=348 \text{ MPa}$.

Minimalny stopień zbrojenia na ścinanie:

$$\rho_{w,min}=0,08 \sqrt{f_{ck}} / f_{yk}=0,08 \times \sqrt{25} / 500=0,00080$$



Rozstaw strzemion:

Strefa nr 1

Początek i koniec strefy: $x_a=0,0 \quad x_b=72,8 \text{ cm}$

Maksymalny podłużny rozstaw strzemion dla belek:

$$s_{l,max}=0,75 d (1+\cot \alpha)=0,75 \times 332 \times (1+0,000)=249$$

przyjęto $s_{l,max}=249 \text{ mm}$.

Maksymalny poprzeczny rozstaw ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max}=0,75 d=0,75 \times 332=249 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{b,max}=249 \text{ mm}$.

Maksymalny rozstaw strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max}=20 \phi=20 \times 16,0=320,0 \text{ mm}.$$

$$s_{cl,max}=\min\{h; b\}=\min\{240,0; 360,0\}=240,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{cl,max}=240,0 \text{ mm}$.

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max}=144,0 \text{ mm}$.

Przyjęto strzemiona 3-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **10,0 cm**, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w=A_{sw}/(s b_w \sin \alpha)=0,85 / (10,0 \times 24,0 \times 1,000)=0,00353$$

$$\rho_w=0,00353 > 0,00080 = \rho_{w,min}$$

Strefa nr 2

Początek i koniec strefy: $x_a=72,8 \quad x_b=156,0 \text{ cm}$

Maksymalny podłużny rozstaw strzemion dla belek:

$$s_{l,max}=0,75 d (1+\cot \alpha)=0,75 \times 332 \times (1+0,000)=249$$

przyjęto $s_{l,max}=249 \text{ mm}$.

Maksymalny poprzeczny rozstaw ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max}=0,75 d=0,75 \times 332=249 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{b,max}=249 \text{ mm}$.

Maksymalny rozstaw strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm.}$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{240,0; 360,0\} = 240,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

$$\text{przyjęto } s_{cl,max} = 240,0 \text{ mm.}$$

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 144,0 \text{ mm}$.

Przyjęto strzemiona 3-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **20,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 0,85 / (20,0 \times 24,0 \times 1,000) = 0,00177$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00177} > \mathbf{0,00080} = \rho_{w \min}$$

Strefa nr 3

Początek i koniec strefy: $x_a = 156,0$ $x_b = 240,3$ cm

Maksymalny podłużny rozstaw strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 332 \times (1 + 0,000) = 249$$

$$\text{przyjęto } s_{l,max} = 249 \text{ mm.}$$

Maksymalny poprzeczny rozstaw ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 332 = 249 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

$$\text{przyjęto } s_{b,max} = 249 \text{ mm.}$$

Maksymalny rozstaw strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm.}$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{240,0; 360,0\} = 240,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

$$\text{przyjęto } s_{cl,max} = 240,0 \text{ mm.}$$

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 144,0 \text{ mm}$.

Przyjęto strzemiona 3-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **20,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 0,85 / (20,0 \times 24,0 \times 1,000) = 0,00177$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00177} > \mathbf{0,00080} = \rho_{w \min}$$

Strefa nr 4

Początek i koniec strefy: $x_a = 240,3$ $x_b = 312,0$ cm

Maksymalny podłużny rozstaw strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 332 \times (1 + 0,000) = 249$$

$$\text{przyjęto } s_{l,max} = 249 \text{ mm.}$$

Maksymalny poprzeczny rozstaw ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 332 = 249 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

$$\text{przyjęto } s_{b,max} = 249 \text{ mm.}$$

Maksymalny rozstaw strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm.}$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{240,0; 360,0\} = 240,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

$$\text{przyjęto } s_{cl,max} = 240,0 \text{ mm.}$$

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 144,0 \text{ mm}$.

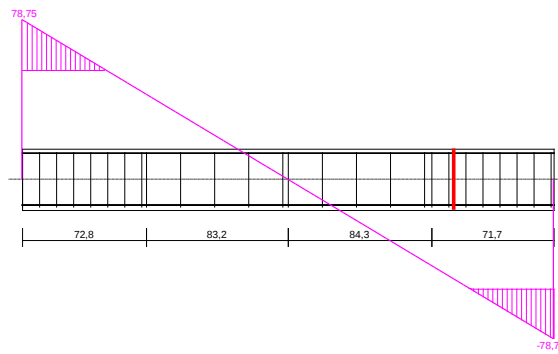
Przyjęto strzemiona 3-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **10,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 0,85 / (10,0 \times 24,0 \times 1,000) = 0,00353$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00353} > \mathbf{0,00080} = \rho_{w \min}$$

Ścinanie

zadanie P-1.2, pręt nr 1, przekrój: $x_a = 2,54$ m, $x_b = 0,58$ m, obciążenia: CW A (a)



Siły przekrojowe: $N_{Ed} = 0,00$;
 $V_{Ed} = -49,22 \text{ kN}$

Nośność elementów niewymagających zbrojenia na ścinanie:

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \frac{8,04}{24,0 \times 33,2} = 0,01009; \quad \rho_l \leq 0,02$$

Przyjęto $\rho_l = 0,01009$.

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_C = 0,00 / 864,00 \times 10 = 0,00 \text{ MPa} \quad \sigma_{cp} \leq 0,2 f_{cd} = 3,58 \text{ MPa}$$

Przyjęto $\sigma_{cp} = 0,00 \text{ MPa}$.

$$k = 1 + \sqrt{200/d} = 1 + \sqrt{200/332,0} = 1,776 \quad k \leq 2,0$$

Przyjęto $k = 1,776$

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18/1,4 = 0,129$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,035 \times 1,776^{3/2} \times 25^{1/2} = 0,414$$

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d =$$

$$= [0,129 \times 1,776 \times (100 \times 0,01009 \times 25)^{1/3} + 0,15 \times 0,00] \times 24,0 \times 33,2 \times 10^{-1} = 53,37 \text{ kN}$$

lecz nie mniej niż

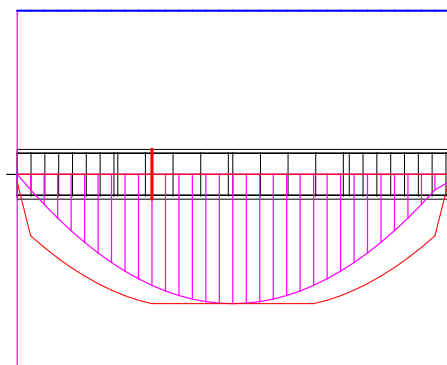
$$V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d = (0,414 + 0,15 \times 0,00) \times 24,0 \times 33,2 \times 10^{-1} = 33,01 \text{ kN}$$

Przyjęto $V_{Rd,c} = 53,37 \text{ kN}$

$$V_{Ed} = 49,22 < 53,37 = V_{Rdc}$$

Nośność zbrojenia podłużnego

zadanie P-1.2, pręt nr 1, obciążenia: CW A (a)



Sprawdzenie siły przenoszanej przez zbrojenie rozciągane dla $x = 0,975 \text{ m}$:

$$\Delta F_{td} = 0,5 |V_{Ed}| (\cot \theta - \cot \alpha) = 0,5 \times 29,53 \times (1,997 - 0,000) = 29,53 \text{ kN}$$

Sumaryczna siła w zbrojeniu rozciągany:

$$F_{td} = F_{td,m} + \Delta F_{td} = 178,10 + 29,53 = 207,63 \text{ kN};$$

$$F_{td} \leq F_{td,max} = 207,42 \text{ kN}$$

Przyjęto $F_{td} = 207,42 \text{ kN}$

$$F_{td} = 207,42 < 349,67 = 8,04 \times 435 \times 10^{-1} = A_s f_{yd}$$

Ograniczenie naprężeń (SGU)

zadanie P-1.2, pręt nr 1, przekrój: $x_a=1,56 \text{ m}$, $x_b=1,56 \text{ m}$, obciążenia: CW A

Ograniczenie naprężeń w betonie od charakterystycznej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia rys podłużnych, mikrorys i wysokiego pęczania:

$$\sigma_{ck} = 7,405 < 25,000 = 1,00 \times 25,0 = k_1 f_{ck}$$

Ograniczenie naprężeń w betonie od quasi-stałej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia pęczania nieliniowego:

$$\sigma_{cqs} = 7,405 < 11,250 = 0,45 \times 25,0 = k_2 f_{ck}$$

Ograniczenie naprężeń rozciągających w zbrojeniu od charakterystycznej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia niedopuszczalnego zarysowania lub deformacji:

$$\sigma_{sk} = 169,667 < 400,000 = 0,80 \times 500 = k_3 f_{yk}$$

Zarysowanie

zadanie P-1.2, pręt nr 1, obciążenia: CW A

Położenie przekroju:

$$x = 1,560 \text{ m}$$

Siły przekrojowe od obc. quasi-stałych:

$$M_{Ed} = 41,21 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 0,00 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 0,00 \text{ kN}$$

Wymiary przekroju:

$$b_w = 24,0 \text{ cm}$$

$$d = h - a_1 = 36,0 - 2,8 = 33,2 \text{ cm}$$

$$A_c = 864 \text{ cm}^2$$

$$W_c = 5184 \text{ cm}^3$$

Minimalne zbrojenie:

Wymagane pole zbrojenia rozciąganego dla zginania, przy naprężeniach wywołanych przyczynami zewnętrznymi:

$$\sigma_c = N_{Ed} / bh = 0,00 / (24,0 \times 36,0) \times 10 = 0,000 \text{ Mpa}$$

$$k_c = 0,4 \left(1 - \frac{\sigma_c}{k_1 h / h^* f_{ct,eff}} \right) = 0,4 \times [1 - 0,000 / (0,800 \times 36,0 / 36,0 \times 2,60)] = 0,400; \quad k_c \leq 1,0$$

$$\begin{aligned} A_{s,min} &= k_c k f_{ct,eff} A_{ct} / \sigma_s = \\ &= 0,400 \times 1,0 \times 2,60 \times 432 / 500 = 0,90 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A_s = 8,04 > 0,90 = A_{s,min}$$

Zarysowanie:

$$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 2,6 \times 5184 \times 10^{-3} = 13,48 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 41,21 > 13,48 = M_{cr}$$

Przekrój zarysowany.

Szerokość rozwarcia rysy prostopadłej do osi pręta:

Przyjęto $k_2 = 0,500$.

$$\rho_{p,eff} = A_s / A_{c,eff} = 8,04 / 168 = 0,04787$$

Dla rozstawu prętów zbrojenia wynoszącego 61,3 mm, który jest nie większy niż $5(c+\phi/2)$

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff} = 3,400 \times 20,0 + 0,800 \times 0,500 \times 0,425 \times 16 / 0,04787 = 124,82 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} &= [\sigma_s - k_t f_{ct,eff} / \rho_{p,eff} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})] / E_s = \\ &= [173,9 - 0,400 \times 2,60 / 0,04787 \times (1 + 200000 / 31000 \times 0,04787)] / 200000 = 0,00073 \end{aligned}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} \leq 0,6 \sigma_s / E_s = 0,6 \times 173,9 / 200000 = 0,00052$$

Przejęto $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,00073$.

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 124,82 \times 0,00073 = 0,09 \text{ mm}$$

$$w_k = \mathbf{0,09} < \mathbf{0,4} = w_{lim}$$

Ugięcia

zadanie P-1.2, pręt nr 1, obciążenia: CW A

Ugięcia wyznaczono dla obciążeń quasi-stałych.

Współczynniki pełzania dla obciążeń długotrwałych przyjęto równy $\phi(\infty, t_0) = 2,00$.

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \phi(\infty, t_0)} = \frac{31000}{1 + 2,000} = 10333 \text{ MPa}$$

Moment rysujący:

$$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 2,6 \times 5184 \times 10^{-3} = 13,48 \text{ kNm}$$

Całkowity moment zginający $M_{Ed} = 41,21 \text{ kN}$ powoduje zarysowanie przekroju.

Sztywność elementu z uwzględnieniem pełzania betonu:

Sztywność na zginanie wyznaczona dla momentu $M = 41,21 \text{ kNm}$.

$$\begin{aligned} \text{Wielkości geometryczne przekroju:} \quad & x_I = 18,5 \text{ cm} \quad I_I = 155941 \text{ cm}^4 \\ & x_{II} = 12,9 \text{ cm} \quad I_{II} = 93229 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

Sztywność elementu niezarysowanego:

$$B_I = E_{c,eff} I_I = 10333 \times 155941 \times 10^{-5} = 16114 \text{ kNm}^2$$

Sztywność elementu w pełni zarysowanego:

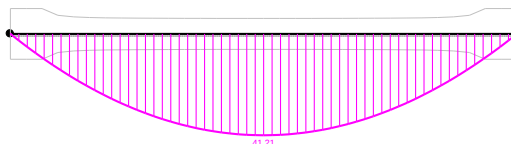
$$B_{II} = E_{c,eff} I_{II} = 10333 \times 93229 \times 10^{-5} = 9634 \text{ kNm}^2$$

Sztywność elementu:

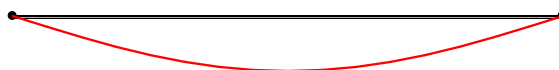
$$\zeta = 1 - \beta (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2 = 1 - \beta (M_{cr} / M)^2 = 1 - 0,50 \times (13,48 / 41,21)^2 = 0,947$$

$$1/B = \zeta 1/B_{II} + (1-\zeta) 1/B_I$$

$$B = \frac{B_{II}}{\zeta + (1-\zeta) B_{II} / B_I} = \frac{9634}{0,947 + (1-0,947) \times 9634 / 16114} = 9845 \text{ kNm}^2$$



Wykres sztywności i momentów dla obciążeń quasi-stałych.



Ugięcia.

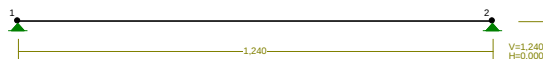
Ugięcie w punkcie o współrzędnej $x = 1,560 \text{ m}$, wyznaczone poprzez całkowanie funkcji krzywizny osi pręta ($1/\rho$) z uwzględnieniem zmiany sztywności wzdłuż osi elementu, wynosi:

$$a = a_{\infty,d} = 4,2 \text{ mm}$$

$$a = \mathbf{4,2} < \mathbf{12,5} = a_{lim}$$

Poz. 1.3., Poz. 2.3., Poz. 3.3., Poz. 4.3.,

WEZŁY:

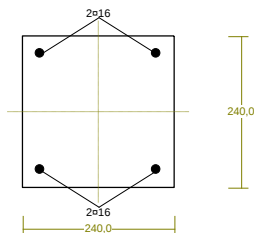


Wyniki wymiarowania elementu żelbetowego wg PN-EN-1992

RM_Zb1992 v. 1.43 licencja nr 46201

Cechy przekroju:

pręt nr 1, przekrój: $x_a=0,62$ m, $x_b=0,62$ m



Wymiary przekroju [cm]:

$$h=24,0, \quad b=24,0,$$

Cechy materiałowe dla sytuacji stałej lub przejściowej

BETON: C25/30

$$f_{ck}=25,0 \text{ MPa}, \quad f_{cd}=\alpha \cdot f_{ck} / \gamma_c = 1,00 \times 25,0 / 1,40 = 17,9 \text{ MPa}$$

Cechy geometryczne przekroju betonowego:

$$A_c=576 \text{ cm}^2, \quad J_{cy}=27648 \text{ cm}^4, \quad J_{cz}=27648 \text{ cm}^4$$

STAL: $f_{yk}=500$

$$f_{yk}=500 \text{ MPa}, \quad \gamma_s=1,15, \quad f_{yd}=435 \text{ MPa}$$

$$\xi_{lim}=0,0035 / (0,0035 + f_{yd} / E_s) = 0,0035 / (0,0035 + 435 / 200000) = 0,617,$$

Zbrojenie główne:

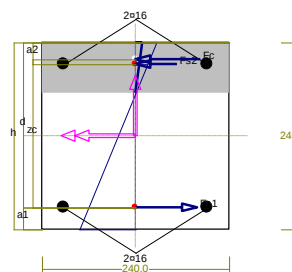
$$A_{s1}+A_{s2}=8,04 \text{ cm}^2, \quad \rho=100 (A_{s1}+A_{s2}) / A_c = 100 \times 8,04 / 576 = 1,40 \%,$$

$$J_{sy}=681 \text{ cm}^4, \quad J_{sz}=681 \text{ cm}^4,$$

Nośność przekroju prostokątnego:

zadanie P-1.6 to 1.3, pręt nr 1, przekrój: $x_a=0,59$ m, $x_b=0,65$ m

Obliczenia wykonano dla kombinacji [CW A (a)] grup obciążeń, dla której warunek stanu granicznego nośności przekroju jest najniekorzystniejszy



Wielkości obliczeniowe:

$$N_{Ed}=0,00 \text{ kN},$$

$$M_{Ed}=\sqrt{(M_{Edy})^2 + (M_{Edz})^2} = \sqrt{(-4,40)^2 + 0,00^2} = 4,40 \text{ kNm}$$

$$f_{cd}=17,9 \text{ MPa}, \quad f_{yd}=435 \text{ MPa} = f_{td},$$

Zbrojenie rozciągane: $A_{s1}=4,02 \text{ cm}^2$,

Zbrojenie ściskane: $A_{s2}=4,02 \text{ cm}^2$,

$$A_s=A_{s1}+A_{s2}=8,04 \text{ cm}^2, \quad \rho=100 \times A_s / A_c = 100 \times 8,04 / 576 = 1,40 \%$$

Wielkości geometryczne [cm]:

$$h=24,0, \quad d=21,2, \quad x=6,5 \quad (\xi=0,306),$$

$$a_1=2,8, a_2=2,8, a_c=2,2, z_c=19,0, A_{cc}=156 \text{ cm}^2, \\ \varepsilon_c=-0,13 \text{ ‰}, \varepsilon_{s2}=-0,07 \text{ ‰}, \varepsilon_{s1}=0,29 \text{ ‰},$$

Wielkości statyczne [kN, kNm]:

$$F_c = -17,46, F_{s1} = 23,31, F_{s2} = -5,85, \\ M_c = 1,72, M_{s1} = 2,14, M_{s2} = 0,54,$$

Warunek stanu granicznego nośności:

$$M_{Rd} = \mathbf{33,81 \text{ kNm}} > M_{Ed} = M_c + M_{s1} + M_{s2} = 1,72 + (2,14) + (0,54) = \mathbf{4,40 \text{ kNm}}$$

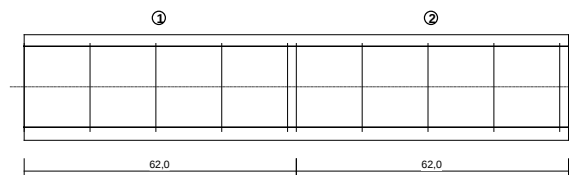
Zbrojenie poprzeczne (strzemiona)

zadanie P-1.6 to 1.3, pręt nr 1

Na całej długości pręta przyjęto strzemiona o średnicy $\phi=6 \text{ mm}$ ze stali $f_{yk}=400$, dla której $f_{ywd} = 348 \text{ MPa}$.

Minimalny stopień zbrojenia na ścinanie:

$$\rho_{w,min} = 0,08 \sqrt{f_{ck}} / f_{yk} = 0,08 \times \sqrt{25} / 500 = 0,00080$$



Rozstaw strzemion:

Strefa nr 1

Początek i koniec strefy: $x_a = 0,0$ $x_b = 62,0 \text{ cm}$

Maksymalny podłużny rozstaw strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 212 \times (1 + 0,000) = 159 \\ \text{przyjęto } s_{l,max} = 159 \text{ mm.}$$

Maksymalny poprzeczny rozstaw ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 212 = 159 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm} \\ \text{przyjęto } s_{b,max} = 159 \text{ mm.}$$

Maksymalny rozstaw strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm.} \\ s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{240,0; 240,0\} = 240,0 \\ s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm} \\ \text{przyjęto } s_{cl,max} = 240,0 \text{ mm.}$$

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 144,0 \text{ mm}$.

Przyjęto strzemiona 3-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **15,0 cm**, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 0,85 / (15,0 \times 24,0 \times 1,000) = 0,00236 \\ \rho_w = \mathbf{0,00236} > \mathbf{0,00080} = \rho_{w,min}$$

Strefa nr 2

Początek i koniec strefy: $x_a = 62,0$ $x_b = 124,0 \text{ cm}$

Maksymalny podłużny rozstaw strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 212 \times (1 + 0,000) = 159 \\ \text{przyjęto } s_{l,max} = 159 \text{ mm.}$$

Maksymalny poprzeczny rozstaw ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 212 = 159 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm} \\ \text{przyjęto } s_{b,max} = 159 \text{ mm.}$$

Maksymalny rozstaw strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm.} \\ s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{240,0; 240,0\} = 240,0 \\ s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{cl,max} = 240,0 \text{ mm}$.

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 144,0 \text{ mm}$.

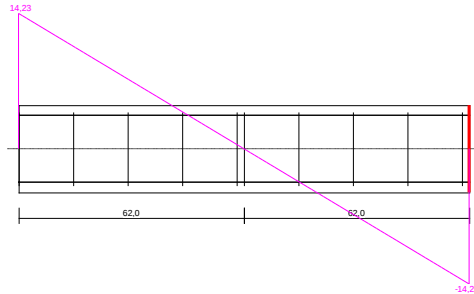
Przyjęto strzemiona 3-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **15,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 0,85 / (15,0 \times 24,0 \times 1,000) = 0,00236$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00236} > \mathbf{0,00080} = \rho_{w \min}$$

Ścinanie

zadanie P-1.6 to 1.3, pręt nr 1, przekrój: $x_a=1,24 \text{ m}$, $x_b=0,00 \text{ m}$, obciążenia: CW A (a)



Siły przekrojowe:

$$N_{Ed} = 0,00;$$

$$V_{Ed} = -14,23 \text{ kN}$$

Nośność elementów niewymagających zbrojenia na ścinanie:

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \frac{4,02}{24,0 \times 21,2} = 0,00790; \quad \rho_l \leq 0,02$$

Przyjęto $\rho_l = 0,00790$.

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_C = 0,00 / 576,00 \times 10 = 0,00 \text{ MPa} \quad \sigma_{cp} \leq 0,2 f_{cd} = 3,58 \text{ MPa}$$

Przyjęto $\sigma_{cp} = 0,00 \text{ MPa}$.

$$k = 1 + \sqrt{200/d} = 1 + \sqrt{200/212,0} = 1,971 \quad k \leq 2,0$$

Przyjęto $k = 1,971$

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18/1,4 = 0,129$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,035 \times 1,971^{3/2} \times 25^{1/2} = 0,484$$

$$\begin{aligned} V_{Rd,c} &= [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d = \\ &= [0,129 \times 1,971 \times (100 \times 0,00790 \times 25)^{1/3} + 0,15 \times 0,00] \times 24,0 \times 21,2 \times 10^{-1} = 34,86 \text{ kN} \end{aligned}$$

lecz nie mniej niż

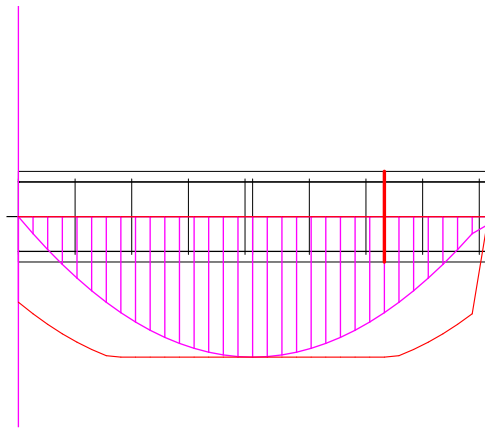
$$V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d = (0,484 + 0,15 \times 0,00) \times 24,0 \times 21,2 \times 10^{-1} = 24,64 \text{ kN}$$

Przyjęto $V_{Rd,c} = 34,86 \text{ kN}$

$$V_{Ed} = \mathbf{14,23} < \mathbf{34,86} = V_{Rdc}$$

Nośność zbrojenia podłużnego

zadanie P-1.6 to 1.3, pręt nr 1, obciążenia: CW A (a)



Sprawdzenie siły przenoszanej przez zbrojenie rozciągane dla $x = 0,969$ m:

$$\Delta F_{td} = 0,5 |V_{Ed}| (\cot \theta - \cot \alpha) = 0,5 \times 8,00 \times (1,000 - 0,000) = 8,00 \text{ kN}$$

Sumaryczna siła w zbrojeniu rozciągającym:

$$F_{td} = F_{td,m} + \Delta F_{td} = 15,97 + 8,00 = 23,97 \text{ kN};$$

$$F_{td} \leq F_{td,max} = 23,37 \text{ kN}$$

Przyjęto $F_{td} = 23,37 \text{ kN}$

$$F_{td} = 23,37 < 174,84 = 4,02 \times 435 \times 10^{-1} = A_s f_{yd}$$

Ograniczenie naprężeń (SGU)

zadanie P-1.6 to 1.3, pręt nr 1, przekrój: $x_a=0,62$ m, $x_b=0,62$ m, obciążenia: CW A

Ograniczenie naprężeń w betonie od charakterystycznej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia rys podłużnych, mikrorys i wysokiego pełzania:

$$\sigma_{ck} = 1,595 < 25,000 = 1,00 \times 25,0 = k_1 f_{ck}$$

Ograniczenie naprężeń w betonie od quasi-stałej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia pełzania nieliniowego:

$$\sigma_{cqs} = 1,595 < 11,250 = 0,45 \times 25,0 = k_2 f_{ck}$$

Ograniczenie naprężeń rozciągających w zbrojeniu od charakterystycznej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia niedopuszczalnego zarysowania lub deformacji:

$$\sigma_{sk} = 38,336 < 400,000 = 0,80 \times 500 = k_3 f_{yk}$$

Zarysowanie

zadanie P-1.6 to 1.3, pręt nr 1, obciążenia: CW A

Położenie przekroju:

$$x = 0,620 \text{ m}$$

Siły przekrojowe od obc. quasi-stałych:

$$M_{Ed} = 2,97 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 0,00 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 0,00 \text{ kN}$$

Wymiary przekroju:

$$b_w = 24,0 \text{ cm}$$

$$d = h - a_1 = 24,0 - 2,8 = 21,2 \text{ cm}$$

$$A_c = 576 \text{ cm}^2$$

$$W_c = 2304 \text{ cm}^3$$

Minimalne zbrojenie:

Wymagane pole zbrojenia rozciąganego dla zginania, przy naprężeniach wywołanych przyczynami zewnętrznymi:

$$\sigma_c = N_{Ed} / bh = 0,00 / (24,0 \times 24,0) \times 10 = 0,000 \text{ Mpa}$$

$$k_c = 0,4 \left(1 - \frac{\sigma_c}{k_1 h / h^* f_{ct,eff}} \right) = 0,4 \times [1 - 0,000 / (0,800 \times 24,0 / 24,0 \times 2,60)] = 0,400; \quad k_c \leq 1,0$$

$$A_{s,min} = k_c k f_{ct,eff} A_{ct} / \sigma_s =$$

$$= 0,400 \times 1,0 \times 2,60 \times 288 / 500 = 0,60 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 4,02 > 0,60 = A_{s,min}$$

Zarysowanie:

$$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 2,6 \times 2304 \times 10^{-3} = 5,99 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 2,97 < 5,99 = M_{cr}$$

Przekrój niezarysowany.

Ugięcia

zadanie P-1.6 to 1.3, pręt nr 1, obciążenia: CW A

Ugięcia wyznaczono dla obciążeń quasi-stałych.

Współczynniki pełzania dla obciążeń długotrwałych przyjęto równy $\phi(\infty, t_0) = 2,00$.

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \phi(\infty, t_0)} = \frac{31000}{1 + 2,000} = 10333 \text{ MPa}$$

Moment rysujący:

$$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 2,6 \times 2304 \times 10^{-3} = 5,99 \text{ kNm}$$

Całkowity moment zginający $M_{Ed} = 2,97 \text{ kN}$ nie powoduje zarysowania przekroju.

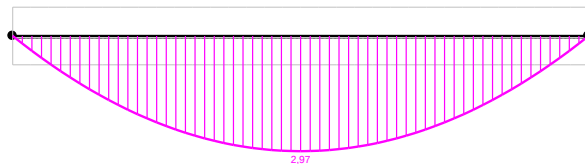
Sztywność elementu z uwzględnieniem pełzania betonu:

Sztywność na zginanie wyznaczona dla momentu $M = 2,97 \text{ kNm}$.

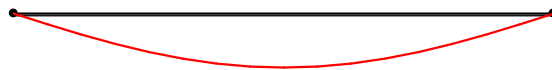
Wielkości geometryczne przekroju:	$x_I = 12,0 \text{ cm}$	$I_I = 40823 \text{ cm}^4$
	$x_{II} = 7,6 \text{ cm}$	$I_{II} = 19700 \text{ cm}^4$

Sztywność elementu niezarysowanego:

$$B_I = E_{c,eff} I_I = 10333 \times 40823 \times 10^{-5} = 4218 \text{ kNm}^2$$



Wykres sztywności i momentów dla obciążeń quasi-stałych.



Ugięcia.

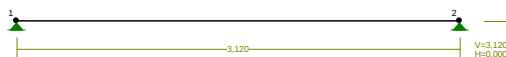
Ugięcie w punkcie o współrzędnej $x = 0,620 \text{ m}$, wyznaczone poprzez całkowanie funkcji krzywizny osi pręta ($1/\rho$) z uwzględnieniem zmiany sztywności wzdłuż osi elementu, wynosi:

$$a = a_{\infty,d} = 0,1 \text{ mm}$$

$$a = 0,1 < 5,0 = a_{lim}$$

Poz. 1.4.

WĘZŁY:

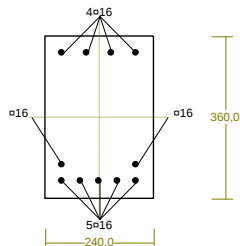


Wyniki wymiarowania elementu żelbetowego wg PN-EN-1992

RM_Zb1992 v. 1.43 licencja nr 46201

Cechy przekroju:

zadanie P-1.5 to 1.4, pręt nr 1, przekrój: $x_a=1,48$ m, $x_b=1,64$ m



Wymiary przekroju [cm]:

$$h=36,0, \quad b=24,0,$$

Cechy materiałowe dla sytuacji stałej lub przejściowej

BETON: C25/30

$$f_{ck}=25,0 \text{ MPa}, \quad f_{cd}=\alpha \cdot f_{ck} / \gamma_c = 1,00 \times 25,0 / 1,40 = 17,9 \text{ MPa}$$

Cechy geometryczne przekroju betonowego:

$$A_c=864 \text{ cm}^2, \quad J_{cy}=93312 \text{ cm}^4, \quad J_{cz}=41472 \text{ cm}^4$$

STAL: $f_{yk}=500$

$$f_{yk}=500 \text{ MPa}, \quad \gamma_s=1,15, \quad f_{yd}=435 \text{ MPa}$$

$$\xi_{lim}=0,0035 / (0,0035 + f_{yd} / E_s) = 0,0035 / (0,0035 + 435 / 200000) = 0,617,$$

Zbrojenie główne:

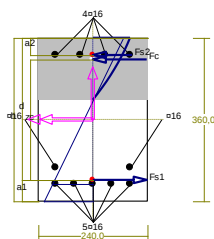
$$A_{s1}+A_{s2}=22,12 \text{ cm}^2, \quad \rho=100 (A_{s1}+A_{s2}) / A_c = 100 \times 22,12 / 864 = 2,56 \%,$$

$$J_{sy}=4101 \text{ cm}^4, \quad J_{sz}=909 \text{ cm}^4,$$

Nośność przekroju prostopadłego:

zadanie P-1.5 to 1.4, pręt nr 1, przekrój: $x_a=1,48$ m, $x_b=1,64$ m

Obliczenia wykonano dla kombinacji [CW A (a)] grup obciążeń, dla której warunek stanu granicznego nośności przekroju jest najniekorzystniejszy



Wielkości obliczeniowe:

$$N_{Ed}=0,00 \text{ kN},$$

$$M_{Ed}=\sqrt{(M_{Edy}^2 + M_{Edz}^2)} = \sqrt{(-98,19^2 + 0,00^2)} = 98,19 \text{ kNm}$$

$$f_{cd}=17,9 \text{ MPa}, \quad f_{yd}=435 \text{ MPa} = f_{td},$$

Zbrojenie rozciągane: $A_{s1}=14,07 \text{ cm}^2$,

Zbrojenie ściskane: $A_{s2}=8,04 \text{ cm}^2$,

$$A_s=A_{s1}+A_{s2}=22,12 \text{ cm}^2, \quad \rho=100 \times A_s / A_c = 100 \times 22,12 / 864 = 2,56 \%$$

Wielkości geometryczne [cm]:

$$h=36,0, \quad d=31,3, \quad x=13,3 \quad (\xi=0,425),$$

$$a_1=4,7, \quad a_2=3,8, \quad a_c=4,8, \quad z_c=26,5, \quad A_{cc}=328 \text{ cm}^2,$$

$$\varepsilon_c=-1,02 \text{ ‰}, \quad \varepsilon_{s2}=-0,73 \text{ ‰}, \quad \varepsilon_{s1}=1,38 \text{ ‰},$$

Wielkości statyczne [kN, kNm]:

$$F_c = -247,74, F_{s1} = 365,66, F_{s2} = -117,92,$$

$$M_c = 32,73, M_{s1} = 48,72, M_{s2} = 16,74,$$

Warunek stanu granicznego nośności:

$$M_{Rd} = \mathbf{168,19 \text{ kNm}} > M_{Ed} = M_c + M_{s1} + M_{s2} = 32,73 + (48,72) + (16,74) = \mathbf{98,19 \text{ kNm}}$$

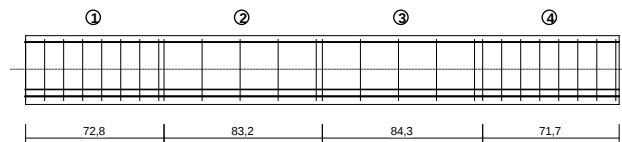
Zbrojenie poprzeczne (strzemiona)

zadanie P-1.5 to 1.4, pręt nr 1

Na całej długości pręta przyjęto strzemiona o średnicy $\phi = 6 \text{ mm}$ ze stali $f_{yk} = 400$, dla której $f_{ywd} = 348 \text{ MPa}$.

Minimalny stopień zbrojenia na ścinanie:

$$\rho_{w,min} = 0,08 \sqrt{f_{ck}} / f_{yk} = 0,08 \times \sqrt{25} / 500 = 0,00080$$



Rozstaw strzemion:

Strefa nr 1

Początek i koniec strefy: $x_a = 0,0$ $x_b = 72,8 \text{ cm}$

Maksymalny podłużny rozstaw strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 312 \times (1 + 0,000) = 234$$

przyjęto $s_{l,max} = 234 \text{ mm}$.

Maksymalny poprzeczny rozstaw ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 312 = 234 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{b,max} = 234 \text{ mm}$.

Maksymalny rozstaw strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm}.$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{240,0; 360,0\} = 240,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{cl,max} = 240,0 \text{ mm}$.

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 144,0 \text{ mm}$.

Przyjęto strzemiona 3-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **10,0 cm**, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 0,85 / (10,0 \times 24,0 \times 1,000) = 0,00353$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00353} > \mathbf{0,00080} = \rho_{w,min}$$

Strefa nr 2

Początek i koniec strefy: $x_a = 72,8$ $x_b = 156,0 \text{ cm}$

Maksymalny podłużny rozstaw strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 312 \times (1 + 0,000) = 234$$

przyjęto $s_{l,max} = 234 \text{ mm}$.

Maksymalny poprzeczny rozstaw ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 312 = 234 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{b,max} = 234 \text{ mm}$.

Maksymalny rozstaw strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm}.$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{240,0; 360,0\} = 240,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{cl,max} = 240,0 \text{ mm}$.

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 144,0 \text{ mm}$.

Przyjęto strzemiona 3-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **20,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 0,85 / (20,0 \times 24,0 \times 1,000) = 0,00177$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00177} > \mathbf{0,00080} = \rho_{w \min}$$

Strefa nr 3

Początek i koniec strefy: $x_a = 156,0$ $x_b = 240,3$ cm

Maksymalny podłużny rozstawy strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 312 \times (1 + 0,000) = 234$$

przyjęto $s_{l,max} = 234$ mm.

Maksymalny poprzeczny rozstawy ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 312 = 234 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{b,max} = 234$ mm.

Maksymalny rozstawy strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm.}$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{240,0; 360,0\} = 240,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{cl,max} = 240,0$ mm.

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 144,0$ mm.

Przyjęto strzemiona 3-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **20,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 0,85 / (20,0 \times 24,0 \times 1,000) = 0,00177$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00177} > \mathbf{0,00080} = \rho_{w \min}$$

Strefa nr 4

Początek i koniec strefy: $x_a = 240,3$ $x_b = 312,0$ cm

Maksymalny podłużny rozstawy strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 312 \times (1 + 0,000) = 234$$

przyjęto $s_{l,max} = 234$ mm.

Maksymalny poprzeczny rozstawy ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 312 = 234 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{b,max} = 234$ mm.

Maksymalny rozstawy strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm.}$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{240,0; 360,0\} = 240,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{cl,max} = 240,0$ mm.

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 144,0$ mm.

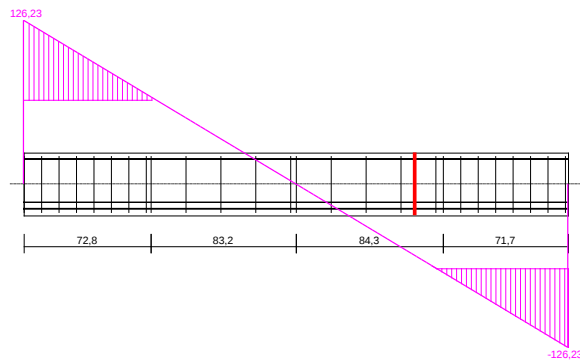
Przyjęto strzemiona 3-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **10,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 0,85 / (10,0 \times 24,0 \times 1,000) = 0,00353$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00353} > \mathbf{0,00080} = \rho_{w \min}$$

Ścinanie

zadanie P-1.5 to 1.4, pręt nr 1, przekrój: $x_a = 2,24$ m, $x_b = 0,88$ m, obciążenia: CW A (a)



Siły przekrojowe: $N_{Ed} = 0,00$;
 $V_{Ed} = -55,23 \text{ kN}$

Nośność elementów niewymagających zbrojenia na ścinanie:

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \frac{14,07}{24,0 \times 31,2} = 0,01881; \quad \rho_l \leq 0,02$$

Przyjęto $\rho_l = 0,01881$.

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0,00 / 864,00 \times 10 = 0,00 \text{ MPa} \quad \sigma_{cp} \leq 0,2 f_{cd} = 3,58 \text{ MPa}$$

Przyjęto $\sigma_{cp} = 0,00 \text{ MPa}$.

$$k = 1 + \sqrt{200/d} = 1 + \sqrt{200/311,7} = 1,801 \quad k \leq 2,0$$

Przyjęto $k = 1,801$

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,4 = 0,129$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,035 \times 1,801^{3/2} \times 25^{1/2} = 0,423$$

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d =$$

$$= [0,129 \times 1,801 \times (100 \times 0,01881 \times 25)^{1/3} + 0,15 \times 0,00] \times 24,0 \times 31,2 \times 10^{-1} = 62,53 \text{ kN}$$

lecz nie mniej niż

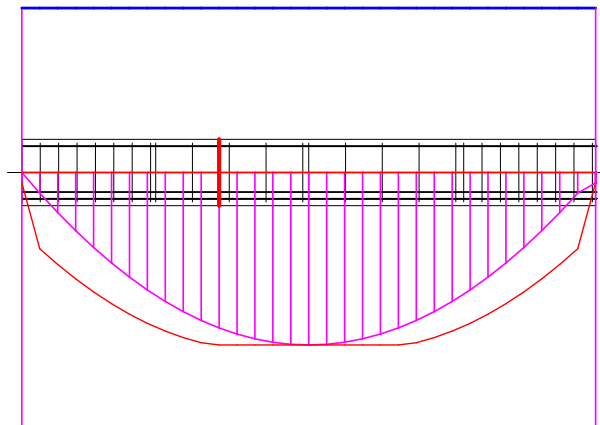
$$V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d = (0,423 + 0,15 \times 0,00) \times 24,0 \times 31,2 \times 10^{-1} = 31,64 \text{ kN}$$

Przyjęto $V_{Rd,c} = 62,53 \text{ kN}$

$$V_{Ed} = 55,23 < 62,53 = V_{Rdc}$$

Nośność zbrojenia podłużnego

zadanie P-1.5 to 1.4, pręt nr 1, obciążenia: CW A (a)



Sprawdzenie siły przenoszonej przez zbrojenie rozciągane dla $x = 1,073 \text{ m}$:

$$\Delta F_{td} = 0,5 |V_{Ed}| (\cot \theta - \cot \alpha) = 0,5 \times 39,45 \times (1,997 - 0,000) = 39,45 \text{ kN}$$

Sumaryczna siła w zbrojeniu rozciągającym:

$$F_{td} = F_{td,m} + \Delta F_{td} = 330,46 + 39,45 = 369,91 \text{ kN};$$

$$F_{td} \leq F_{td,max} = 366,69 \text{ kN}$$

Przyjęto $F_{td} = 366,69 \text{ kN}$

$$F_{td} = 366,69 < 611,93 = 14,07 \times 435 \times 10^{-1} = A_s f_{yd}$$

Ograniczenie naprężeń (SGU)

zadanie P-1.5 to 1.4, pręt nr 1, przekrój: $x_a=1,56 \text{ m}$, $x_b=1,56 \text{ m}$, obciążenia: CW A

Ograniczenie naprężeń w betonie od charakterystycznej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia rys podłużnych, mikrorys i wysokiego pełzania:

$$\sigma_{ck} = 10,244 < 25,000 = 1,00 \times 25,0 = k_1 f_{ck}$$

Ograniczenie naprężeń w betonie od quasi-stałej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia pełzania nieliniowego:

$$\sigma_{cqs} = 10,244 < 11,250 = 0,45 \times 25,0 = k_2 f_{ck}$$

Ograniczenie naprężeń rozciągających w zbrojeniu od charakterystycznej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia niedopuszczalnego zarysowania lub deformacji:

$$\sigma_{sk} = 178,279 < 400,000 = 0,80 \times 500 = k_3 f_{yk}$$

Zarysowanie

zadanie P-1.5 to 1.4, pręt nr 1, obciążenia: CW A

Położenie przekroju:

$$x = 1,560 \text{ m}$$

Siły przekrojowe od obc. quasi-stałych:

$$M_{Ed} = 65,90 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 0,00 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 0,00 \text{ kN}$$

Wymiary przekroju:

$$b_w = 24,0 \text{ cm}$$

$$d = h - a_1 = 36,0 - 4,8 = 31,2 \text{ cm}$$

$$A_c = 864 \text{ cm}^2$$

$$W_c = 5184 \text{ cm}^3$$

Minimalne zbrojenie:

Wymagane pole zbrojenia rozciąganego dla zginania, przy naprężeniach wywołanych przyczynami zewnętrznymi:

$$\sigma_c = N_{Ed} / bh = 0,00 / (24,0 \times 36,0) \times 10 = 0,000 \text{ Mpa}$$

$$k_c = 0,4 \left(1 - \frac{\sigma_c}{k_1 h / h^* f_{ct,eff}} \right) = 0,4 \times [1 - 0,000 / (0,800 \times 36,0 / 36,0 \times 2,60)] = 0,400; \quad k_c \leq 1,0$$

$$\begin{aligned} A_{s,min} &= k_c k f_{ct,eff} A_{ct} / \sigma_s = \\ &= 0,400 \times 1,0 \times 2,60 \times 432 / 500 = 0,90 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A_s = 14,07 > 0,90 = A_{s,min}$$

Zarysowanie:

$$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 2,6 \times 5184 \times 10^{-3} = 13,48 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 65,90 > 13,48 = M_{cr}$$

Przekrój zarysowany.

Szerokość rozwarcia rysy prostopadłej do osi pręta:

Przyjęto $k_2 = 0,500$.

$$\rho_{p,eff} = A_s / A_{c,eff} = 10,05 / 168 = 0,05970$$

Dla rozstawu prętów zbrojenia wynoszącego 41 mm, który jest nie większy niż $5(c+\phi/2)$

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff} = 3,400 \times 30,0 + 0,800 \times 0,500 \times 0,425 \times 16 / 0,05970 = 147,56 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} &= [\sigma_s - k_t f_{ct,eff} / \rho_{p,eff} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})] / E_s = \\ &= [185,7 - 0,400 \times 2,60 / 0,05970 \times (1 + 200000 / 31000 \times 0,05970)] / 200000 = 0,00081 \end{aligned}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} \leq 0,6 \sigma_s / E_s = 0,6 \times 185,7 / 200000 = 0,00056$$

Przejęto $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,00081$.

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 147,56 \times 0,00081 = 0,12 \text{ mm}$$

$$w_k = \mathbf{0,12} < \mathbf{0,4} = w_{lim}$$

Ugięcia

zadanie P-1.5 to 1.4, pręt nr 1, obciążenia: CW A

Ugięcia wyznaczono dla obciążeń quasi-stałych.

Współczynniki pełzania dla obciążeń długotrwałych przyjęto równy $\phi(\infty, t_0) = 2,00$.

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \phi(\infty, t_0)} = \frac{31000}{1 + 2,000} = 10333 \text{ MPa}$$

Moment rysujący:

$$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 2,6 \times 5184 \times 10^{-3} = 13,48 \text{ kNm}$$

Całkowity moment zginający $M_{Ed} = 65,90 \text{ kN}$ powoduje zarysowanie przekroju.

Sztywność elementu z uwzględnieniem pełzania betonu:

Sztywność na zginanie wyznaczona dla momentu $M = 65,90 \text{ kNm}$.

Wielkości geometryczne przekroju:

$$x_I = 19,1 \text{ cm} \quad I_I = 171210 \text{ cm}^4$$

$$x_{II} = 15,0 \text{ cm} \quad I_{II} = 118483 \text{ cm}^4$$

Sztywność elementu niezarysowanego:

$$B_I = E_{c,eff} I_I = 10333 \times 171210 \times 10^{-5} = 17692 \text{ kNm}^2$$

Sztywność elementu w pełni zarysowanego:

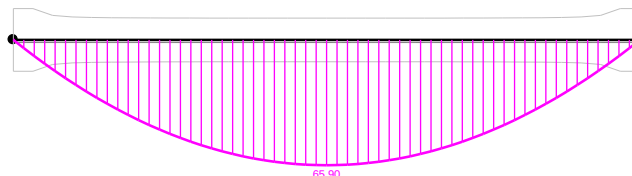
$$B_{II} = E_{c,eff} I_{II} = 10333 \times 118483 \times 10^{-5} = 12243 \text{ kNm}^2$$

Sztywność elementu:

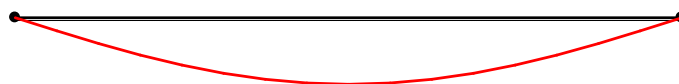
$$\zeta = 1 - \beta (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2 = 1 - \beta (M_{cr} / M)^2 = 1 - 0,50 \times (13,48 / 65,90)^2 = 0,979$$

$$1/B = \zeta 1/B_{II} + (1 - \zeta) 1/B_I$$

$$B = \frac{B_{II}}{\zeta + (1 - \zeta) B_{II} / B_I} = \frac{12243}{0,979 + (1 - 0,979) \times 12243 / 17692} = 12323 \text{ kNm}^2$$



Wykres sztywności i momentów dla obciążeń quasi-stałych.



Ugięcia.

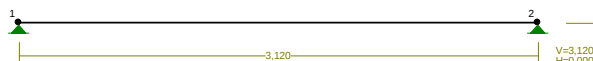
Ugięcie w punkcie o współrzędnej $x = 1,560$ m, wyznaczone poprzez całkowanie funkcji krzywizny osi pręta ($1/\rho$) z uwzględnieniem zmiany sztywności wzdłuż osi elementu, wynosi:

$$a = a_{\infty,d} = 5,4 \text{ mm}$$

$$a = 5,4 < 12,5 = a_{\text{lim}}$$

Poz. 2.2., Poz. 3.2., Poz. 4.2.

WEZŁY:

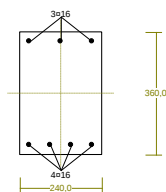


Wyniki wymiarowania elementu żelbetowego wg PN-EN-1992

RM_Zb1992 v. 1.43 licencja nr 46201

Cechy przekroju:

zadanie P-2.2, pręt nr 1, przekrój: $x_a=1,56$ m, $x_b=1,56$ m



Wymiary przekroju [cm]:

$$h=360,0, \quad b=240,0,$$

Cechy materiałowe dla sytuacji stałej lub przejściowej

BETON: C25/30

$$f_{ck} = 25,0 \text{ MPa}, \quad f_{cd} = \alpha \cdot f_{ck} / \gamma_c = 1,00 \times 25,0 / 1,40 = 17,9 \text{ MPa}$$

Cechy geometryczne przekroju betonowego:

$$A_c = 864 \text{ cm}^2, \quad J_{cy} = 93312 \text{ cm}^4, \quad J_{cz} = 41472 \text{ cm}^4$$

STAL: $f_{yk}=500$

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}, \quad \gamma_s = 1,15, \quad f_{yd} = 435 \text{ MPa}$$

$$\zeta_{\text{lim}} = 0,0035 / (0,0035 + f_{yd} / E_s) = 0,0035 / (0,0035 + 435 / 200000) = 0,617,$$

Zbrojenie główne:

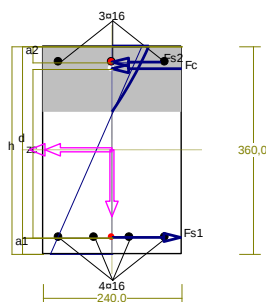
$$A_{s1} + A_{s2} = 14,07 \text{ cm}^2, \quad \rho = 100 (A_{s1} + A_{s2}) / A_c = 100 \times 14,07 / 864 = 1,63 \%,$$

$$J_{sy} = 3252 \text{ cm}^4, \quad J_{sz} = 719 \text{ cm}^4,$$

Nośność przekroju prostokątnego:

zadanie P-2.2, pręt nr 1, przekrój: $x_a=1,64$ m, $x_b=1,48$ m

Obliczenia wykonano dla kombinacji [CW A (a)] grup obciążeń, dla której warunek stanu granicznego nośności przekroju jest najniekorzystniejszy



Wielkości obliczeniowe:

$$N_{Ed} = 0,00 \text{ kN},$$

$$M_{Ed} = \sqrt{(M_{Edy}^2 + M_{Edz}^2)} = \sqrt{(-65,68^2 + 0,00^2)} = 65,68 \text{ kNm}$$

$$f_{cd} = 17,9 \text{ MPa}, f_{yd} = 435 \text{ MPa} = f_{td}$$

Zbrojenie rozciągane: $A_{s1} = 8,04 \text{ cm}^2$,

Zbrojenie ściskane: $A_{s2} = 6,03 \text{ cm}^2$,

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 14,07 \text{ cm}^2, \rho = 100 \times A_s / A_c = 100 \times 14,07 / 864 = 1,63 \%$$

Wielkości geometryczne [cm]:

$$h = 36,0, d = 33,2, x = 11,4 (\xi = 0,344),$$

$$a_1 = 2,8, a_2 = 2,8, a_c = 3,9, z_c = 29,3, A_{cc} = 274 \text{ cm}^2,$$

$$\varepsilon_c = -0,72 \text{ ‰}, \varepsilon_{s2} = -0,55 \text{ ‰}, \varepsilon_{s1} = 1,38 \text{ ‰},$$

Wielkości statyczne [kN, kNm]:

$$F_c = -156,02, F_{s1} = 221,88, F_{s2} = -65,86,$$

$$M_c = 21,94, M_{s1} = 33,73, M_{s2} = 10,01,$$

Warunek stanu granicznego nośności:

$$M_{Rd} = 107,61 \text{ kNm} > M_{Ed} = M_c + M_{s1} + M_{s2} = 21,94 + (33,73) + (10,01) = 65,68 \text{ kNm}$$

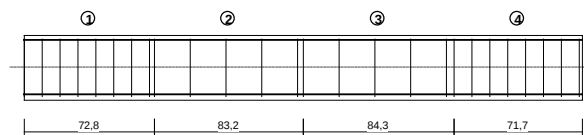
Zbrojenie poprzeczne (strzemiona)

zadanie P-2.2, pręt nr 1

Na całej długości pręta przyjęto strzemiona o średnicy $\phi = 6 \text{ mm}$ ze stali $f_{yk} = 400$, dla której $f_{ywd} = 348 \text{ MPa}$.

Minimalny stopień zbrojenia na ścinanie:

$$\rho_{w,min} = 0,08 \sqrt{f_{ck}} / f_{yk} = 0,08 \times \sqrt{25} / 500 = 0,00080$$



Rozstaw strzemion:

Strefa nr 1

Początek i koniec strefy: $x_a = 0,0$ $x_b = 72,8 \text{ cm}$

Maksymalny podłużny rozstaw strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 332 \times (1 + 0,000) = 249$$

przyjęto $s_{l,max} = 249 \text{ mm}$.

Maksymalny poprzeczny rozstaw ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 332 = 249 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{b,max} = 249 \text{ mm}$.

Maksymalny rozstaw strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm}.$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{240,0; 360,0\} = 240,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{cl,max} = 240,0 \text{ mm}$.

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 144,0 \text{ mm}$.

Przyjęto strzemiona 3-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **10,0 cm**, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 0,85 / (10,0 \times 24,0 \times 1,000) = 0,00353$$

$$\rho_w = 0,00353 > 0,00080 = \rho_{w,min}$$

Strefa nr 2

Początek i koniec strefy: $x_a = 72,8$ $x_b = 156,0 \text{ cm}$

Maksymalny podłużny rozstaw strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 332 \times (1 + 0,000) = 249$$

przyjęto $s_{l,max} = 249 \text{ mm}$.

Maksymalny poprzeczny rozstaw ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 332 = 249 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{b,max} = 249$ mm.

Maksymalny rozstawy strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm.}$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{240,0; 360,0\} = 240,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{cl,max} = 240,0$ mm.

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion 0,6 $s_{cl,max} = 144,0$ mm.

Przyjęto strzemiona 3-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **20,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 0,85 / (20,0 \times 24,0 \times 1,000) = 0,00177$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00177} > \mathbf{0,00080} = \rho_{w \min}$$

Strefa nr 3

Początek i koniec strefy: $x_a = 156,0$ $x_b = 240,3$ cm

Maksymalny podłużny rozstawy strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 332 \times (1 + 0,000) = 249$$

przyjęto $s_{l,max} = 249$ mm.

Maksymalny poprzeczny rozstawy ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 332 = 249 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{b,max} = 249$ mm.

Maksymalny rozstawy strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm.}$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{240,0; 360,0\} = 240,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{cl,max} = 240,0$ mm.

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion 0,6 $s_{cl,max} = 144,0$ mm.

Przyjęto strzemiona 3-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **20,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 0,85 / (20,0 \times 24,0 \times 1,000) = 0,00177$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00177} > \mathbf{0,00080} = \rho_{w \min}$$

Strefa nr 4

Początek i koniec strefy: $x_a = 240,3$ $x_b = 312,0$ cm

Maksymalny podłużny rozstawy strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 332 \times (1 + 0,000) = 249$$

przyjęto $s_{l,max} = 249$ mm.

Maksymalny poprzeczny rozstawy ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 332 = 249 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{b,max} = 249$ mm.

Maksymalny rozstawy strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm.}$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{240,0; 360,0\} = 240,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{cl,max} = 240,0$ mm.

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion 0,6 $s_{cl,max} = 144,0$ mm.

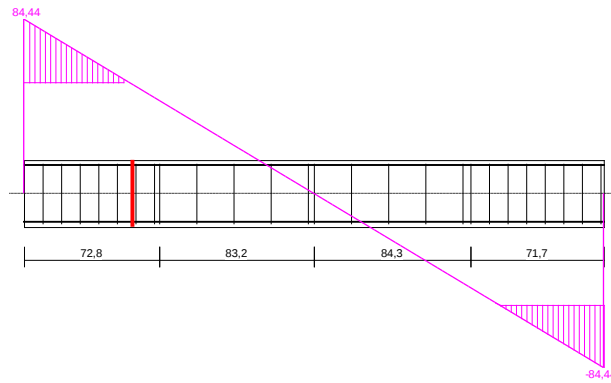
Przyjęto strzemiona 3-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **10,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 0,85 / (10,0 \times 24,0 \times 1,000) = 0,00353$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00353} > \mathbf{0,00080} = \rho_{w \min}$$

Ścinanie

zadanie P-2.2, pręt nr 1, przekrój: $x_a = 0,58$ m, $x_b = 2,54$ m, obciążenia: CW A (a)



Siły przekrojowe: $N_{Ed} = 0,00$;
 $V_{Ed} = 52,77 \text{ kN}$

Nośność elementów niewymagających zbrojenia na ścinanie:

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \frac{8,04}{24,0 \times 33,2} = 0,01009; \quad \rho_l \leq 0,02$$

Przyjęto $\rho_l = 0,01009$.

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_C = 0,00 / 864,00 \times 10 = 0,00 \text{ MPa} \quad \sigma_{cp} \leq 0,2 f_{cd} = 3,58 \text{ MPa}$$

Przyjęto $\sigma_{cp} = 0,00 \text{ MPa}$.

$$k = 1 + \sqrt{200/d} = 1 + \sqrt{200/332,0} = 1,776 \quad k \leq 2,0$$

Przyjęto $k = 1,776$

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18/1,4 = 0,129$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,035 \times 1,776^{3/2} \times 25^{1/2} = 0,414$$

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d =$$

$$= [0,129 \times 1,776 \times (100 \times 0,01009 \times 25)^{1/3} + 0,15 \times 0,00] \times 24,0 \times 33,2 \times 10^{-1} = 53,37 \text{ kN}$$

lecz nie mniej niż

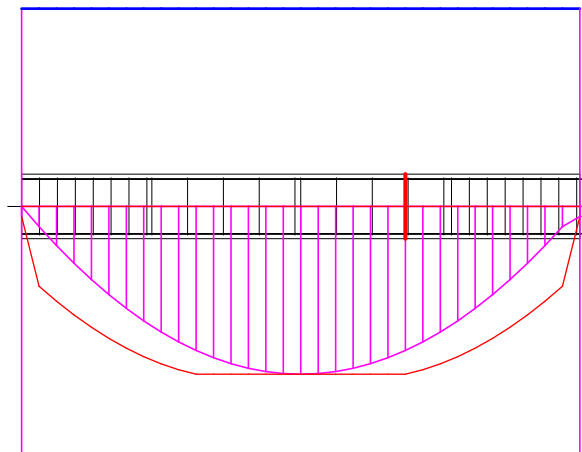
$$V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d = (0,414 + 0,15 \times 0,00) \times 24,0 \times 33,2 \times 10^{-1} = 33,01 \text{ kN}$$

Przyjęto $V_{Rd,c} = 53,37 \text{ kN}$

$$V_{Ed} = 52,77 < 53,37 = V_{Rdc}$$

Nośność zbrojenia podłużnego

zadanie P-2.2, pręt nr 1, obciążenia: CW A (a)



Sprawdzenie siły przenoszonej przez zbrojenie rozciągane dla $x = 2,145 \text{ m}$:

$$\Delta F_{td} = 0,5 |V_{Ed}| (\cot \theta - \cot \alpha) = 0,5 \times 31,66 \times (1,997 - 0,000) = 31,66 \text{ kN}$$

Sumaryczna siła w zbrojeniu rozciągającym:

$$F_{td} = F_{td,m} + \Delta F_{td} = 191,03 + 31,66 = 222,69 \text{ kN};$$

$$F_{td} \leq F_{td,max} = 222,50 \text{ kN}$$

Przyjęto $F_{td} = 222,50 \text{ kN}$

$$F_{td} = 222,50 < 349,67 = 8,04 \times 435 \times 10^{-1} = A_s f_{yd}$$

Ograniczenie naprężeń (SGU)

zadanie P-2.2, pręt nr 1, przekrój: $x_a=1,56 \text{ m}$, $x_b=1,56 \text{ m}$, obciążenia: CW A

Ograniczenie naprężeń w betonie od charakterystycznej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia rys podłużnych, mikrorys i wysokiego pęczania:

$$\sigma_{ck} = 7,886 < 25,000 = 1,00 \times 25,0 = k_1 f_{ck}$$

Ograniczenie naprężeń w betonie od quasi-stałej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia pęczania nieliniowego:

$$\sigma_{cqs} = 7,886 < 11,250 = 0,45 \times 25,0 = k_2 f_{ck}$$

Ograniczenie naprężeń rozciągających w zbrojeniu od charakterystycznej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia niedopuszczalnego zarysowania lub deformacji:

$$\sigma_{sk} = 181,840 < 400,000 = 0,80 \times 500 = k_3 f_{yk}$$

Zarysowanie

zadanie P-2.2, pręt nr 1, obciążenia: CW A

Położenie przekroju:

$$x = 1,560 \text{ m}$$

Siły przekrojowe od obc. quasi-stałych:

$$M_{Ed} = 44,17 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 0,00 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 0,00 \text{ kN}$$

Wymiary przekroju:

$$b_w = 24,0 \text{ cm}$$

$$d = h - a_1 = 36,0 - 2,8 = 33,2 \text{ cm}$$

$$A_c = 864 \text{ cm}^2$$

$$W_c = 5184 \text{ cm}^3$$

Minimalne zbrojenie:

Wymagane pole zbrojenia rozciąganego dla zginania, przy naprężeniach wywołanych przyczynami zewnętrznymi:

$$\sigma_c = N_{Ed} / bh = 0,00 / (24,0 \times 36,0) \times 10 = 0,000 \text{ Mpa}$$

$$k_c = 0,4 \left(1 - \frac{\sigma_c}{k_1 h / h^* f_{ct,eff}} \right) = 0,4 \times [1 - 0,000 / (0,800 \times 36,0 / 36,0 \times 2,60)] = 0,400; \quad k_c \leq 1,0$$

$$\begin{aligned} A_{s,min} &= k_c k f_{ct,eff} A_{ct} / \sigma_s = \\ &= 0,400 \times 1,0 \times 2,60 \times 432 / 500 = 0,90 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A_s = 8,04 > 0,90 = A_{s,min}$$

Zarysowanie:

$$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 2,6 \times 5184 \times 10^{-3} = 13,48 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 44,17 > 13,48 = M_{cr}$$

Przekrój zarysowany.

Szerokość rozwarcia rysy prostopadłej do osi pręta:

Przyjęto $k_2 = 0,500$.

$$\rho_{p,eff} = A_s / A_{c,eff} = 8,04 / 168 = 0,04787$$

Dla rozstawu prętów zbrojenia wynoszącego 61,3 mm, który jest nie większy niż $5(c+\phi/2)$

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff} = 3,400 \times 20,0 + 0,800 \times 0,500 \times 0,425 \times 16 / 0,04787 = 124,82 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} &= [\sigma_s - k_t f_{ct,eff} / \rho_{p,eff} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})] / E_s = \\ &= [186,4 - 0,400 \times 2,60 / 0,04787 \times (1 + 200000 / 31000 \times 0,04787)] / 200000 = 0,00079 \end{aligned}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} \leq 0,6 \sigma_s / E_s = 0,6 \times 186,4 / 200000 = 0,00056$$

Przejęto $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,00079$.

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 124,82 \times 0,00079 = 0,10 \text{ mm}$$

$$w_k = \mathbf{0,10} < \mathbf{0,4} = w_{lim}$$

Ugięcia

zadanie P-2.2, pręt nr 1, obciążenia: CW A

Ugięcia wyznaczono dla obciążeń quasi-stałych.

Współczynniki pełzania dla obciążeń długotrwałych przyjęto równy $\phi(\infty, t_0) = 2,00$.

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \phi(\infty, t_0)} = \frac{31000}{1 + 2,000} = 10333 \text{ MPa}$$

Moment rysujący:

$$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 2,6 \times 5184 \times 10^{-3} = 13,48 \text{ kNm}$$

Całkowity moment zginający $M_{Ed} = 44,17 \text{ kN}$ powoduje zarysowanie przekroju.

Sztywność elementu z uwzględnieniem pełzania betonu:

Sztywność na zginanie wyznaczona dla momentu $M = 44,17 \text{ kNm}$.

Wielkości geometryczne przekroju: $x_I = 18,5 \text{ cm}$ $I_I = 155941 \text{ cm}^4$
 $x_{II} = 12,9 \text{ cm}$ $I_{II} = 93229 \text{ cm}^4$

Sztywność elementu niezarysowanego:

$$B_I = E_{c,eff} I_I = 10333 \times 155941 \times 10^{-5} = 16114 \text{ kNm}^2$$

Sztywność elementu w pełni zarysowanego:

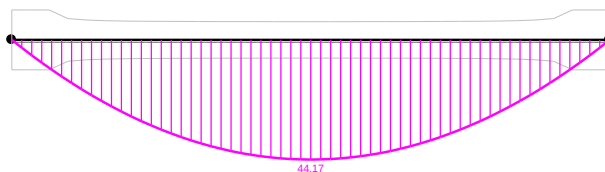
$$B_{II} = E_{c,eff} I_{II} = 10333 \times 93229 \times 10^{-5} = 9634 \text{ kNm}^2$$

Sztywność elementu:

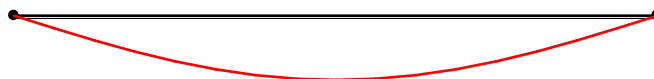
$$\zeta = 1 - \beta (\sigma_s / \sigma_s)^2 = 1 - \beta (M_{cr} / M)^2 = 1 - 0,50 \times (13,48 / 44,17)^2 = 0,953$$

$$1/B = \zeta 1/B_{II} + (1 - \zeta) 1/B_I$$

$$B = \frac{B_{II}}{\zeta + (1 - \zeta) B_{II} / B_I} = \frac{9634}{0,953 + (1 - 0,953) \times 9634 / 16114} = 9817 \text{ kNm}^2$$



Wykres sztywności i momentów dla obciążeń quasi-stałych.



Ugięcia.

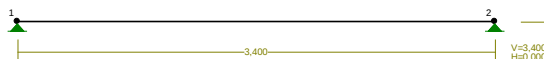
Ugięcie w punkcie o współrzędnej $x = 1,560$ m, wyznaczone poprzez całkowanie funkcji krzywizny osi pręta ($1/\rho$) z uwzględnieniem zmiany sztywności wzdłuż osi elementu, wynosi:

$$a = a_{\infty,d} = 4,5 \text{ mm}$$

$$a = 4,5 < 12,5 = a_{\text{lim}}$$

Poz. 4.1.

WĘZŁY:

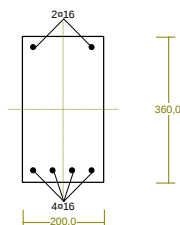


Wyniki wymiarowania elementu żelbetowego wg PN-EN-1992

RM_Zb1992 v. 1.43 licencja nr 46201

Cechy przekroju:

zadanie P-4.1, pręt nr 1, przekrój: $x_a=1,39$ m, $x_b=2,01$ m



Wymiary przekroju [cm]:

$$h=36,0, \quad b=20,0,$$

Cechy materiałowe dla sytuacji stałej lub przejściowej

BETON: C25/30

$$f_{ck} = 25,0 \text{ MPa}, \quad f_{cd} = \alpha \cdot f_{ck} / \gamma_c = 1,00 \times 25,0 / 1,40 = 17,9 \text{ MPa}$$

Cechy geometryczne przekroju betonowego:

$$A_c = 720 \text{ cm}^2, \quad J_{cy} = 77760 \text{ cm}^4, \quad J_{cz} = 24000 \text{ cm}^4$$

STAL: fyk=500

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}, \quad \gamma_s = 1,15, \quad f_{yd} = 435 \text{ MPa}$$

$$\xi_{\text{lim}} = 0,0035 / (0,0035 + f_{yd} / E_s) = 0,0035 / (0,0035 + 435 / 200000) = 0,617,$$

Zbrojenie główne:

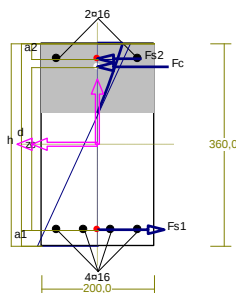
$$A_{s1} + A_{s2} = 12,06 \text{ cm}^2, \quad \rho = 100 (A_{s1} + A_{s2}) / A_c = 100 \times 12,06 / 720 = 1,68 \%,$$

$$J_{sy} = 2787 \text{ cm}^4, \quad J_{sz} = 440 \text{ cm}^4,$$

Nośność przekroju prostopadłego:

zadanie P-4.1, pręt nr 1, przekrój: $x_a=1,39$ m, $x_b=2,01$ m

Obliczenia wykonano dla kombinacji [CW A (a)] grup obciążeń, dla której warunek stanu granicznego nośności przekroju jest najniekorzystniejszy



Wielkości obliczeniowe:

$$N_{Ed}=0,00 \text{ kN},$$

$$M_{Ed}=\sqrt{(M_{Edy})^2 + M_{Edz}^2} = \sqrt{(-37,09^2+0,00^2)} = 37,09 \text{ kNm}$$

$$f_{cd}=17,9 \text{ MPa}, f_{yd}=435 \text{ MPa} = f_{td},$$

$$\text{Zbrojenie rozciągane: } A_{s1}=8,04 \text{ cm}^2,$$

$$\text{Zbrojenie ściskane: } A_{s2}=4,02 \text{ cm}^2,$$

$$A_s=A_{s1}+A_{s2}=12,06 \text{ cm}^2, \rho=100 \times A_s/A_c = 100 \times 12,06/720=1,68 \%$$

Wielkości geometryczne [cm]:

$$h=36,0, d=33,2, x=12,5 (\xi=0,375),$$

$$a_1=2,8, a_2=2,8, a_c=4,2, z_c=29,0, A_{cc}=249 \text{ cm}^2,$$

$$\varepsilon_c=-0,47 \text{ ‰}, \varepsilon_{s2}=-0,37 \text{ ‰}, \varepsilon_{s1}=0,79 \text{ ‰},$$

Wielkości statyczne [kN, kNm]:

$$F_c = -97,13, F_{s1} = 126,60, F_{s2} = -29,48,$$

$$M_c = 13,36, M_{s1} = 19,24, M_{s2} = 4,48,$$

Warunek stanu granicznego nośności:

$$M_{Rd} = 106,47 \text{ kNm} > M_{Ed} = M_c + M_{s1} + M_{s2} = 13,36 + (19,24) + (4,48) = 37,09 \text{ kNm}$$

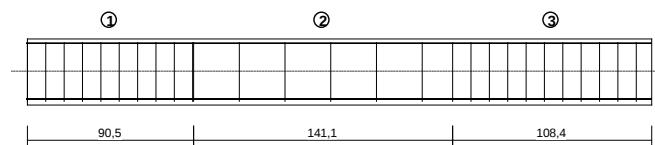
Zbrojenie poprzeczne (strzemiona)

zadanie P-4.1, pręt nr 1

Na całej długości pręta przyjęto strzemiona o średnicy $\phi=6 \text{ mm}$ ze stali $f_{yk}=400$, dla której $f_{ywd} = 348 \text{ MPa}$.

Minimalny stopień zbrojenia na ścinanie:

$$\rho_{w,min} = 0,08 \sqrt{f_{ck}} / f_{yk} = 0,08 \times \sqrt{25} / 500 = 0,00080$$



Rozstaw strzemion:

Strefa nr 1

Początek i koniec strefy: $x_a = 0,0$ $x_b = 90,5 \text{ cm}$

Maksymalny podłużny rozstaw strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 332 \times (1 + 0,000) = 249$$

przyjęto $s_{l,max} = 249 \text{ mm}$.

Maksymalny poprzeczny rozstaw ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 332 = 249 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{b,max} = 249 \text{ mm}$.

Maksymalny rozstaw strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm}.$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{200,0; 360,0\} = 200,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{cl,max} = 200,0 \text{ mm}$.

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 120,0 \text{ mm}$.

Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **10,0 cm**, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 0,57 / (10,0 \times 20,0 \times 1,000) = 0,00283$$

$$\rho_w = 0,00283 > 0,00080 = \rho_{w,min}$$

Strefa nr 2

Początek i koniec strefy: $x_a = 90,5$ $x_b = 231,6 \text{ cm}$

Maksymalny podłużny rozstaw strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 332 \times (1 + 0,000) = 249$$

przyjęto $s_{l,max} = 249 \text{ mm}$.

Maksymalny poprzeczny rozstaw ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 332 = 249 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{b,max} = 249 \text{ mm}$.

Maksymalny rozstawy strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm.}$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{200,0; 360,0\} = 200,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{cl,max} = 200,0 \text{ mm}$.

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 120,0 \text{ mm}$.

Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **24,9** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 0,57 / (24,9 \times 20,0 \times 1,000) = 0,00114$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00114} > \mathbf{0,00080} = \rho_{w \min}$$

Strefa nr 3

Początek i koniec strefy: $x_a = 231,6 \quad x_b = 340,0 \text{ cm}$

Maksymalny podłużny rozstaw strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 332 \times (1 + 0,000) = 249$$

przyjęto $s_{l,max} = 249 \text{ mm}$.

Maksymalny poprzeczny rozstaw ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 332 = 249 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{b,max} = 249 \text{ mm}$.

Maksymalny rozstawy strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm.}$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{200,0; 360,0\} = 200,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{cl,max} = 200,0 \text{ mm}$.

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 120,0 \text{ mm}$.

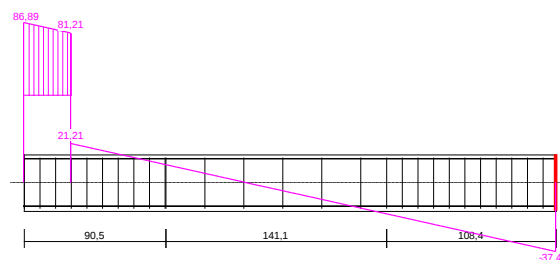
Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **10,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 0,57 / (10,0 \times 20,0 \times 1,000) = 0,00283$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00283} > \mathbf{0,00080} = \rho_{w \min}$$

Ścinanie

zadanie P-4.1, pręt nr 1, przekrój: $x_a = 3,40 \text{ m}$, $x_b = 0,00 \text{ m}$, obciążenia: CW A (a)



Siły przekrojowe:

$$N_{Ed} = 0,00;$$

$$V_{Ed} = -37,48 \text{ kN}$$

Nośność elementów niewymagających zbrojenia na ścinanie:

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \frac{8,04}{20,0 \times 33,2} = 0,01211; \quad \rho_l \leq 0,02$$

Przyjęto $\rho_l = 0,01211$.

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_C = 0,00 / 720,00 \times 10 = 0,00 \text{ MPa} \quad \sigma_{cp} \leq 0,2 f_{cd} = 3,58 \text{ MPa}$$

Przyjęto $\sigma_{cp} = 0,00 \text{ MPa}$.

$$k = 1 + \sqrt{200/d} = 1 + \sqrt{200/332,0} = 1,776 \quad k \leq 2,0$$

Przyjęto $k = 1,776$

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18/1,4 = 0,129$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,035 \times 1,776^{3/2} \times 25^{1/2} = 0,414$$

$$\begin{aligned} V_{Rd,c} &= [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d = \\ &= [0,129 \times 1,776 \times (100 \times 0,01211 \times 25)^{1/3} + 0,15 \times 0,00] \times 20,0 \times 33,2 \times 10^{-1} = 47,26 \text{ kN} \end{aligned}$$

lecz nie mniej niż

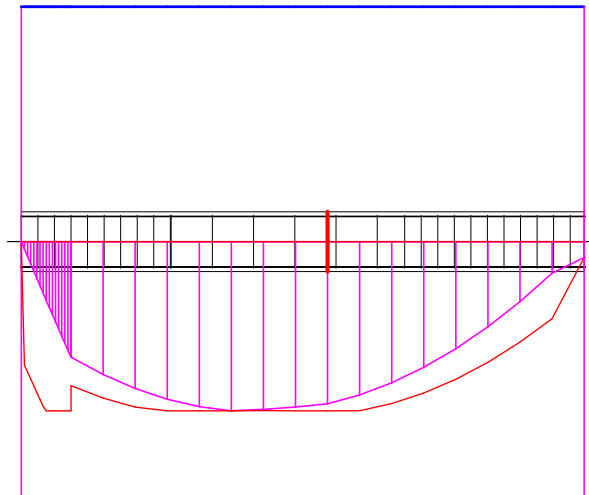
$$V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d = (0,414 + 0,15 \times 0,00) \times 20,0 \times 33,2 \times 10^{-1} = 27,51 \text{ kN}$$

Przyjęto $V_{Rd,c} = 47,26 \text{ kN}$

$$V_{Ed} = 37,48 < 47,26 = V_{Rdc}$$

Nośność zbrojenia podłużnego

zadanie P-4.1, pręt nr 1, obciążenia: CW A (a)



Sprawdzenie siły przenoszonej przez zbrojenie rozciągane dla $x = 1,850 \text{ m}$:

$$\Delta F_{td} = 0,5 |V_{Ed}| (\cot \theta - \cot \alpha) = 0,5 \times 8,13 \times (1,000 - 0,000) = 8,13 \text{ kN}$$

Sumaryczna siła w zbrojeniu rozciągany:

$$F_{td} = F_{td,m} + \Delta F_{td} = 120,63 + 8,13 = 128,77 \text{ kN};$$

$$F_{td} \leq F_{td,max} = 125,88 \text{ kN}$$

Przyjęto $F_{td} = 125,88 \text{ kN}$

$$F_{td} = 125,88 < 349,67 = 8,04 \times 435 \times 10^{-1} = A_s f_{yd}$$

Ograniczenie naprężeń (SGU)

zadanie P-4.1, pręt nr 1, przekrój: $x_a=1,46 \text{ m}$, $x_b=1,94 \text{ m}$, obciążenia: CW A

Ograniczenie naprężeń w betonie od charakterystycznej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia rys podłużnych, mikrorys i wysokiego pełzania:

$$\sigma_{ck} = 5,320 < 25,000 = 1,00 \times 25,0 = k_1 f_{ck}$$

Ograniczenie naprężeń w betonie od quasi-stałej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia pełzania nieliniowego:

$$\sigma_{cqs} = 5,320 < 11,250 = 0,45 \times 25,0 = k_2 f_{ck}$$

Ograniczenie naprężeń rozciągających w zbrojeniu od charakterystycznej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia niedopuszczalnego zarysowania lub deformacji:

$$\sigma_{sk} = 103,737 < 400,000 = 0,80 \times 500 = k_3 f_{yk}$$

Zarysowanie

zadanie P-4.1, pręt nr 1, obciążenia: CW A

Położenie przekroju:

$$x = 1,462 \text{ m}$$

Siły przekrojowe od obc. quasi-stałych:

$$M_{Ed} = 24,97 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 0,00 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = -0,49 \text{ kN}$$

Wymiary przekroju:

$$b_w = 20,0 \text{ cm}$$

$$d = h - a_1 = 36,0 - 2,8 = 33,2 \text{ cm}$$

$$A_c = 720 \text{ cm}^2$$

$$W_c = 4320 \text{ cm}^3$$

Minimalne zbrojenie:

Wymagane pole zbrojenia rozciąganego dla zginania, przy naprężeniach wywołanych przyczynami zewnętrznymi:

$$\sigma_c = N_{Ed} / bh = 0,00 / (20,0 \times 36,0) \times 10 = 0,000 \text{ Mpa}$$

$$k_c = 0,4 \left(1 - \frac{\sigma_c}{k_1 h / h^* f_{ct,eff}} \right) = 0,4 \times [1 - 0,000 / (0,800 \times 36,0 / 36,0 \times 2,60)] = 0,400; \quad k_c \leq 1,0$$

$$A_{s,min} = k_c k f_{ct,eff} A_{ct} / \sigma_s = \\ = 0,400 \times 1,0 \times 2,60 \times 360 / 500 = 0,75 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 8,04 > 0,75 = A_{s,min}$$

Zarysowanie:

$$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 2,6 \times 4320 \times 10^{-3} = 11,23 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 24,97 > 11,23 = M_{cr}$$

Przekrój zarysowany.

Szerokość rozwarcia rysy prostopadłej do osi pręta:

Przyjęto $k_2 = 0,500$.

$$\rho_{p,eff} = A_s / A_{c,eff} = 8,04 / 140 = 0,05745$$

Dla rozstawu prętów zbrojenia wynoszącego 48 mm, który jest nie większy niż $5(c + \phi/2)$

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff} = 3,400 \times 20,0 + 0,800 \times 0,500 \times 0,425 \times 16 / 0,05745 = 115,35 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = [\sigma_s - k_t f_{ct,eff} / \rho_{p,eff} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})] / E_s = \\ = [107,0 - 0,400 \times 2,60 / 0,05745 \times (1 + 200000 / 31000 \times 0,05745)] / 200000 = 0,00041$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} \leq 0,6 \sigma_s / E_s = 0,6 \times 107,0 / 200000 = 0,00032$$

Przejęto $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,00041$.

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 115,35 \times 0,00041 = 0,05 \text{ mm}$$

$$w_k = 0,05 < 0,4 = w_{lim}$$

Ugięcia

zadanie P-4.1, pręt nr 1, obciążenia: CW A

Ugięcia wyznaczono dla obciążeń quasi-stałych.

Współczynniki pełzania dla obciążeń długotrwałych przyjęto równy $\phi(\infty, t_0) = 2,00$.

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \phi(\infty, t_0)} = \frac{31000}{1 + 2,000} = 10333 \text{ MPa}$$

Moment rysujący:

$$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 2,6 \times 4320 \times 10^{-3} = 11,23 \text{ kNm}$$

Całkowity moment zginający $M_{Ed} = 24,97 \text{ kN}$ powoduje zarysowanie przekroju.

Sztywność elementu z uwzględnieniem pełzania betonu:

Sztywność na zginanie wyznaczona dla momentu $M = 24,97 \text{ kNm}$.

Wielkości geometryczne przekroju: $x_I = 19,2 \text{ cm}$ $I_I = 130238 \text{ cm}^4$
 $x_{II} = 14,3 \text{ cm}$ $I_{II} = 85391 \text{ cm}^4$

Sztywność elementu niezarysowanego:

$$B_I = E_{c,eff} I_I = 10333 \times 130238 \times 10^{-5} = 13458 \text{ kNm}^2$$

Sztywność elementu w pełni zarysowanego:

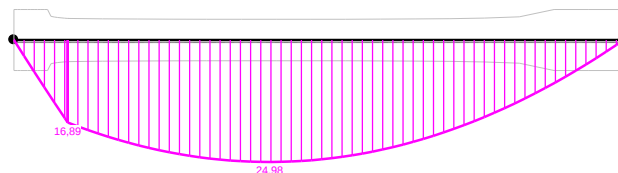
$$B_{II} = E_{c,eff} I_{II} = 10333 \times 85391 \times 10^{-5} = 8824 \text{ kNm}^2$$

Sztywność elementu:

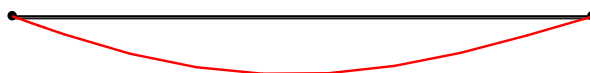
$$\zeta = 1 - \beta (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2 = 1 - \beta (M_{cr} / M)^2 = 1 - 0,50 \times (11,23/24,97)^2 = 0,899$$

$$1/B = \zeta 1/B_{II} + (1-\zeta) 1/B_I$$

$$B = \frac{B_{II}}{\zeta + (1-\zeta) B_{II} / B_I} = \frac{8824}{0,899 + (1-0,899) \times 8824 / 13458} = 9142 \text{ kNm}^2$$



Wykres sztywności i momentów dla obciążeń quasi-stałych.



Ugięcia.

Ugięcie w punkcie o współrzędnej $x = 1,559 \text{ m}$, wyznaczone poprzez całkowanie funkcji krzywizny osi pręta ($1/\rho$) z uwzględnieniem zmiany sztywności wzdłuż osi elementu, wynosi:

$$a = a_{\infty,d} = 3,3 \text{ mm}$$

$$a = 3,3 < 13,6 = a_{lim}$$

Poz. 4.4.

WEZŁY:

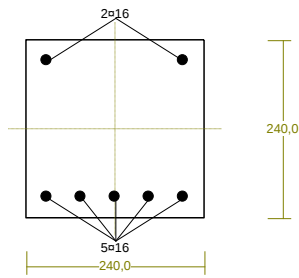


Wyniki wymiarowania elementu żelbetowego wg PN-EN-1992

RM_Zb1992 v. 1.43 licencja nr 46201

Cechy przekroju:

zadanie P-4.4, pręt nr 1, przekrój: $x_a=1,33$ m, $x_b=3,23$ m



Wymiary przekroju [cm]:

$$h=24,0, \quad b=24,0,$$

Cechy materiałowe dla sytuacji stałej lub przejściowej

BETON: C25/30

$$f_{ck}=25,0 \text{ MPa}, \quad f_{cd}=\alpha \cdot f_{ck} / \gamma_c = 1,00 \times 25,0 / 1,40 = 17,9 \text{ MPa}$$

Cechy geometryczne przekroju betonowego:

$$A_c=576 \text{ cm}^2, \quad J_{cy}=27648 \text{ cm}^4, \quad J_{cz}=27648 \text{ cm}^4$$

STAL: $f_{yk}=500$

$$f_{yk}=500 \text{ MPa}, \quad \gamma_s=1,15, \quad f_{yd}=435 \text{ MPa}$$

$$\xi_{lim}=0,0035 / (0,0035 + f_{yd} / E_s) = 0,0035 / (0,0035 + 435 / 200000) = 0,617,$$

Zbrojenie główne:

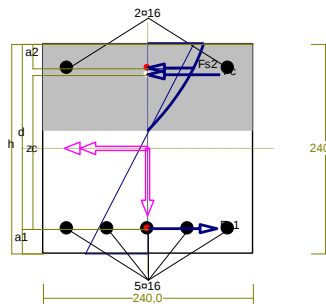
$$A_{s1}+A_{s2}=14,07 \text{ cm}^2, \quad \rho=100 (A_{s1}+A_{s2}) / A_c = 100 \times 14,07 / 576 = 2,44 \%,$$

$$J_{sy}=1191 \text{ cm}^4, \quad J_{sz}=766 \text{ cm}^4,$$

Nośność przekroju prostokątnego:

zadanie P-4.4, pręt nr 1, przekrój: $x_a=1,33$ m, $x_b=3,23$ m

Obliczenia wykonano dla kombinacji [CW A (a)] grup obciążeń, dla której warunek stanu granicznego nośności przekroju jest najniekorzystniejszy



Wielkości obliczeniowe:

$$N_{Ed}=0,00 \text{ kN},$$

$$M_{Ed}=\sqrt{(M_{Edy})^2 + (M_{Edz})^2} = \sqrt{(-53,63^2 + 0,00^2)} = 53,63 \text{ kNm}$$

$$f_{cd}=17,9 \text{ MPa}, \quad f_{yd}=435 \text{ MPa} = f_{td},$$

Zbrojenie rozciągane: $A_{s1}=10,05 \text{ cm}^2$,

Zbrojenie ściskane: $A_{s2}=4,02 \text{ cm}^2$,

$$A_s=A_{s1}+A_{s2}=14,07 \text{ cm}^2, \quad \rho=100 \times A_s / A_c = 100 \times 14,07 / 576 = 2,44 \%$$

Wielkości geometryczne [cm]:

$$h=24,0, \quad d=21,2, \quad x=10,0 \quad (\xi=0,472),$$

$$a_1=2,8, \quad a_2=2,8, \quad a_c=3,6, \quad z_c=17,6, \quad A_{cc}=240 \text{ cm}^2,$$

$$\varepsilon_c=-1,34 \text{ ‰}, \quad \varepsilon_{s2}=-0,96 \text{ ‰}, \quad \varepsilon_{s1}=1,50 \text{ ‰},$$

Wielkości statyczne [kN, kNm]:

$$F_c = -223,42, \quad F_{s1} = 300,90, \quad F_{s2} = -77,48,$$

$$M_c = 18,82, \quad M_{s1} = 27,68, \quad M_{s2} = 7,13,$$

Warunek stanu granicznego nośności:

$$M_{Rd} = 79,54 \text{ kNm} > M_{Ed} = M_c + M_{s1} + M_{s2} = 18,82 + (27,68) + (7,13) = 53,63 \text{ kNm}$$

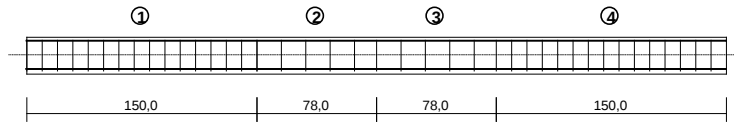
Zbrojenie poprzeczne (strzemiona)

zadanie P-4.4, pręt nr 1

Na całej długości pręta przyjęto strzemiona o średnicy $\phi=8$ mm ze stali $f_{yk}=400$, dla której $f_{ywd} = 348$ MPa.

Minimalny stopień zbrojenia na ścinanie:

$$\rho_{w,min} = 0,08 \sqrt{f_{ck}} / f_{yk} = 0,08 \times \sqrt{25} / 500 = 0,00080$$



Rozstaw strzemion:

Strefa nr 1

Początek i koniec strefy: $x_a = 0,0$ $x_b = 150,0$ cm

Maksymalny podłużny rozstaw strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 212 \times (1 + 0,000) = 159$$

przyjęto $s_{l,max} = 159$ mm.

Maksymalny poprzeczny rozstaw ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 212 = 159 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{b,max} = 159$ mm.

Maksymalny rozstaw strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm.}$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{240,0; 240,0\} = 240,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{cl,max} = 240,0$ mm.

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 144,0$ mm.

Przyjęto strzemiona 3-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **10,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 1,51 / (10,0 \times 24,0 \times 1,000) = 0,00628$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00628} > \mathbf{0,00080} = \rho_{w,min}$$

Strefa nr 2

Początek i koniec strefy: $x_a = 150,0$ $x_b = 228,0$ cm

Maksymalny podłużny rozstaw strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 212 \times (1 + 0,000) = 159$$

przyjęto $s_{l,max} = 159$ mm.

Maksymalny poprzeczny rozstaw ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 212 = 159 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{b,max} = 159$ mm.

Maksymalny rozstaw strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm.}$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{240,0; 240,0\} = 240,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{cl,max} = 240,0$ mm.

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 144,0$ mm.

Przyjęto strzemiona 3-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **15,9** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 1,51 / (15,9 \times 24,0 \times 1,000) = 0,00395$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00395} > \mathbf{0,00080} = \rho_{w,min}$$

Strefa nr 3

Początek i koniec strefy: $x_a = 228,0$ $x_b = 306,0$ cm

Maksymalny podłużny rozstaw strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 212 \times (1 + 0,000) = 159$$

przyjęto $s_{l,max} = 159$ mm.

Maksymalny poprzeczny rozstaw ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 212 = 159 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{b,max} = 159$ mm.

Maksymalny rozstaw strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm.}$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{240,0; 240,0\} = 240,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{cl,max} = 240,0$ mm.

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 144,0$ mm.

Przyjęto strzemiona 3-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **15,9** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 1,51 / (15,9 \times 24,0 \times 1,000) = 0,00395$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00395} > \mathbf{0,00080} = \rho_{w \min}$$

Strefa nr 4

Początek i koniec strefy: $x_a = 306,0$ $x_b = 456,0$ cm

Maksymalny podłużny rozstaw strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 212 \times (1 + 0,000) = 159$$

przyjęto $s_{l,max} = 159$ mm.

Maksymalny poprzeczny rozstaw ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 212 = 159 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{b,max} = 159$ mm.

Maksymalny rozstaw strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm.}$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{240,0; 240,0\} = 240,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{cl,max} = 240,0$ mm.

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 144,0$ mm.

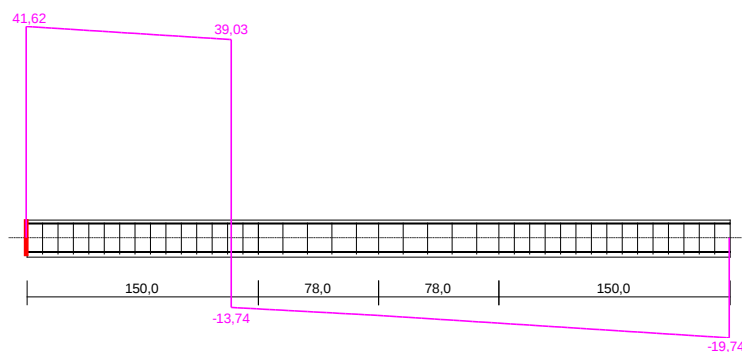
Przyjęto strzemiona 3-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **10,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 1,51 / (10,0 \times 24,0 \times 1,000) = 0,00628$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00628} > \mathbf{0,00080} = \rho_{w \min}$$

Ścinanie

zadanie P-4.4, pręt nr 1, przekrój: $x_a = 0,00$ m, $x_b = 4,56$ m, obciążenia: CW A (a)



Siły przekrojowe:

$$N_{Ed} = 0,00;$$

$$V_{Ed} = 41,62 \text{ kN}$$

Nośność elementów niewymagających zbrojenia na ścinanie:

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \frac{10,05}{24,0 \times 21,2} = 0,01976; \quad \rho_l \leq 0,02$$

Przyjęto $\rho_l = 0,01976$.

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0,00 / 576,00 \times 10 = 0,00 \text{ MPa} \quad \sigma_{cp} \leq 0,2 f_{cd} = 3,58 \text{ MPa}$$

Przyjęto $\sigma_{cp} = 0,00 \text{ MPa}$.

$$k = 1 + \sqrt{200/d} = 1 + \sqrt{200/212,0} = 1,971 \quad k \leq 2,0$$

Przyjęto $k = 1,971$

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18/1,4 = 0,129$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,035 \times 1,971^{3/2} \times 25^{1/2} = 0,484$$

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d = \\ = [0,129 \times 1,971 \times (100 \times 0,01976 \times 25)^{1/3} + 0,15 \times 0,00] \times 24,0 \times 21,2 \times 10^{-1} = 47,32 \text{ kN}$$

lecz nie mniej niż

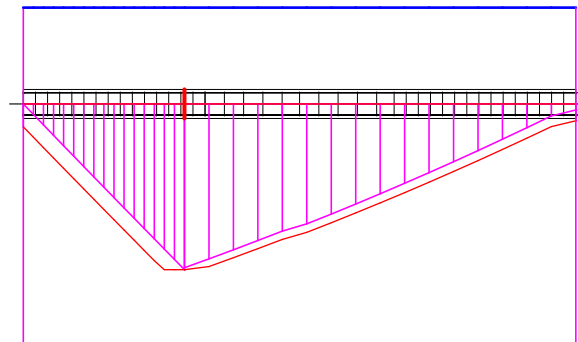
$$V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d = (0,484 + 0,15 \times 0,00) \times 24,0 \times 21,2 \times 10^{-1} = 24,64 \text{ kN}$$

Przyjęto $V_{Rd,c} = 47,32 \text{ kN}$

$$V_{Ed} = 41,62 < 47,32 = V_{Rdc}$$

Nośność zbrojenia podłużnego

zadanie P-4.4, pręt nr 1, obciążenia: CW A (b)



Sprawdzenie siły przenoszanej przez zbrojenie rozciągane dla $x = 1,330 \text{ m}$:

$$\Delta F_{td} = 0,5 |V_{Ed}| (\cot \theta - \cot \alpha) = 0,5 \times 41,62 \times (1,000 - 0,000) = 10,40 \text{ kN}$$

Sumaryczna siła w zbrojeniu rozciągającym:

$$F_{td} = F_{td,m} + \Delta F_{td} = 297,29 + 10,40 = 307,69 \text{ kN};$$

$$F_{td} \leq F_{td,max} = 300,90 \text{ kN}$$

Przyjęto $F_{td} = 300,90 \text{ kN}$

$$F_{td} = 300,90 < 437,09 = 10,05 \times 435 \times 10^{-1} = A_s f_{yd}$$

Ograniczenie naprężeń (SGU)

zadanie P-4.4, pręt nr 1, przekrój: $x_a=1,33 \text{ m}$, $x_b=3,23 \text{ m}$, obciążenia: CW A

Ograniczenie naprężeń w betonie od charakterystycznej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia rys podłużnych, mikrorys i wysokiego pęcznienia:

$$\sigma_{ck} = 12,155 < 25,000 = 1,00 \times 25,0 = k_1 f_{ck}$$

Ograniczenie naprężeń rozciągających w zbrojeniu od charakterystycznej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia niedopuszczalnego zarysowania lub deformacji:

$$\sigma_{sk} = 193,290 < 400,000 = 0,80 \times 500 = k_3 f_{yk}$$

Zarysowanie

zadanie P-4.4, pręt nr 1, obciążenia: CW A

Położenie przekroju:

$$x = 1,330 \text{ m}$$

Siły przekrojowe od obc. quasi-stałych:

$$M_{Ed} = 36,07 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 0,00 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 26,16 \text{ kN}$$

Wymiary przekroju:

$$b_w = 24,0 \text{ cm}$$

$$d = h - a_1 = 24,0 - 2,8 = 21,2 \text{ cm}$$

$$A_c = 576 \text{ cm}^2$$

$$W_c = 2304 \text{ cm}^3$$

Minimalne zbrojenie:

Wymagane pole zbrojenia rozciąganego dla zginania, przy naprężeniach wywołanych przyczynami zewnętrznymi:

$$\sigma_c = N_{Ed} / bh = 0,00 / (24,0 \times 24,0) \times 10 = 0,000 \text{ Mpa}$$

$$k_c = 0,4 \left(1 - \frac{\sigma_c}{k_1 h / h^* f_{ct,eff}} \right) = 0,4 \times [1 - 0,000 / (0,800 \times 24,0 / 24,0 \times 2,60)] = 0,400; \quad k_c \leq 1,0$$

$$A_{s,min} = k_c k f_{ct,eff} A_{ct} / \sigma_s = \\ = 0,400 \times 1,0 \times 2,60 \times 288 / 500 = 0,60 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 10,05 > 0,60 = A_{s,min}$$

Zarysowanie:

$$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 2,6 \times 2304 \times 10^{-3} = 5,99 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 36,07 > 5,99 = M_{cr}$$

Przekrój zarysowany.

Szerokość rozwarcia rysy prostopadłej do osi pręta:

Przyjęto $k_2 = 0,500$.

$$\rho_{p,eff} = A_s / A_{c,eff} = 10,05 / 106 = 0,09522$$

Dla rozstawu prętów zbrojenia wynoszącego 46 mm, który jest nie większy niż $5(c + \phi/2)$

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff} = 3,400 \times 20,0 + 0,800 \times 0,500 \times 0,425 \times 16 / 0,09522 = 96,57 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = [\sigma_s - k_t f_{ct,eff} / \rho_{p,eff} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})] / E_s = \\ = [201,0 - 0,400 \times 2,60 / 0,09522 \times (1 + 200000 / 31000 \times 0,09522)] / 200000 = 0,00092$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} \leq 0,6 \sigma_s / E_s = 0,6 \times 201,0 / 200000 = 0,00060$$

Przyjęto $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,00092$.

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 96,57 \times 0,00092 = 0,09 \text{ mm}$$

$$w_k = 0,09 < 0,4 = w_{lim}$$

Ugięcia

zadanie P-4.4, pręt nr 1, obciążenia: CW A

Ugięcia wyznaczono dla obciążeń quasi-stałych.

Współczynniki pełzania dla obciążeń długotrwałych przyjęto równy $\phi(\infty, t_0) = 2,00$.

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \phi(\infty, t_0)} = \frac{31000}{1 + 2,000} = 10333 \text{ MPa}$$

Moment rysujący:

$$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 2,6 \times 2304 \times 10^{-3} = 5,99 \text{ kNm}$$

Całkowity moment zginający $M_{Ed} = 36,07 \text{ kN}$ powoduje zarysowanie przekroju.

Sztywność elementu z uwzględnieniem pełzania betonu:

Sztywność na zginanie wyznaczona dla momentu $M = 36,07 \text{ kNm}$.

Wielkości geometryczne przekroju:

$$x_I = 13,3 \text{ cm} \quad I_I = 49345 \text{ cm}^4$$

$$x_{II} = 10,8 \text{ cm} \quad I_{II} = 36104 \text{ cm}^4$$

Sztywność elementu niezarysowanego:

$$B_I = E_{c,eff} I_I = 10333 \times 49345 \times 10^{-5} = 5099 \text{ kNm}^2$$

Sztywność elementu w pełni zarysowanego:

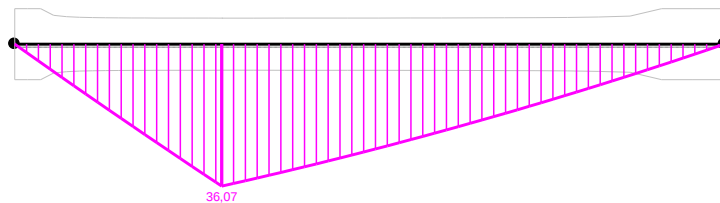
$$B_{II} = E_{c,eff} I_{II} = 10333 \times 36104 \times 10^{-5} = 3731 \text{ kNm}^2$$

Sztywność elementu:

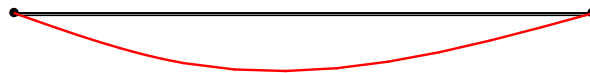
$$\zeta = 1 - \beta (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2 = 1 - \beta (M_{cr} / M)^2 = 1 - 0,50 \times (5,99/36,07)^2 = 0,986$$

$$1/B = \zeta 1/B_{II} + (1-\zeta) 1/B_I$$

$$B = \frac{B_{II}}{\zeta + (1-\zeta) B_{II} / B_I} = \frac{3731}{0,986 + (1-0,986) \times 3731/5099} = 3745 \text{ kNm}^2$$



Wykres sztywności i momentów dla obciążeń quasi-stałych.



Ugięcia.

Ugięcie w punkcie o współrzędnej $x = 2,138 \text{ m}$, wyznaczone poprzez całkowanie funkcji krzywizny osi pręta ($1/\rho$) z uwzględnieniem zmiany sztywności wzdłuż osi elementu, wynosi:

$$a = a_{\infty,d} = 16,5 \text{ mm}$$

$$a = 16,5 < 18,2 = a_{lim}$$

Poz. 4.7.

WEZŁY:

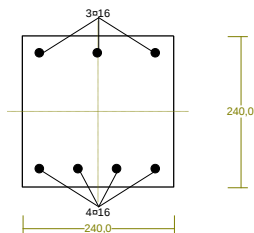


Wyniki wymiarowania elementu żelbetowego wg PN-EN-1992

RM_Zb1992 v. 1.43 licencja nr 46201

Cechy przekroju:

zadanie P-4.7, pręt nr 1, przekrój: $x_a=1,47$ m, $x_b=1,47$ m



Wymiary przekroju [cm]:

$$h=24,0, \quad b=24,0,$$

Cechy materiałowe dla sytuacji stałej lub przejściowej

BETON: C25/30

$$f_{ck}=25,0 \text{ MPa}, \quad f_{cd}=\alpha \cdot f_{ck} / \gamma_c = 1,00 \times 25,0 / 1,40 = 17,9 \text{ MPa}$$

Cechy geometryczne przekroju betonowego:

$$A_c=576 \text{ cm}^2, \quad J_{cy}=27648 \text{ cm}^4, \quad J_{cz}=27648 \text{ cm}^4$$

STAL: fyk=500

$$f_{yk}=500 \text{ MPa}, \quad \gamma_s=1,15, \quad f_{yd}=435 \text{ MPa}$$

$$\xi_{lim}=0,0035 / (0,0035 + f_{yd} / E_s) = 0,0035 / (0,0035 + 435 / 200000) = 0,617,$$

Zbrojenie główne:

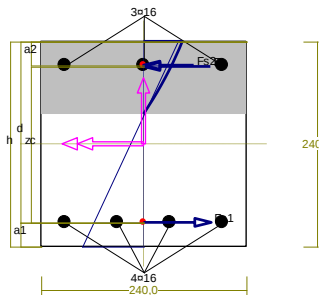
$$A_{s1}+A_{s2}=14,07 \text{ cm}^2, \quad \rho=100 (A_{s1}+A_{s2}) / A_c = 100 \times 14,07 / 576 = 2,44 \%,$$

$$J_{sy}=1191 \text{ cm}^4, \quad J_{sz}=719 \text{ cm}^4,$$

Nośność przekroju prostokątnego:

zadanie P-4.7, pręt nr 1, przekrój: $x_a=2,20$ m, $x_b=0,73$ m

Obliczenia wykonano dla kombinacji [CW A (a)] grup obciążeń, dla której warunek stanu granicznego nośności przekroju jest najniekorzystniejszy



Wielkości obliczeniowe:

$$N_{Ed}=0,00 \text{ kN},$$

$$M_{Ed}=\sqrt{(M_{Edy})^2 + (M_{Edz})^2} = \sqrt{(-34,45)^2 + 0,00^2} = 34,45 \text{ kNm}$$

$$f_{cd}=17,9 \text{ MPa}, \quad f_{yd}=435 \text{ MPa} = f_{td},$$

Zbrojenie rozciągane: $A_{s1}=8,04 \text{ cm}^2$,

Zbrojenie ściskane: $A_{s2}=6,03 \text{ cm}^2$,

$$A_s=A_{s1}+A_{s2}=14,07 \text{ cm}^2, \quad \rho=100 \times A_s / A_c = 100 \times 14,07 / 576 = 2,44 \%$$

Wielkości geometryczne [cm]:

$$h=24,0, \quad d=21,2, \quad x=8,5 \quad (\xi=0,401),$$

$$a_1=2,8, \quad a_2=2,8, \quad a_c=2,9, \quad z_c=18,3, \quad A_{cc}=204 \text{ cm}^2,$$

$$\varepsilon_c=-0,78 \text{ ‰}, \quad \varepsilon_{s2}=-0,53 \text{ ‰}, \quad \varepsilon_{s1}=1,17 \text{ ‰},$$

Wielkości statyczne [kN, kNm]:

$$F_c=-124,68, \quad F_{s1}=188,19, \quad F_{s2}=-63,51,$$

$$M_c=11,29, \quad M_{s1}=17,31, \quad M_{s2}=5,84,$$

Warunek stanu granicznego nośności:

$$M_{Rd}=65,65 \text{ kNm} > M_{Ed}=M_c+M_{s1}+M_{s2}=11,29+(17,31)+(5,84)=34,45 \text{ kNm}$$

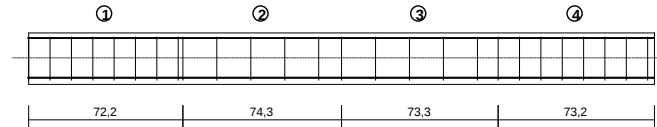
Zbrojenie poprzeczne (strzemiona)

zadanie P-4.7, pręt nr 1

Na całej długości pręta przyjęto strzemiona o średnicy $\phi=6$ mm ze stali $f_{yk}=400$, dla której $f_{ywd} = 348$ MPa.

Minimalny stopień zbrojenia na ścinanie:

$$\rho_{w,min} = 0,08 \sqrt{f_{ck}} / f_{yk} = 0,08 \times \sqrt{25} / 500 = 0,00080$$



Rozstaw strzemion:

Strefa nr 1

Początek i koniec strefy: $x_a = 0,0$ $x_b = 72,2$ cm

Maksymalny podłużny rozstaw strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 212 \times (1 + 0,000) = 159$$

przyjęto $s_{l,max} = 159$ mm.

Maksymalny poprzeczny rozstaw ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 212 = 159 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{b,max} = 159$ mm.

Maksymalny rozstaw strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm.}$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{240,0; 240,0\} = 240,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{cl,max} = 240,0$ mm.

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 144,0$ mm.

Przyjęto strzemiona 3-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **10,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 0,85 / (10,0 \times 24,0 \times 1,000) = 0,00353$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00353} > \mathbf{0,00080} = \rho_{w,min}$$

Strefa nr 2

Początek i koniec strefy: $x_a = 72,2$ $x_b = 146,5$ cm

Maksymalny podłużny rozstaw strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 212 \times (1 + 0,000) = 159$$

przyjęto $s_{l,max} = 159$ mm.

Maksymalny poprzeczny rozstaw ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 212 = 159 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{b,max} = 159$ mm.

Maksymalny rozstaw strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm.}$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{240,0; 240,0\} = 240,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{cl,max} = 240,0$ mm.

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 144,0$ mm.

Przyjęto strzemiona 3-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **15,9** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 0,85 / (15,9 \times 24,0 \times 1,000) = 0,00222$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00222} > \mathbf{0,00080} = \rho_{w,min}$$

Strefa nr 3

Początek i koniec strefy: $x_a = 146,5$ $x_b = 219,8$ cm

Maksymalny podłużny rozstaw strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 212 \times (1 + 0,000) = 159$$

przyjęto $s_{l,max} = 159$ mm.

Maksymalny poprzeczny rozstaw ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 212 = 159 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{b,max} = 159$ mm.

Maksymalny rozstaw strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm.}$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{240,0; 240,0\} = 240,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{cl,max} = 240,0$ mm.

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 144,0$ mm.

Przyjęto strzemiona 3-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **15,9** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 0,85 / (15,9 \times 24,0 \times 1,000) = 0,00222$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00222} > \mathbf{0,00080} = \rho_{w \min}$$

Strefa nr 4

Początek i koniec strefy: $x_a = 219,8$ $x_b = 293,0$ cm

Maksymalny podłużny rozstaw strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 212 \times (1 + 0,000) = 159$$

przyjęto $s_{l,max} = 159$ mm.

Maksymalny poprzeczny rozstaw ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 212 = 159 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{b,max} = 159$ mm.

Maksymalny rozstaw strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm.}$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{240,0; 240,0\} = 240,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{cl,max} = 240,0$ mm.

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 144,0$ mm.

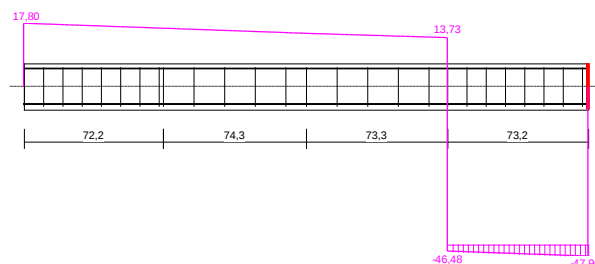
Przyjęto strzemiona 3-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **10,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 0,85 / (10,0 \times 24,0 \times 1,000) = 0,00353$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00353} > \mathbf{0,00080} = \rho_{w \min}$$

Ścinanie

zadanie P-4.7, pręt nr 1, przekrój: $x_a = 2,93$ m, $x_b = 0,00$ m, obciążenia: CW A (a)



Siły przekrojowe:

$$N_{Ed} = 0,00;$$

$$V_{Ed} = -47,90 \text{ kN}$$

Nośność elementów niewymagających zbrojenia na ścinanie:

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \frac{8,04}{24,0 \times 21,2} = 0,01581; \quad \rho_l \leq 0,02$$

Przyjęto $\rho_l = 0,01581$.

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_C = 0,00 / 576,00 \times 10 = 0,00 \text{ MPa} \quad \sigma_{cp} \leq 0,2 f_{cd} = 3,58 \text{ MPa}$$

Przyjęto $\sigma_{cp} = 0,00 \text{ MPa}$.

$$k = 1 + \sqrt{200/d} = 1 + \sqrt{200/212,0} = 1,971 \quad k \leq 2,0$$

Przyjęto $k = 1,971$

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18/1,4 = 0,129$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,035 \times 1,971^{3/2} \times 25^{1/2} = 0,484$$

$$\begin{aligned} V_{Rd,c} &= [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d = \\ &= [0,129 \times 1,971 \times (100 \times 0,01581 \times 25)^{1/3} + 0,15 \times 0,00] \times 24,0 \times 21,2 \times 10^{-1} = 43,92 \text{ kN} \end{aligned}$$

lecz nie mniej niż

$$V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d = (0,484 + 0,15 \times 0,00) \times 24,0 \times 21,2 \times 10^{-1} = 24,64 \text{ kN}$$

Przyjęto $V_{Rd,c} = 43,92 \text{ kN}$

$$V_{Ed} = 47,90 > 43,92 = V_{Rd,c}$$

Nośność elementów wymagających obliczenia zbrojenia na ścinanie:

Przyjęto kąt $\theta = 26,6^\circ$

Nośność krzyżulców betonowych:

$$v_1 = 0,6 (1 - f_{ck} / 250) = 0,6 \times (1 - 25/250) = 0,540$$

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd} \frac{\cot \theta + \cot \alpha}{1 + \cot^2 \theta} = 1,0 \times 24,0 \times 18,3 \times 0,540 \times 17,9 \times \frac{2,00 + 0,00}{1 + 2,00^2} \times 10^{-1} = 169,56 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 47,90 < 169,56 = V_{Rd,max}$$

Siła poprzeczna do wyznaczania zbrojenia określono na podstawie 6.2.3 (5):

$$V_{Ed} = -47,58 \text{ kN}$$

Strzemiona:

Przyjęto pole przekroju poprzecznego strzemion $A_{sw} = 0,848 \text{ cm}^2$.

Nośność strzemien:

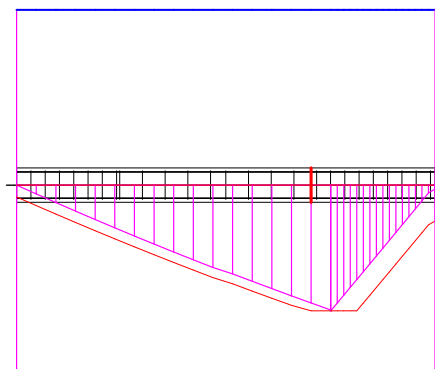
$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} (\cot \theta + \cot \alpha) \sin \alpha = \frac{0,848}{10,0} \times 18,3 \times 347,8 \times (2,0 + 0,0) \times 1,00 \times 10^{-1} = 107,56 \text{ kN}$$

Sprawdzenie nośności zbrojenia na ścinanie:

$$V_{Ed} = 47,58 < 107,56 = V_{Rd,s}$$

Nośność zbrojenia podłużnego

zadanie P-4.7, pręt nr 1, obciążenia: CW A (b)



Sprawdzenie siły przenoszanej przez zbrojenie rozciągane dla $x = 2,063$ m:

$$\Delta F_{td} = 0,5 |V_{Ed}| (\cot \theta - \cot \alpha) = 0,5 \times 13,96 \times (1,997 - 0,000) = 13,96 \text{ kN}$$

Sumaryczna siła w zbrojeniu rozciągającym:

$$F_{td} = F_{td,m} + \Delta F_{td} = 176,41 + 13,96 = 190,37 \text{ kN};$$

$$F_{td} \leq F_{td,max} = 188,19 \text{ kN}$$

Przyjęto $F_{td} = 188,19 \text{ kN}$

$$F_{td} = 188,19 < 349,67 = 8,04 \times 435 \times 10^{-1} = A_s f_{yd}$$

Ograniczenie naprężeń (SGU)

zadanie P-4.7, pręt nr 1, przekrój: $x_a = 2,20$ m, $x_b = 0,73$ m, obciążenia: CW A

Ograniczenie naprężeń w betonie od charakterystycznej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia rys podłużnych, mikrorys i wysokiego pełzania:

$$\sigma_{ck} = 8,438 < 25,000 = 1,00 \times 25,0 = k_1 f_{ck}$$

Ograniczenie naprężeń w betonie od quasi-stałej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia pełzania nieliniowego:

$$\sigma_{q,s} = 8,438 < 11,250 = 0,45 \times 25,0 = k_2 f_{ck}$$

Ograniczenie naprężeń rozciągających w zbrojeniu od charakterystycznej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia niedopuszczalnego zarysowania lub deformacji:

$$\sigma_{sk} = 152,820 < 400,000 = 0,80 \times 500 = k_3 f_{yk}$$

Zarysowanie

zadanie P-4.7, pręt nr 1, obciążenia: CW A

Położenie przekroju:

$$x = 2,200 \text{ m}$$

Siły przekrojowe od obc. quasi-stałych:

$$M_{Ed} = 23,08 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 0,00 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 8,91 \text{ kN}$$

Wymiary przekroju:

$$b_w = 24,0 \text{ cm}$$

$$d = h - a_1 = 24,0 - 2,8 = 21,2 \text{ cm}$$

$$A_c = 576 \text{ cm}^2$$

$$W_c = 2304 \text{ cm}^3$$

Minimalne zbrojenie:

Wymagane pole zbrojenia rozciąganego dla zginania, przy naprężeniach wywołanych przyczynami zewnętrznymi:

$$\sigma_c = N_{Ed} / bh = 0,00 / (24,0 \times 24,0) \times 10 = 0,000 \text{ Mpa}$$

$$k_c = 0,4 \left(1 - \frac{\sigma_c}{k_1 h / h^* f_{ct,eff}} \right) = 0,4 \times [1 - 0,000 / (0,800 \times 24,0 / 24,0 \times 2,60)] = 0,400; \quad k_c \leq 1,0$$

$$\begin{aligned} A_{s,min} &= k_c k f_{ct,eff} A_{ct} / \sigma_s = \\ &= 0,400 \times 1,0 \times 2,60 \times 288 / 500 = 0,60 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A_s = 8,04 > 0,60 = A_{s,min}$$

Zarysowanie:

$$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 2,6 \times 2304 \times 10^{-3} = 5,99 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 23,08 > 5,99 = M_{cr}$$

Przekrój zarysowany.

Szerokość rozwarcia rysy prostopadłej do osi pręta:

Przyjęto $k_2 = 0,500$.

$$\rho_{p,eff} = A_s / A_{c,eff} = 8,04 / 117 = 0,06891$$

Dla rozstawu prętów zbrojenia wynoszącego 61,3 mm, który jest nie większy niż $5(c+\phi/2)$

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff} = 3,400 \times 20,0 + 0,800 \times 0,500 \times 0,425 \times 16 / 0,06891 = 107,47 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} &= [\sigma_s - k_t f_{ct,eff} / \rho_{p,eff} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})] / E_s = \\ &= [157,6 - 0,400 \times 2,60 / 0,06891 \times (1 + 200000 / 31000 \times 0,06891)] / 200000 = 0,00068 \end{aligned}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} \leq 0,6 \sigma_s / E_s = 0,6 \times 157,6 / 200000 = 0,00047$$

Przejęto $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,00068$.

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 107,47 \times 0,00068 = 0,07 \text{ mm}$$

$$w_k = 0,07 < 0,4 = w_{lim}$$

Ugięcia

zadanie P-4.7, pręt nr 1, obciążenia: CW A

Ugięcia wyznaczono dla obciążeń quasi-stałych.

Współczynniki pełzania dla obciążeń długotrwałych przyjęto równy $\phi(\infty, t_0) = 2,00$.

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \phi(\infty, t_0)} = \frac{31000}{1 + 2,00} = 10333 \text{ MPa}$$

Moment rysujący:

$$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 2,6 \times 2304 \times 10^{-3} = 5,99 \text{ kNm}$$

Całkowity moment zginający $M_{Ed} = 23,08 \text{ kN}$ powoduje zarysowanie przekroju.

Sztywność elementu z uwzględnieniem pełzania betonu:

Sztywność na zginanie wyznaczona dla momentu $M = 23,08 \text{ kNm}$.

Wielkości geometryczne przekroju:	$x_I = 12,4 \text{ cm}$	$I_I = 50553 \text{ cm}^4$
	$x_{II} = 9,4 \text{ cm}$	$I_{II} = 33404 \text{ cm}^4$

Sztywność elementu niezarysowanego:

$$B_I = E_{c,eff} I_I = 10333 \times 50553 \times 10^{-5} = 5224 \text{ kNm}^2$$

Sztywność elementu w pełni zarysowanego:

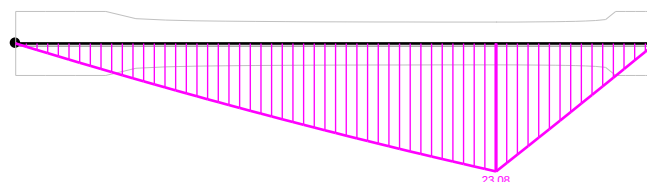
$$B_{II} = E_{c,eff} I_{II} = 10333 \times 33404 \times 10^{-5} = 3452 \text{ kNm}^2$$

Sztywność elementu:

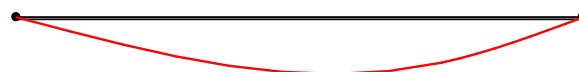
$$\zeta = 1 - \beta (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2 = 1 - \beta (M_{cr} / M)^2 = 1 - 0,50 \times (5,99 / 23,08)^2 = 0,966$$

$$1/B = \zeta 1/B_{II} + (1 - \zeta) 1/B_I$$

$$B = \frac{B_{II}}{\zeta + (1 - \zeta) B_{II} / B_I} = \frac{3452}{0,966 + (1 - 0,966) \times 3452 / 5224} = 3492 \text{ kNm}^2$$



Wykres sztywności i momentów dla obciążeń quasi-stałych.



Ugięcia.

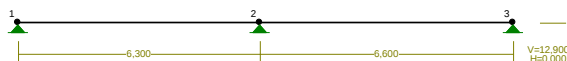
Ugięcie w punkcie o współrzędnej $x = 1,650$ m, wyznaczone poprzez całkowanie funkcji krzywizny osi pręta ($1/\rho$) z uwzględnieniem zmiany sztywności wzdłuż osi elementu, wynosi:

$$a = a_{\infty,d} = 4,5 \text{ mm}$$

$$a = 4,5 < 11,7 = a_{\text{lim}}$$

Poz. 4.8.1.

WEZŁY:

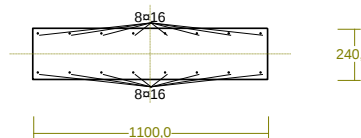


Wyniki wymiarowania elementu żelbetowego wg PN-EN-1992

RM_Zb1992 v. 1.43 licencja nr 46201

Cechy przekroju:

zadanie P-4.8 z szerszym elementem, pręt nr 1, przekrój: $x_a=6,30$ m, $x_b=0,00$ m



Wymiary przekroju [cm]:

$$h=24,0, \quad b=110,0,$$

Cechy materiałowe dla sytuacji stałej lub przejściowej

BETON: C12/15

$$f_{ck} = 12,0 \text{ MPa}, \quad f_{cd} = \alpha \cdot f_{ck} / \gamma_c = 1,00 \times 12,0 / 1,40 = 8,6 \text{ MPa}$$

Cechy geometryczne przekroju betonowego:

$$A_c = 2640 \text{ cm}^2, \quad J_{cy} = 126720 \text{ cm}^4, \quad J_{cz} = 2662000 \text{ cm}^4$$

STAL: $f_{yk}=500$

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}, \quad \gamma_s = 1,15, \quad f_{yd} = 435 \text{ MPa}$$

$$\zeta_{\text{lim}} = 0,0035 / (0,0035 + f_{yd} / E_s) = 0,0035 / (0,0035 + 435 / 200000) = 0,617,$$

Zbrojenie główne:

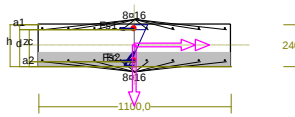
$$A_{s1} + A_{s2} = 32,17 \text{ cm}^2, \quad \rho = 100 (A_{s1} + A_{s2}) / A_c = 100 \times 32,17 / 2640 = 1,22 \%,$$

$$J_{sy} = 2723 \text{ cm}^4, \quad J_{sz} = 37568 \text{ cm}^4,$$

Nośność przekroju prostokątnego:

zadanie P-4.8 z szerszym elementem, pręt nr 1, przekrój: $x_a=6,30$ m, $x_b=0,00$ m

Obliczenia wykonano dla kombinacji [CW A (a)] grup obciążeń, dla której warunek stanu granicznego nośności przekroju jest najniekorzystniejszy



Wielkości obliczeniowe:

$$N_{Ed}=0,00 \text{ kN},$$

$$M_{Ed}=\sqrt{(M_{Edy}^2 + M_{Edz}^2)} = \sqrt{(100,94^2 + 0,00^2)} = 100,94 \text{ kNm}$$

$$f_{cd}=8,6 \text{ MPa}, f_{yd}=435 \text{ MPa} = f_{td},$$

Zbrojenie rozciągane: $A_{s1}=16,08 \text{ cm}^2$,

Zbrojenie ściskane: $A_{s2}=16,08 \text{ cm}^2$,

$$A_s=A_{s1}+A_{s2}=32,17 \text{ cm}^2, \rho=100 \times A_s/A_c = 100 \times 32,17/2640=1,22 \%$$

Wielkości geometryczne [cm]:

$$h=24,0, d=21,2, x=8,1 (\xi=0,380),$$

$$a_1=2,8, a_2=2,8, a_c=2,8, z_c=18,4, A_{cc}=886 \text{ cm}^2,$$

$$\varepsilon_c=-1,05 \text{ ‰}, \varepsilon_{s2}=-0,68 \text{ ‰}, \varepsilon_{s1}=1,71 \text{ ‰},$$

Wielkości statyczne [kN, kNm]:

$$F_c = -329,36, F_{s1} = 549,08, F_{s2} = -219,72,$$

$$M_c = 30,21, M_{s1} = 50,52, M_{s2} = 20,21,$$

Warunek stanu granicznego nośności:

$$M_{Rd} = 132,06 \text{ kNm} > M_{Ed} = M_c + M_{s1} + M_{s2} = 30,21 + (50,52) + (20,21) = 100,94 \text{ kNm}$$

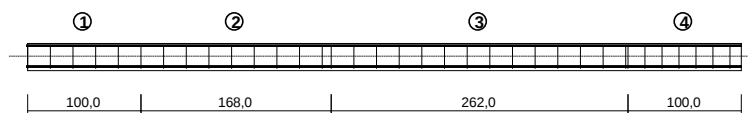
Zbrojenie poprzeczne (strzemiona)

zadanie P-4.8 z szerszym elementem, pręt nr 1

Na całej długości pręta przyjęto strzemiona o średnicy $\phi=8 \text{ mm}$ ze stali $f_{yk}=500$, dla której $f_{ywd} = 435 \text{ MPa}$.

Minimalny stopień zbrojenia na ścinanie:

$$\rho_{w,min} = 0,08 \sqrt{f_{ck}} / f_{yk} = 0,08 \times \sqrt{12} / 500 = 0,00055$$



Rozstaw strzemion:

Strefa nr 1

Początek i koniec strefy: $x_a = 0,0$ $x_b = 100,0 \text{ cm}$

Maksymalny podłużny rozstaw strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 212 \times (1 + 0,000) = 159$$

przyjęto $s_{l,max} = 159 \text{ mm}$.

Maksymalny poprzeczny rozstaw ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 212 = 159 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{b,max} = 159 \text{ mm}$.

Maksymalny rozstaw strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm}.$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{1100,0; 240,0\} = 240,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{cl,max} = 240,0 \text{ mm}$.

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 144,0 \text{ mm}$.

Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **20,0 cm**, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 1,01 / (20,0 \times 110,0 \times 1,000) = 0,00046$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00046} < \mathbf{0,00055} = \rho_{w \min}$$

Strefa nr 2

Początek i koniec strefy: $x_a = 100,0$ $x_b = 268,0$ cm

Maksymalny podłużny rozstawy strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 212 \times (1 + 0,000) = 159$$

przyjęto $s_{l,max} = 159$ mm.

Maksymalny poprzeczny rozstawy ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 212 = 159 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{b,max} = 159$ mm.

Maksymalny rozstawy strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm.}$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{1100,0; 240,0\} = 240,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{cl,max} = 240,0$ mm.

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion 0,6 $s_{cl,max} = 144,0$ mm.

Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **20,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 1,01 / (20,0 \times 110,0 \times 1,000) = 0,00046$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00046} < \mathbf{0,00055} = \rho_{w \min}$$

Strefa nr 3

Początek i koniec strefy: $x_a = 268,0$ $x_b = 530,0$ cm

Maksymalny podłużny rozstawy strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 212 \times (1 + 0,000) = 159$$

przyjęto $s_{l,max} = 159$ mm.

Maksymalny poprzeczny rozstawy ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 212 = 159 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{b,max} = 159$ mm.

Maksymalny rozstawy strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm.}$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{1100,0; 240,0\} = 240,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{cl,max} = 240,0$ mm.

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion 0,6 $s_{cl,max} = 144,0$ mm.

Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **20,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 1,01 / (20,0 \times 110,0 \times 1,000) = 0,00046$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00046} < \mathbf{0,00055} = \rho_{w \min}$$

Strefa nr 4

Początek i koniec strefy: $x_a = 530,0$ $x_b = 630,0$ cm

Maksymalny podłużny rozstawy strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 212 \times (1 + 0,000) = 159$$

przyjęto $s_{l,max} = 159$ mm.

Maksymalny poprzeczny rozstawy ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 212 = 159 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{b,max} = 159$ mm.

Maksymalny rozstawy strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm.}$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{1100,0; 240,0\} = 240,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{cl,max} = 240,0$ mm.

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 144,0 \text{ mm}$.

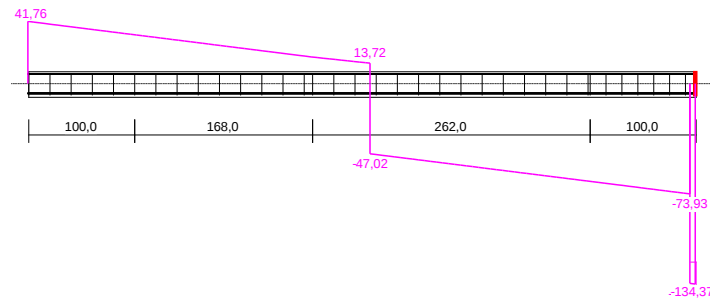
Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **15,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 1,01 / (15,0 \times 110,0 \times 1,000) = 0,00061$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00061} > \mathbf{0,00055} = \rho_{w \min}$$

Ścinanie

zadanie P-4.8 z szerszym elementem, pręt nr 1, przekrój: $x_a=6,30 \text{ m}$, $x_b=0,00 \text{ m}$, obciążenia: CW A (a)



Siły przekrojowe:

$$N_{Ed} = 0,00;$$

$$V_{Ed} = -134,37 \text{ kN}$$

Nośność elementów niewymagających zbrojenia na ścinanie:

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \frac{16,08}{110,0 \times 21,2} = 0,00690; \quad \rho_l \leq 0,02$$

Przyjęto $\rho_l = 0,00690$.

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0,00 / 2640,00 \times 10 = 0,00 \text{ MPa} \quad \sigma_{cp} \leq 0,2 f_{cd} = 1,72 \text{ MPa}$$

Przyjęto $\sigma_{cp} = 0,00 \text{ MPa}$.

$$k = 1 + \sqrt{200/d} = 1 + \sqrt{200/212,0} = 1,971 \quad k \leq 2,0$$

Przyjęto $k = 1,971$

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,4 = 0,129$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,035 \times 1,971^{3/2} \times 12^{1/2} = 0,336$$

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d = \\ = [0,129 \times 1,971 \times (100 \times 0,00690 \times 12)^{1/3} + 0,15 \times 0,00] \times 110,0 \times 21,2 \times 10^{-1} = 119,56 \text{ kN}$$

lecz nie mniej niż

$$V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d = (0,336 + 0,15 \times 0,00) \times 110,0 \times 21,2 \times 10^{-1} = 78,25 \text{ kN}$$

Przyjęto $V_{Rd,c} = 119,56 \text{ kN}$

$$V_{Ed} = \mathbf{134,37} > \mathbf{119,56} = V_{Rd,c}$$

Nośność elementów wymagających obliczenia zbrojenia na ścinanie:

Przyjęto kąt $\theta = 26,6^\circ$

Nośność krzyżulców betonowych:

$$v_1 = 0,6 (1 - f_{ck} / 250) = 0,6 \times (1 - 12/250) = 0,571$$

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd} \frac{\cot\theta + \cot\alpha}{1 + \cot^2\theta} = 1,0 \times 110,0 \times 18,4 \times 0,571 \times 8,6 \times \frac{2,00+0,00}{1+2,00^2} \times 10^{-1} = 397,46 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 134,37 < 397,46 = V_{Rd,max}$$

Siła poprzeczna do wyznaczania zbrojenia określono na podstawie 6.2.3 (5):

$$V_{Ed} = -134,37 \text{ kN}$$

Strzemiona:

Przyjęto pole przekroju poprzecznego strzemion $A_{sw} = 1,005 \text{ cm}^2$.

Nośność strzemien:

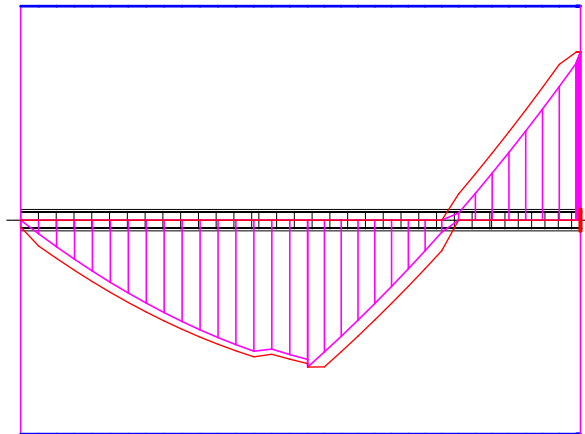
$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} (\cot\theta + \cot\alpha) \sin\alpha = \frac{1,005}{15,0} \times 18,4 \times 434,8 \times (2,0+0,0) \times 1,00 \times 10^{-1} = 106,91 \text{ kN}$$

Sprawdzenie nośności zbrojenia na ścinanie:

$$V_{Ed} = 134,37 > 106,91 = V_{Rd,s}$$

Nośność zbrojenia podłużnego

zadanie P-4.8 z szerszym elementem, pręt nr 1, obciążenia: CW A (a)



Sprawdzenie siły przenoszanej przez zbrojenie rozciągane dla $x = 6,300 \text{ m}$:

$$\Delta F_{td} = 0,5 |V_{Ed}| (\cot\theta - \cot\alpha) = 0,5 \times 134,37 \times (1,997 - 0,000) = 134,17 \text{ kN}$$

Sumaryczna siła w zbrojeniu rozciągającym:

$$F_{td} = F_{td,m} + \Delta F_{td} = 549,08 + 134,17 = 683,25 \text{ kN};$$

$$F_{td} \leq F_{td,max} = 549,08 \text{ kN}$$

Przyjęto $F_{td} = 549,08 \text{ kN}$

$$F_{td} = 549,08 < 699,35 = 16,08 \times 435 \times 10^{-1} = A_s f_{yd}$$

Ograniczenie naprężeń (SGU)

zadanie P-4.8 z szerszym elementem, pręt nr 1, przekrój: $x_a = 6,30 \text{ m}$, $x_b = 0,00 \text{ m}$, obciążenia: CW A

Ograniczenie naprężeń w betonie od charakterystycznej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia rys podłużnych, mikrorys i wysokiego pełzania:

$$\sigma_{ck} = 4,115 < 12,000 = 1,00 \times 12,0 = k_1 f_{ck}$$

Ograniczenie naprężeń w betonie od quasi-stałej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia pełzania nieliniowego:

$$\sigma_{cqs} = 4,115 < 5,400 = 0,45 \times 12,0 = k_2 f_{ck}$$

Ograniczenie naprężeń rozciągających w zbrojeniu od charakterystycznej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia niedopuszczalnego zarysowania lub deformacji:

$$\sigma_{sk} = 223,715 < 400,000 = 0,80 \times 500 = k_3 f_{yk}$$

Zarysowanie

zadanie P-4.8 z szerszym elementem, pręt nr 1, obciążenia: CW A

Położenie przekroju:	$x = 6,300 \text{ m}$
Siły przekrojowe od obc. quasi-stałych:	$M_{Ed} = -69,27 \text{ kNm}$ $N_{Ed} = 0,00 \text{ kN}$ $V_{Ed} = -91,97 \text{ kN}$
Wymiary przekroju:	$b_w = 110,0 \text{ cm}$ $d = h - a_1 = 24,0 - 2,8 = 21,2 \text{ cm}$ $A_c = 2640 \text{ cm}^2$ $W_c = 10560 \text{ cm}^3$

Minimalne zbrojenie:

Wymagane pole zbrojenia rozciąganego dla zginania, przy naprężeniach wywołanych przyczynami zewnętrznymi:

$$\sigma_c = N_{Ed} / bh = 0,00 / (110,0 \times 24,0) \times 10 = 0,000 \text{ Mpa}$$

$$k_c = 0,4 \left(1 - \frac{\sigma_c}{k_1 h / h^* f_{ct,eff}} \right) = 0,4 \times [1 - 0,000 / (0,800 \times 24,0 / 24,0 \times 1,60)] = 0,400; \quad k_c \leq 1,0$$

$$A_{s,min} = k_c k f_{ct,eff} A_{ct} / \sigma_s =$$

$$= 0,400 \times 1,0 \times 1,60 \times 1320 / 500 = 1,69 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 16,08 > 1,69 = A_{s,min}$$

Zarysowanie:

$$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 1,6 \times 10560 \times 10^{-3} = 16,90 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 69,27 > 16,90 = M_{cr}$$

Przekrój zarysowany.

Szerokość rozwarcia rysy prostopadłej do osi pręta:

Przyjęto $k_2 = 0,500$.

$$\rho_{p,eff} = A_s / A_{c,eff} = 16,08 / 602 = 0,02672$$

Dla rozstawu prętów zbrojenia wynoszącego 149,1 mm, który jest większy niż $5(c+\phi/2)$

$$s_{r,max} = 1,3 (h - x) = 1,3 \times (240 - 75,8) = 213,46 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = [\sigma_s - k_t f_{ct,eff} / \rho_{p,eff} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})] / E_s =$$

$$= [231,8 - 0,400 \times 1,60 / 0,02672 \times (1 + 200000 / 27000 \times 0,02672)] / 200000 = 0,00102$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} \leq 0,6 \sigma_s / E_s = 0,6 \times 231,8 / 200000 = 0,00070$$

Przejęto $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,00102$.

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 213,46 \times 0,00102 = 0,22 \text{ mm}$$

$$w_k = 0,22 < 0,4 = w_{lim}$$

Ugięcia

zadanie P-4.8 z szerszym elementem, pręt nr 1, obciążenia: CW A

Ugięcia wyznaczono dla obciążeń quasi-stałych.

Współczynniki pełzania dla obciążeń długotrwałych przyjęto równy $\phi(\infty, t_0) = 2,00$.

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \phi(\infty, t_0)} = \frac{27000}{1 + 2,000} = 9000 \text{ MPa}$$

Moment rysujący:

$$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 1,6 \times 10560 \times 10^{-3} = 16,90 \text{ kNm}$$

Całkowity moment zginający $M_{Ed} = -69,27 \text{ kN}$ powoduje zarysowanie przekroju.

Sztywność elementu z uwzględnieniem pełzania betonu:

Sztywność na zginanie wyznaczona dla momentu $M = -69,27 \text{ kNm}$.

Wielkości geometryczne przekroju: $x_I = 12,0 \text{ cm}$ $I_I = 187228 \text{ cm}^4$
 $x_{II} = 7,6 \text{ cm}$ $I_{II} = 90443 \text{ cm}^4$

Sztywność elementu niezarysowanego:

$$B_I = E_{c,eff} I_I = 9000 \times 187228 \times 10^{-5} = 16851 \text{ kNm}^2$$

Sztywność elementu w pełni zarysowanego:

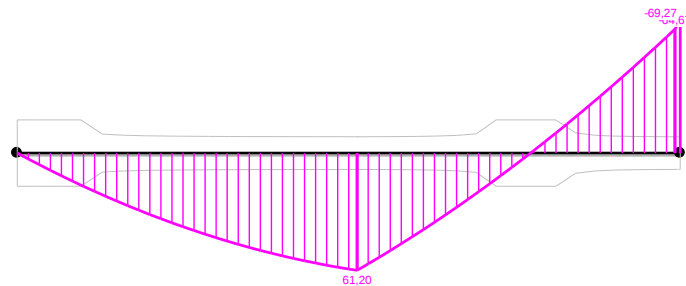
$$B_{II} = E_{c,eff} I_{II} = 9000 \times 90443 \times 10^{-5} = 8140 \text{ kNm}^2$$

Sztywność elementu:

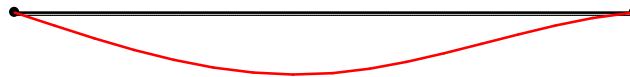
$$\zeta = 1 - \beta (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2 = 1 - \beta (M_{cr} / M)^2 = 1 - 0,50 \times (16,90 / 69,27)^2 = 0,970$$

$$1/B = \zeta 1/B_{II} + (1-\zeta) 1/B_I$$

$$B = \frac{B_{II}}{\zeta + (1-\zeta) B_{II} / B_I} = \frac{8140}{0,970 + (1-0,970) \times 8140 / 16851} = 8267 \text{ kNm}^2$$



Wykres sztywności i momentów dla obciążeń quasi-stałych.



Ugięcia.

Ugięcie w punkcie o współrzędnej $x = 2,826 \text{ m}$, wyznaczone poprzez całkowanie funkcji krzywizny osi pręta ($1/\rho$) z uwzględnieniem zmiany sztywności wzdłuż osi elementu, wynosi:

$$a = a_{\infty,d} = 20,3 \text{ mm}$$

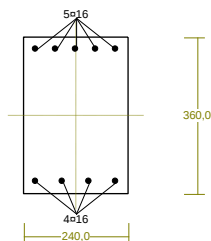
$$a = 20,3 < 25,2 = a_{lim}$$

Wyniki wymiarowania elementu żelbetowego wg PN-EN-1992

RM_Zb1992 v. 1.43 licencja nr 46201

Cechy przekroju:

zadanie P-4.8 z szerszym elementem, pręt nr 2, przekrój: $x_a = 0,00 \text{ m}$, $x_b = 6,60 \text{ m}$



Wymiary przekroju [cm]:

$$h = 36,0, b = 24,0,$$

Cechy materiałowe dla sytuacji stałej lub przejściowej

BETON: C12/15

$$f_{ck} = 12,0 \text{ MPa}, f_{cd} = \alpha \cdot f_{ck} / \gamma_c = 1,00 \times 12,0 / 1,40 = 8,6 \text{ MPa}$$

Cechy geometryczne przekroju betonowego:
 $A_c=864 \text{ cm}^2$, $J_{cy}=93312 \text{ cm}^4$, $J_{cz}=41472 \text{ cm}^4$

STAL: $f_{yk}=500$

$f_{yk}=500 \text{ MPa}$, $\gamma_s=1,15$, $f_{yd}=435 \text{ MPa}$

$\xi_{lim}=0,0035/(0,0035+f_{yd}/E_s)=0,0035/(0,0035+435/200000)=0,617$,

Zbrojenie główne:

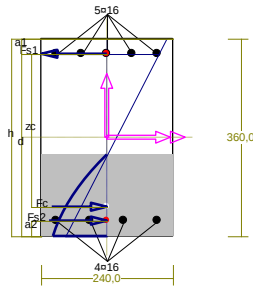
$A_{s1}+A_{s2}=18,10 \text{ cm}^2$, $\rho=100 (A_{s1}+A_{s2})/A_c=100 \times 18,10/864=2,09 \%$,

$J_{sy}=4181 \text{ cm}^4$, $J_{sz}=804 \text{ cm}^4$,

Nośność przekroju prostokątnego:

zadanie P-4.8 z szerszym elementem, pręt nr 2, przekrój: $x_a=0,00 \text{ m}$, $x_b=6,60 \text{ m}$

Obliczenia wykonano dla kombinacji [CW A (a)] grup obciążeń, dla której warunek stanu granicznego nośności przekroju jest najniekorzystniejszy



Wielkości obliczeniowe:

$N_{Ed}=0,00 \text{ kN}$,

$M_{Ed}=\sqrt{(M_{Edy}^2 + M_{Edz}^2)} = \sqrt{(100,94^2 + 0,00^2)} = 100,94 \text{ kNm}$

$f_{cd}=8,6 \text{ MPa}$, $f_{yd}=435 \text{ MPa} = f_{td}$,

Zbrojenie rozciągane: $A_{s1}=10,05 \text{ cm}^2$,

Zbrojenie ściskane: $A_{s2}=8,04 \text{ cm}^2$,

$A_s=A_{s1}+A_{s2}=18,10 \text{ cm}^2$, $\rho=100 \times A_s/A_c=100 \times 18,10/864=2,09 \%$

Wielkości geometryczne [cm]:

$h=36,0$, $d=33,2$, $x=14,9$ ($\xi=0,447$),

$a_1=2,8$, $a_2=2,8$, $a_c=5,3$, $z_c=27,9$, $A_{cc}=357 \text{ cm}^2$,

$\varepsilon_c=-1,39 \text{ ‰}$, $\varepsilon_{s2}=-1,13 \text{ ‰}$, $\varepsilon_{s1}=1,72 \text{ ‰}$,

Wielkości statyczne [kN, kNm]:

$F_c = -163,92$, $F_{s1} = 345,66$, $F_{s2} = -181,73$,

$M_c = 20,78$, $M_{s1} = 52,54$, $M_{s2} = 27,62$,

Warunek stanu granicznego nośności:

$M_{Rd} = 132,91 \text{ kNm} > M_{Ed} = M_c + M_{s1} + M_{s2} = 20,78 + (52,54) + (27,62) = 100,94 \text{ kNm}$

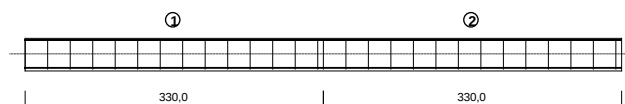
Zbrojenie poprzeczne (strzemiona)

zadanie P-4.8 z szerszym elementem, pręt nr 2

Na całej długości pręta przyjęto strzemiona o średnicy $\phi=8 \text{ mm}$ ze stali $f_{yk}=500$, dla której $f_{ywd} = 435 \text{ MPa}$.

Minimalny stopień zbrojenia na ścinanie:

$$\rho_{w,min} = 0,08 \sqrt{f_{ck}} / f_{yk} = 0,08 \times \sqrt{12} / 500 = 0,00055$$



Rozstaw strzemion:

Strefa nr 1

Początek i koniec strefy: $x_a = 0,0$ $x_b = 330,0 \text{ cm}$

Maksymalny podłużny rozstaw strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 332 \times (1 + 0,000) = 249$$

przyjęto $s_{l,max} = 249 \text{ mm}$.

Maksymalny poprzeczny rozstaw ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 332 = 249 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{b,max} = 249 \text{ mm}$.

Maksymalny rozstaw strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm}.$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{240,0; 360,0\} = 240,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{cl,max} = 240,0 \text{ mm}$.

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 144,0 \text{ mm}$.

Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **24,9** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 1,01 / (24,9 \times 24,0 \times 1,000) = 0,00168$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00168} > \mathbf{0,00055} = \rho_{w \min}$$

Strefa nr 2

Początek i koniec strefy: $x_a = 330,0 \quad x_b = 660,0 \text{ cm}$

Maksymalny podłużny rozstaw strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 332 \times (1 + 0,000) = 249$$

przyjęto $s_{l,max} = 249 \text{ mm}$.

Maksymalny poprzeczny rozstaw ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 332 = 249 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{b,max} = 249 \text{ mm}$.

Maksymalny rozstaw strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm}.$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{240,0; 360,0\} = 240,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{cl,max} = 240,0 \text{ mm}$.

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 144,0 \text{ mm}$.

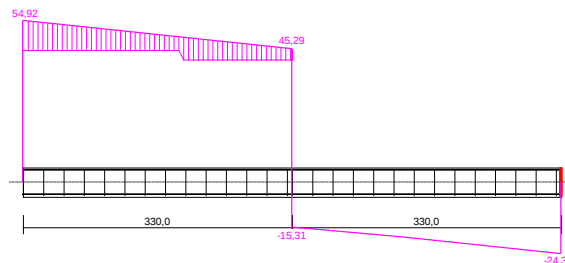
Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **24,9** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 1,01 / (24,9 \times 24,0 \times 1,000) = 0,00168$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00168} > \mathbf{0,00055} = \rho_{w \min}$$

Ścinanie

zadanie P-4.8 z szerszym elementem, pręt nr 2, przekrój: $x_a = 6,60 \text{ m}$, $x_b = 0,00 \text{ m}$, obciążenia: CW A (a)



Siły przekrojowe:

$$N_{Ed} = 0,00;$$

$$V_{Ed} = -24,33 \text{ kN}$$

Nośność elementów niewymagających zbrojenia na ścinanie:

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \frac{8,04}{24,0 \times 33,2} = 0,01009; \quad \rho_l \leq 0,02$$

Przyjęto $\rho_l = 0,01009$.

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_C = 0,00 / 864,00 \times 10 = 0,00 \text{ MPa} \quad \sigma_{cp} \leq 0,2 f_{cd} = 1,72 \text{ MPa}$$

Przyjęto $\sigma_{cp} = 0,00 \text{ MPa}$.

$$k = 1 + \sqrt{200/d} = 1 + \sqrt{200/332,0} = 1,776 \quad k \leq 2,0$$

Przyjęto $k = 1,776$

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18/1,4 = 0,129$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,035 \times 1,776^{3/2} \times 12^{1/2} = 0,287$$

$$\begin{aligned} V_{Rd,c} &= [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d = \\ &= [0,129 \times 1,776 \times (100 \times 0,01009 \times 12)^{1/3} + 0,15 \times 0,00] \times 24,0 \times 33,2 \times 10^{-1} = 41,79 \text{ kN} \end{aligned}$$

lecz nie mniej niż

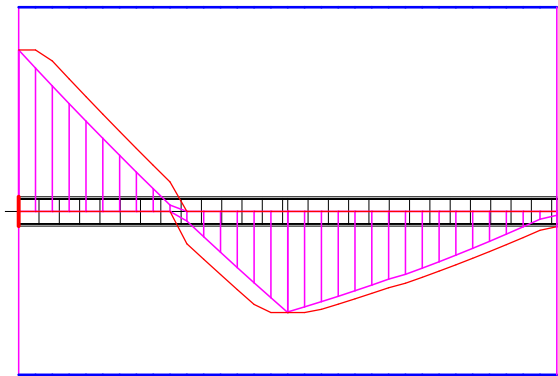
$$V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d = (0,287 + 0,15 \times 0,00) \times 24,0 \times 33,2 \times 10^{-1} = 22,87 \text{ kN}$$

Przyjęto $V_{Rd,c} = 41,79 \text{ kN}$

$$V_{Ed} = 24,33 < 41,79 = V_{Rdc}$$

Nośność zbrojenia podłużnego

zadanie P-4.8 z szerszym elementem, pręt nr 2, obciążenia: CW A (a)



Sprawdzenie siły przenoszanej przez zbrojenie rozciągane dla $x = 0,000 \text{ m}$:

$$\Delta F_{td} = 0,5 |V_{Ed}| (\cot \theta - \cot \alpha) = 0,5 \times 54,92 \times (1,000 - 0,000) = 54,83 \text{ kN}$$

Sumaryczna siła w zbrojeniu rozciągającym:

$$F_{td} = F_{td,m} + \Delta F_{td} = 345,66 + 54,83 = 400,49 \text{ kN};$$

$$F_{td} \leq F_{td,max} = 345,66 \text{ kN}$$

Przyjęto $F_{td} = 345,66 \text{ kN}$

$$F_{td} = 345,66 < 437,09 = 10,05 \times 435 \times 10^{-1} = A_s f_{yd}$$

Ograniczenie naprężeń (SGU)

zadanie P-4.8 z szerszym elementem, pręt nr 2, przekrój: $x_a=0,00 \text{ m}$, $x_b=6,60 \text{ m}$, obciążenia: CW A

Ograniczenie naprężeń w betonie od charakterystycznej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia rys podłużnych, mikrorys i wysokiego pełzania:

$$\sigma_{ck} = 5,382 < 12,000 = 1,00 \times 12,0 = k_1 f_{ck}$$

Ograniczenie naprężeń w betonie od quasi-stałej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia pełzania nieliniowego:

$$\sigma_{cqs} = 5,382 < 5,400 = 0,45 \times 12,0 = k_2 f_{ck}$$

Ograniczenie naprężeń rozciągających w zbrojeniu od charakterystycznej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia niedopuszczalnego zarysowania lub deformacji:

$$\sigma_{sk} = 230,118 < 400,000 = 0,80 \times 500 = k_3 f_{yk}$$

Zarysowanie

zadanie P-4.8 z szerszym elementem, pręt nr 2, obciążenia: CW A

Położenie przekroju:	$x = 0,000 \text{ m}$
Siły przekrojowe od obc. quasi-stałych:	$M_{Ed} = -69,27 \text{ kNm}$ $N_{Ed} = 0,00 \text{ kN}$ $V_{Ed} = 37,62 \text{ kN}$
Wymiary przekroju:	$b_w = 24,0 \text{ cm}$ $d = h - a_1 = 36,0 - 2,8 = 33,2 \text{ cm}$ $A_c = 864 \text{ cm}^2$ $W_c = 5184 \text{ cm}^3$

Minimalne zbrojenie:

Wymagane pole zbrojenia rozciąganego dla zginania, przy naprężeniach wywołanych przyczynami zewnętrznymi:

$$\sigma_c = N_{Ed} / bh = 0,00 / (24,0 \times 36,0) \times 10 = 0,000 \text{ Mpa}$$

$$k_c = 0,4 \left(1 - \frac{\sigma_c}{k_1 h / h^* f_{ct,eff}} \right) = 0,4 \times [1 - 0,000 / (0,800 \times 36,0 / 36,0 \times 1,60)] = 0,400; \quad k_c \leq 1,0$$

$$A_{s,min} = k_c k f_{ct,eff} A_{ct} / \sigma_s =$$

$$= 0,400 \times 1,0 \times 1,60 \times 432 / 500 = 0,55 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 10,05 > 0,55 = A_{s,min}$$

Zarysowanie:

$$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 1,6 \times 5184 \times 10^{-3} = 8,29 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 69,27 > 8,29 = M_{cr}$$

Przekrój zarysowany.

Szerokość rozwarcia rysy prostopadłej do osi pręta:

Przyjęto $k_2 = 0,500$.

$$\rho_{p,eff} = A_s / A_{c,eff} = 10,05 / 168 = 0,05984$$

Dla rozstawu prętów zbrojenia wynoszącego 46 mm, który jest nie większy niż $5(c + \phi/2)$

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff} = 3,400 \times 20,0 + 0,800 \times 0,500 \times 0,425 \times 16 / 0,05984 = 113,45 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = [\sigma_s - k_t f_{ct,eff} / \rho_{p,eff} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})] / E_s =$$

$$= [234,3 - 0,400 \times 1,60 / 0,05984 \times (1 + 200000 / 27000 \times 0,05984)] / 200000 = 0,00109$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} \leq 0,6 \sigma_s / E_s = 0,6 \times 234,3 / 200000 = 0,00070$$

Przejęto $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,00109$.

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 113,45 \times 0,00109 = 0,12 \text{ mm}$$

$$w_k = 0,12 < 0,4 = w_{lim}$$

Ugięcia

zadanie P-4.8 z szerszym elementem, pręt nr 2, obciążenia: CW A

Ugięcia wyznaczono dla obciążeń quasi-stałych.

Współczynniki pełzania dla obciążeń długotrwałych przyjęto równy $\phi(\infty, t_0) = 2,00$.

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \phi(\infty, t_0)} = \frac{27000}{1 + 2,000} = 9000 \text{ MPa}$$

Moment rysujący:

$$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 1,6 \times 5184 \times 10^{-3} = 8,29 \text{ kNm}$$

Całkowity moment zginający $M_{Ed} = -69,27 \text{ kN}$ powoduje zarysowanie przekroju.

Sztywność elementu z uwzględnieniem pełzania betonu:

Sztywność na zginanie wyznaczona dla momentu $M = -69,27 \text{ kNm}$.

Wielkości geometryczne przekroju: $x_I = 18,5 \text{ cm}$ $I_I = 185854 \text{ cm}^4$
 $x_{II} = 13,9 \text{ cm}$ $I_{II} = 126720 \text{ cm}^4$

Sztywność elementu niezarysowanego:

$$B_I = E_{c,eff} I_I = 9000 \times 185854 \times 10^{-5} = 16727 \text{ kNm}^2$$

Sztywność elementu w pełni zarysowanego:

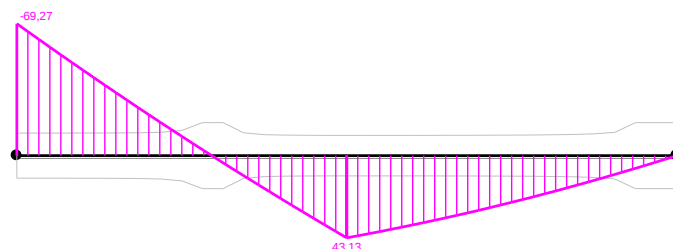
$$B_{II} = E_{c,eff} I_{II} = 9000 \times 126720 \times 10^{-5} = 11405 \text{ kNm}^2$$

Sztywność elementu:

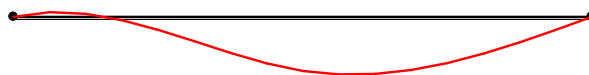
$$\zeta = 1 - \beta (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2 = 1 - \beta (M_{cr} / M)^2 = 1 - 0,50 \times (8,29/69,27)^2 = 0,993$$

$$1/B = \zeta 1/B_{II} + (1-\zeta) 1/B_I$$

$$B = \frac{B_{II}}{\zeta + (1-\zeta) B_{II} / B_I} = \frac{11405}{0,993 + (1-0,993) \times 11405/16727} = 11431 \text{ kNm}^2$$



Wykres sztywności i momentów dla obciążeń quasi-stałych.



Ugięcia.

Ugięcie w punkcie o współrzędnej $x = 3,867 \text{ m}$, wyznaczone poprzez całkowanie funkcji krzywizny osi pręta ($1/\rho$) z uwzględnieniem zmiany sztywności wzdłuż osi elementu, wynosi:

$$a = a_{\infty,d} = 8,5 \text{ mm}$$

$$a = 8,5 < 26,4 = a_{lim}$$

Poz. 4.8.2.

WEZŁY:

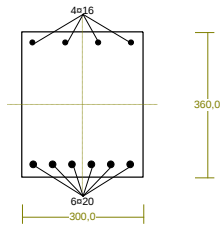


Wyniki wymiarowania elementu żelbetowego wg PN-EN-1992

RM_Zb1992 v. 1.43 licencja nr 46201

Cechy przekroju:

zadanie P-4.8.1, pręt nr 1, przekrój: $x_a=3,15$ m, $x_b=3,15$ m



Wymiary przekroju [cm]:

$$h=360,0, \quad b=300,0,$$

Cechy materiałowe dla sytuacji stałej lub przejściowej

BETON: C12/15

$$f_{ck}=12,0 \text{ MPa}, \quad f_{cd}=\alpha \cdot f_{ck} / \gamma_c = 1,00 \times 12,0 / 1,40 = 8,6 \text{ MPa}$$

Cechy geometryczne przekroju betonowego:

$$A_c=1080 \text{ cm}^2, \quad J_{cy}=116640 \text{ cm}^4, \quad J_{cz}=81000 \text{ cm}^4$$

STAL: fyk=500

$$f_{yk}=500 \text{ MPa}, \quad \gamma_s=1,15, \quad f_{yd}=435 \text{ MPa}$$

$$\xi_{lim}=0,0035 / (0,0035 + f_{yd} / E_s) = 0,0035 / (0,0035 + 435 / 200000) = 0,617,$$

Zbrojenie główne:

$$A_{s1}+A_{s2}=26,89 \text{ cm}^2, \quad \rho=100 (A_{s1}+A_{s2}) / A_c = 100 \times 26,89 / 1080 = 2,49 \%,$$

$$J_{sy}=6099 \text{ cm}^4, \quad J_{sz}=1932 \text{ cm}^4,$$

Siły przekrojowe:

zadanie: P-4.8.1, pręt nr 1, przekrój: $x_a=3,15$ m, $x_b=3,15$ m

Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **CW A (a)**

$$\text{Momenty zginające:} \quad M_y = -110,18 \text{ kNm}, \quad M_z = 0,00 \text{ kNm},$$

$$\text{Siły poprzeczne:} \quad V_z = 29,24 \text{ kN}, \quad V_y = 0,00 \text{ kN},$$

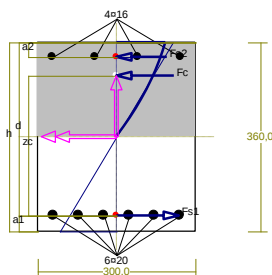
$$\text{Siła osiowa:} \quad N = 0,00 \text{ kN} = N_{Ed},$$

Zbrojenie wymagane:

Nośność przekroju prostokątnego:

zadanie P-4.8.1, pręt nr 1, przekrój: $x_a=3,23$ m, $x_b=3,07$ m

Obliczenia wykonano dla kombinacji [CW A (a)] grup obciążeń, dla której warunek stanu granicznego nośności przekroju jest najniekorzystniejszy



Wielkości obliczeniowe:

$$N_{Ed}=0,00 \text{ kN},$$

$$M_{Ed}=\sqrt{(M_{Edy})^2 + (M_{Edz})^2} = \sqrt{(-112,51)^2 + 0,00^2} = 112,51 \text{ kNm}$$

$$f_{cd}=8,6 \text{ MPa}, \quad f_{yd}=435 \text{ MPa} = f_{td},$$

Zbrojenie rozciągane: $A_{s1}=18,85 \text{ cm}^2$,

Zbrojenie ściskane: $A_{s2}=8,04 \text{ cm}^2$,

$$A_s=A_{s1}+A_{s2}=26,89 \text{ cm}^2, \quad \rho=100 \times A_s / A_c = 100 \times 26,89 / 1080 = 2,49 \%$$

Wielkości geometryczne [cm]:

$$h=360,0, \quad d=330,0, \quad x=17,9 \quad (\xi=0,542),$$

$$a_1=3,0, \quad a_2=2,8, \quad a_c=6,4, \quad z_c=26,6, \quad A_{cc}=537 \text{ cm}^2,$$

$$\varepsilon_c = -1,26 \text{ ‰}, \varepsilon_{s2} = -1,06 \text{ ‰}, \varepsilon_{s1} = 1,06 \text{ ‰},$$

Wielkości statyczne [kN, kNm]:

$$F_c = -229,20, F_{s1} = 399,57, F_{s2} = -170,37,$$

$$M_c = 26,68, M_{s1} = 59,94, M_{s2} = 25,90,$$

Warunek stanu granicznego nośności:

$$M_{Rd} = 211,10 \text{ kNm} > M_{Ed} = M_c + M_{s1} + M_{s2} = 26,68 + (59,94) + (25,90) = 112,51 \text{ kNm}$$

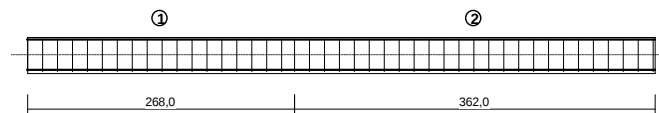
Zbrojenie poprzeczne (strzemiona)

zadanie P-4.8.1, pręt nr 1

Na całej długości pręta przyjęto strzemiona o średnicy $\phi = 8 \text{ mm}$ ze stali $f_{yk} = 400$, dla której $f_{ywd} = 348 \text{ MPa}$.

Minimalny stopień zbrojenia na ścinanie:

$$\rho_{w,min} = 0,08 \sqrt{f_{ck}} / f_{yk} = 0,08 \times \sqrt{12} / 500 = 0,00055$$



Rozstaw strzemion:

Strefa nr 1

Początek i koniec strefy: $x_a = 0,0$ $x_b = 268,0 \text{ cm}$

Maksymalny podłużny rozstaw strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 330 \times (1 + 0,000) = 247$$

przyjęto $s_{l,max} = 248 \text{ mm}$.

Maksymalny poprzeczny rozstaw ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 330 = 247 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{b,max} = 248 \text{ mm}$.

Maksymalny rozstaw strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm}.$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{300,0; 360,0\} = 300,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{cl,max} = 300,0 \text{ mm}$.

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 180,0 \text{ mm}$.

Przyjęto strzemiona 3-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **15,0 cm**, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 1,51 / (15,0 \times 30,0 \times 1,000) = 0,00335$$

$$\rho_w = 0,00335 > 0,00055 = \rho_{w,min}$$

Strefa nr 2

Początek i koniec strefy: $x_a = 268,0$ $x_b = 630,0 \text{ cm}$

Maksymalny podłużny rozstaw strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 330 \times (1 + 0,000) = 247$$

przyjęto $s_{l,max} = 248 \text{ mm}$.

Maksymalny poprzeczny rozstaw ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 330 = 247 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{b,max} = 248 \text{ mm}$.

Maksymalny rozstaw strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm}.$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{300,0; 360,0\} = 300,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{cl,max} = 300,0 \text{ mm}$.

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 180,0 \text{ mm}$.

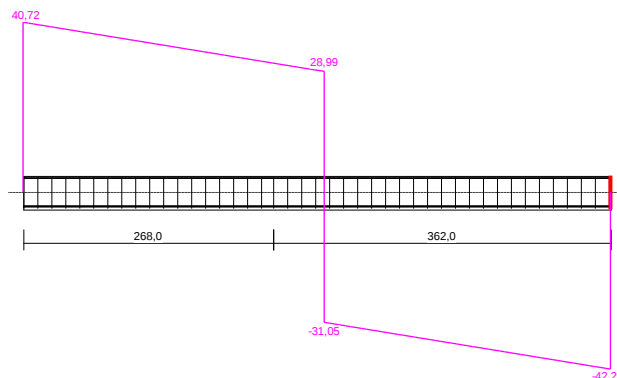
Przyjęto strzemiona 3-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **15,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 1,51 / (15,0 \times 30,0 \times 1,000) = 0,00335$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00335} > \mathbf{0,00055} = \rho_{w \min}$$

Ścinanie

zadanie P-4.8.1, pręt nr 1, przekrój: $x_a=6,30$ m, $x_b=0,00$ m, obciążenia: CW A (a)



Siły przekrojowe:

$$N_{Ed} = 0,00;$$

$$V_{Ed} = -42,24 \text{ kN}$$

Nośność elementów niewymagających zbrojenia na ścinanie:

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \frac{18,85}{30,0 \times 33,0} = 0,01904; \quad \rho_l \leq 0,02$$

Przyjęto $\rho_l = 0,01904$.

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_C = 0,00 / 1080,00 \times 10 = 0,00 \text{ MPa} \quad \sigma_{cp} \leq 0,2 f_{cd} = 1,72 \text{ MPa}$$

Przyjęto $\sigma_{cp} = 0,00 \text{ MPa}$.

$$k = 1 + \sqrt{200/d} = 1 + \sqrt{200/330,0} = 1,778 \quad k \leq 2,0$$

Przyjęto $k = 1,778$

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,4 = 0,129$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,035 \times 1,778^{3/2} \times 12^{1/2} = 0,288$$

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d =$$

$$= [0,129 \times 1,778 \times (100 \times 0,01904 \times 12)^{1/3} + 0,15 \times 0,00] \times 30,0 \times 33,0 \times 10^{-1} = 64,24 \text{ kN}$$

lecz nie mniej niż

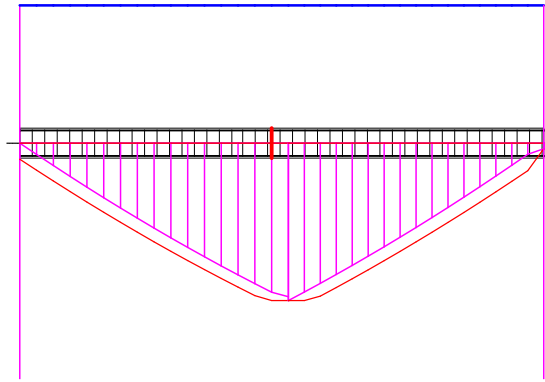
$$V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d = (0,288 + 0,15 \times 0,00) \times 30,0 \times 33,0 \times 10^{-1} = 28,47 \text{ kN}$$

Przyjęto $V_{Rd,c} = 64,24 \text{ kN}$

$$V_{Ed} = \mathbf{42,24} < \mathbf{64,24} = V_{Rd,c}$$

Nośność zbrojenia podłużnego

zadanie P-4.8.1, pręt nr 1, obciążenia: CW A (a)



Sprawdzenie siły przenoszonej przez zbrojenie rozciągane dla $x = 3,028$ m:

$$\Delta F_{td} = 0,5 |V_{Ed}| (\cot \theta - \cot \alpha) = 0,5 \times 29,68 \times (1,000 - 0,000) = 29,68 \text{ kN}$$

Sumaryczna siła w zbrojeniu rozciągany:

$$F_{td} = F_{td,m} + \Delta F_{td} = 378,32 + 29,68 = 408,00 \text{ kN};$$

$$F_{td} \leq F_{td,max} = 399,57 \text{ kN}$$

Przyjęto $F_{td} = 399,57 \text{ kN}$

$$F_{td} = 399,57 < 819,55 = 18,85 \times 435 \times 10^{-1} = A_s f_{yd}$$

Ograniczenie naprężeń (SGU)

zadanie P-4.8.1, pręt nr 1, przekrój: $x_a=3,23$ m, $x_b=3,07$ m, obciążenia: CW A

Ograniczenie naprężeń w betonie od charakterystycznej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia rys podłużnych, mikrorys i wysokiego pęcznienia:

$$\sigma_{ck} = 4,494 < 12,000 = 1,00 \times 12,0 = k_1 f_{ck}$$

Ograniczenie naprężeń w betonie od quasi-stałej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia pęcznienia nieliniowego:

$$\sigma_{cqs} = 4,494 < 5,400 = 0,45 \times 12,0 = k_2 f_{ck}$$

Ograniczenie naprężeń rozciągających w zbrojeniu od charakterystycznej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia niedopuszczalnego zarysowania lub deformacji:

$$\sigma_{sk} = 139,029 < 400,000 = 0,80 \times 500 = k_3 f_{yk}$$

Zarysowanie

zadanie P-4.8.1, pręt nr 1, obciążenia: CW A

Położenie przekroju:

$$x = 3,230 \text{ m}$$

Siły przekrojowe od obc. quasi-stałych:

$$M_{Ed} = 76,35 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 0,00 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 19,28 \text{ kN}$$

Wymiary przekroju:

$$b_w = 30,0 \text{ cm}$$

$$d = h - a_1 = 36,0 - 3,0 = 33,0 \text{ cm}$$

$$A_c = 1080 \text{ cm}^2$$

$$W_c = 6480 \text{ cm}^3$$

Minimalne zbrojenie:

Wymagane pole zbrojenia rozciąganego dla zginania, przy naprężeniach wywołanych przyczynami zewnętrznymi:

$$\sigma_c = N_{Ed} / bh = 0,00 / (30,0 \times 36,0) \times 10 = 0,000 \text{ Mpa}$$

$$k_c = 0,4 \left(1 - \frac{\sigma_c}{k_1 h / h^* f_{ct,eff}} \right) = 0,4 \times [1 - 0,000 / (0,800 \times 36,0 / 36,0 \times 1,60)] = 0,400; \quad k_c \leq 1,0$$

$$A_{s,min} = k_c k f_{ct,eff} A_{ct} / \sigma_s = \\ = 0,400 \times 1,0 \times 1,60 \times 540 / 500 = 0,69 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 18,85 > 0,69 = A_{s,min}$$

Zarysowanie:

$$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 1,6 \times 6480 \times 10^{-3} = 10,37 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 76,35 > 10,37 = M_{cr}$$

Przekrój zarysowany.

Szerokość rozwarcia rysy prostopadłej do osi pręta:

Przyjęto $k_2 = 0,500$.

$$\rho_{p,eff} = A_s / A_{c,eff} = 18,85 / 192 = 0,09841$$

Dla rozstawu prętów zbrojenia wynoszącego 48 mm, który jest nie większy niż $5(c + \phi/2)$

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff} = 3,400 \times 20,0 + 0,800 \times 0,500 \times 0,425 \times 20,0 / 0,09841 = 102,55 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = [\sigma_s - k_t f_{ct,eff} / \rho_{p,eff} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})] / E_s = \\ = [142,5 - 0,400 \times 1,60 / 0,09841 \times (1 + 200000 / 27000 \times 0,09841)] / 200000 = 0,00066$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} \leq 0,6 \sigma_s / E_s = 0,6 \times 142,5 / 200000 = 0,00043$$

Przejęto $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,00066$.

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 102,55 \times 0,00066 = 0,07 \text{ mm}$$

$$w_k = 0,07 < 0,4 = w_{lim}$$

Ugięcia

zadanie P-4.8.1, pręt nr 1, obciążenia: CW A

Ugięcia wyznaczono dla obciążeń quasi-stałych.

Współczynniki pełzania dla obciążeń długotrwałych przyjęto równy $\phi(\infty, t_0) = 2,00$.

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \phi(\infty, t_0)} = \frac{27000}{1 + 2,00} = 9000 \text{ MPa}$$

Moment rysujący:

$$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 1,6 \times 6480 \times 10^{-3} = 10,37 \text{ kNm}$$

Całkowity moment zginający $M_{Ed} = 76,35 \text{ kN}$ powoduje zarysowanie przekroju.

Sztywność elementu z uwzględnieniem pełzania betonu:

Sztywność na zginanie wyznaczona dla momentu $M = 76,35 \text{ kNm}$.

$$\begin{array}{ll} \text{Wielkości geometryczne przekroju:} & x_I = 20,1 \text{ cm} \quad I_I = 244597 \text{ cm}^4 \\ & x_{II} = 16,8 \text{ cm} \quad I_{II} = 192374 \text{ cm}^4 \end{array}$$

Sztywność elementu niezarysowanego:

$$B_I = E_{c,eff} I_I = 9000 \times 244597 \times 10^{-5} = 22014 \text{ kNm}^2$$

Sztywność elementu w pełni zarysowanego:

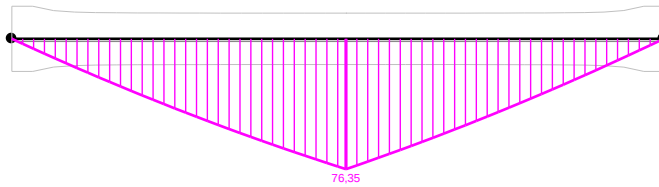
$$B_{II} = E_{c,eff} I_{II} = 9000 \times 192374 \times 10^{-5} = 17314 \text{ kNm}^2$$

Sztywność elementu:

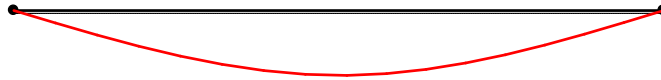
$$\zeta = 1 - \beta (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2 = 1 - \beta (M_{cr} / M)^2 = 1 - 0,50 \times (10,37 / 76,35)^2 = 0,991$$

$$1/B = \zeta 1/B_{II} + (1 - \zeta) 1/B_I$$

$$B = \frac{B_{II}}{\zeta + (1 - \zeta) B_{II} / B_I} = \frac{17314}{0,991 + (1 - 0,991) \times 17314 / 22014} = 17348 \text{ kNm}^2$$



Wykres sztywności i momentów dla obciążeń quasi-stałych.



Ugięcia.

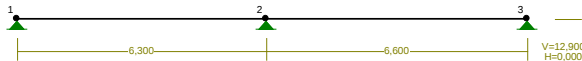
Ugięcie w punkcie o współrzędnej $x = 3,230$ m, wyznaczone poprzez całkowanie funkcji krzywizny osi pręta ($1/\rho$) z uwzględnieniem zmiany sztywności wzdłuż osi elementu, wynosi:

$$a = a_{\infty,d} = 15,2 \text{ mm}$$

$$a = 15,2 < 25,2 = a_{\text{lim}}$$

Poz. 4.8.

WEZŁY:

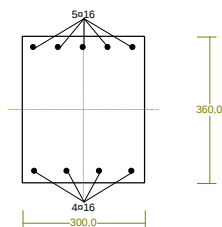


Wyniki wymiarowania elementu żelbetowego wg PN-EN-1992

RM_Zb1992 v. 1.43 licencja nr 46201

Cechy przekroju:

zadanie P-4.8-4.9, pręt nr 1, przekrój: $x_a=3,15$ m, $x_b=3,15$ m



Wymiary przekroju [cm]:

$$h=36,0, \quad b=30,0,$$

Cechy materiałowe dla sytuacji stałej lub przejściowej

BETON: C12/15

$$f_{ck} = 12,0 \text{ MPa}, \quad f_{cd} = \alpha \cdot f_{ck} / \gamma_c = 1,00 \times 12,0 / 1,40 = 8,6 \text{ MPa}$$

Cechy geometryczne przekroju betonowego:

$$A_c = 1080 \text{ cm}^2, \quad J_{cy} = 116640 \text{ cm}^4, \quad J_{cz} = 81000 \text{ cm}^4$$

STAL: $f_{yk} = 500$

$$f_{yk}=500 \text{ MPa}, \gamma_s=1,15, f_{yd}=435 \text{ MPa}$$

$$\xi_{lim}=0,0035/(0,0035+f_{yd}/E_s)=0,0035/(0,0035+435/200000)=0,617,$$

Zbrojenie główne:

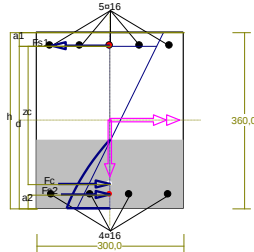
$$A_{s1}+A_{s2}=\mathbf{18,10} \text{ cm}^2, \rho=100 (A_{s1}+A_{s2})/A_c=100 \times 18,10/1080=\mathbf{1,68} \%,$$

$$J_{sy}=\mathbf{4181} \text{ cm}^4, J_{sz}=\mathbf{1385} \text{ cm}^4,$$

Nośność przekroju prostokątnego:

zadanie P-4.8-4.9, pręt nr 1, przekrój: $x_a=6,30 \text{ m}$, $x_b=0,00 \text{ m}$

Obliczenia wykonano dla kombinacji [CW A (a)] grup obciążeń, dla której warunek stanu granicznego nośności przekroju jest najniekorzystniejszy



Wielkości obliczeniowe:

$$N_{Ed}=0,00 \text{ kN},$$

$$M_{Ed}=\sqrt{(M_{Edy})^2 + (M_{Edz})^2} = \sqrt{(91,86^2 + 0,00^2)} = 91,86 \text{ kNm}$$

$$f_{cd}=8,6 \text{ MPa}, f_{yd}=435 \text{ MPa} = f_{td},$$

Zbrojenie rozciągane: $A_{s1}=\mathbf{10,05} \text{ cm}^2$,

Zbrojenie ściskane: $A_{s2}=\mathbf{8,04} \text{ cm}^2$,

$$A_s=A_{s1}+A_{s2}=18,10 \text{ cm}^2, \rho=100 \times A_s/A_c=100 \times 18,10/1080=1,68 \%$$

Wielkości geometryczne [cm]:

$$h=36,0, d=33,2, x=14,0 (\xi=0,422),$$

$$a_1=2,8, a_2=2,8, a_c=4,9, z_c=28,3, A_{cc}=421 \text{ cm}^2,$$

$$\varepsilon_c=-1,14 \text{ ‰}, \varepsilon_{s2}=-0,91 \text{ ‰}, \varepsilon_{s1}=1,56 \text{ ‰},$$

Wielkości statyczne [kN, kNm]:

$$F_c = -167,09, F_{s1} = 313,96, F_{s2} = -146,87,$$

$$M_c = 21,81, M_{s1} = 47,72, M_{s2} = 22,32,$$

Warunek stanu granicznego nośności:

$$M_{Rd} = \mathbf{133,17} \text{ kNm} > M_{Ed} = M_c + M_{s1} + M_{s2} = 21,81 + (47,72) + (22,32) = \mathbf{91,86} \text{ kNm}$$

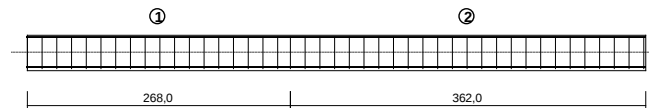
Zbrojenie poprzeczne (strzemiona)

zadanie P-4.8-4.9, pręt nr 1

Na całej długości pręta przyjęto strzemiona o średnicy $\phi=8 \text{ mm}$ ze stali $f_{yk}=400$, dla której $f_{ywd} = 348 \text{ MPa}$.

Minimalny stopień zbrojenia na ścinanie:

$$\rho_{w,min} = 0,08 \sqrt{f_{ck}} / f_{yk} = 0,08 \times \sqrt{12} / 500 = 0,00055$$



Rozstaw strzemion:

Strefa nr 1

Początek i koniec strefy: $x_a = 0,0$ $x_b = 268,0 \text{ cm}$

Maksymalny podłużny rozstaw strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 332 \times (1 + 0,000) = 249$$

przyjęto $s_{l,max} = 249 \text{ mm}$.

Maksymalny poprzeczny rozstaw ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 332 = 249$$

$$s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{b,max} = 249 \text{ mm}$.

Maksymalny rozstawy strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm.}$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{300,0; 360,0\} = 300,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{cl,max} = 300,0 \text{ mm.}$

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 180,0 \text{ mm.}$

Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **15,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 1,01 / (15,0 \times 30,0 \times 1,000) = 0,00223$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00223} > \mathbf{0,00055} = \rho_{w \min}$$

Strefa nr 2

Początek i koniec strefy: $x_a = 268,0$ $x_b = 630,0 \text{ cm}$

Maksymalny podłużny rozstawy strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 332 \times (1 + 0,000) = 249$$

przyjęto $s_{l,max} = 249 \text{ mm.}$

Maksymalny poprzeczny rozstawy ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 332 = 249$$

$$s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{b,max} = 249 \text{ mm.}$

Maksymalny rozstawy strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm.}$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{300,0; 360,0\} = 300,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{cl,max} = 300,0 \text{ mm.}$

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 180,0 \text{ mm.}$

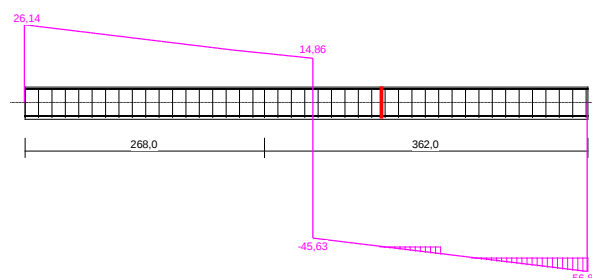
Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **15,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 1,01 / (15,0 \times 30,0 \times 1,000) = 0,00223$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00223} > \mathbf{0,00055} = \rho_{w \min}$$

Ścinanie

zadanie P-4.8-4.9, pręt nr 1, przekrój: $x_a = 4,00 \text{ m}$, $x_b = 2,30 \text{ m}$, obciążenia: CW A (a)



Siły przekrojowe:

$$N_{Ed} = 0,00;$$

$$V_{Ed} = -48,43 \text{ kN}$$

Nośność elementów niewymagających zbrojenia na ścinanie:

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \frac{8,04}{30,0 \times 33,2} = 0,00807; \quad \rho_l \leq 0,02$$

Przyjęto $\rho_l = 0,00807.$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_C = 0,00 / 1080,00 \times 10 = 0,00 \text{ MPa } \sigma_{cp} \leq 0,2 f_{cd} = 1,72 \text{ MPa}$$

Przyjęto $\sigma_{cp} = 0,00 \text{ MPa}$.

$$k = 1 + \sqrt{200/d} = 1 + \sqrt{200/332,0} = 1,776 \quad k \leq 2,0$$

Przyjęto $k = 1,776$

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18/1,4 = 0,129$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,035 \times 1,776^{3/2} \times 12^{1/2} = 0,287$$

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d =$$

$$= [0,129 \times 1,776 \times (100 \times 0,00807 \times 12)^{1/3} + 0,15 \times 0,00] \times 30,0 \times 33,2 \times 10^{-1} = 48,49 \text{ kN}$$

lecz nie mniej niż

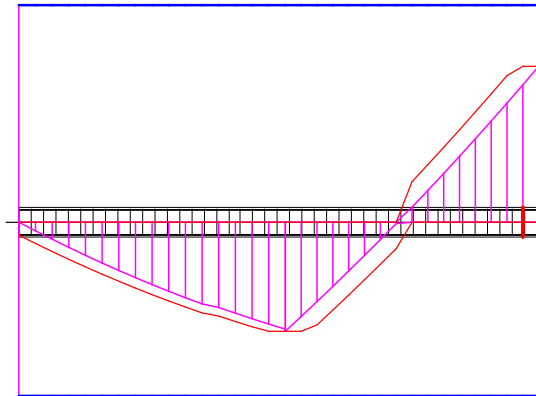
$$V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d = (0,287 + 0,15 \times 0,00) \times 30,0 \times 33,2 \times 10^{-1} = 28,58 \text{ kN}$$

Przyjęto $V_{Rd,c} = 48,49 \text{ kN}$

$$V_{Ed} = 48,43 < 48,49 = V_{Rd,c}$$

Nośność zbrojenia podłużnego

zadanie P-4.8-4.9, pręt nr 1, obciążenia: CW A (a)



Sprawdzenie siły przenoszanej przez zbrojenie rozciągane dla $x = 6,108 \text{ m}$:

$$\Delta F_{td} = 0,5 |V_{Ed}| (\cot \theta - \cot \alpha) = 0,5 \times 56,12 \times (1,997 - 0,000) = 56,04 \text{ kN}$$

Sumaryczna siła w zbrojeniu rozciągającym:

$$F_{td} = F_{td,m} + \Delta F_{td} = 276,67 + 56,04 = 332,71 \text{ kN};$$

$$F_{td} \leq F_{td,max} = 313,96 \text{ kN}$$

Przyjęto $F_{td} = 313,96 \text{ kN}$

$$F_{td} = 313,96 < 437,09 = 10,05 \times 435 \times 10^{-1} = A_s f_{yd}$$

Ograniczenie naprężeń (SGU)

zadanie P-4.8-4.9, pręt nr 1, przekrój: $x_a=6,30 \text{ m}$, $x_b=0,00 \text{ m}$, obciążenia: CW A

Ograniczenie naprężeń w betonie od charakterystycznej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia rys podłużnych, mikrorys i wysokiego pęczania:

$$\sigma_{ck} = 4,478 < 12,000 = 1,00 \times 12,0 = k_1 f_{ck}$$

Ograniczenie naprężeń w betonie od quasi-stałej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia pęczania nieliniowego:

$$\sigma_{cqs} = 4,478 < 5,400 = 0,45 \times 12,0 = k_2 f_{ck}$$

Ograniczenie naprężeń rozciągających w zbrojeniu od charakterystycznej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia niedopuszczalnego zarysowania lub deformacji:

$$\sigma_{sk} = 206,960 < 400,000 = 0,80 \times 500 = k_3 f_{yk}$$

Zarysowanie

zadanie P-4.8-4.9, pręt nr 1, obciążenia: CW A

Położenie przekroju:	$x = 6,300 \text{ m}$
Siły przekrojowe od obc. quasi-stałych:	$M_{Ed} = -62,65 \text{ kNm}$ $N_{Ed} = 0,00 \text{ kN}$ $V_{Ed} = -38,96 \text{ kN}$
Wymiary przekroju:	$b_w = 30,0 \text{ cm}$ $d = h - a_1 = 36,0 - 2,8 = 33,2 \text{ cm}$ $A_c = 1080 \text{ cm}^2$ $W_c = 6480 \text{ cm}^3$

Minimalne zbrojenie:

Wymagane pole zbrojenia rozciąganego dla zginania, przy naprężeniach wywołanych przyczynami zewnętrznymi:

$$\sigma_c = N_{Ed} / bh = 0,00 / (30,0 \times 36,0) \times 10 = 0,000 \text{ Mpa}$$

$$k_c = 0,4 \left(1 - \frac{\sigma_c}{k_1 h / h^* f_{ct,eff}} \right) = 0,4 \times [1 - 0,000 / (0,800 \times 36,0 / 36,0 \times 1,60)] = 0,400; \quad k_c \leq 1,0$$

$$A_{s,min} = k_c k f_{ct,eff} A_{ct} / \sigma_s =$$

$$= 0,400 \times 1,0 \times 1,60 \times 540 / 500 = 0,69 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 10,05 > 0,69 = A_{s,min}$$

Zarysowanie:

$$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 1,6 \times 6480 \times 10^{-3} = 10,37 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 62,65 > 10,37 = M_{cr}$$

Przekrój zarysowany.

Szerokość rozwarcia rysy prostopadłej do osi pręta:

Przyjęto $k_2 = 0,500$.

$$\rho_{p,eff} = A_s / A_{c,eff} = 10,05 / 210 = 0,04787$$

Dla rozstawu prętów zbrojenia wynoszącego 61 mm, który jest nie większy niż $5(c + \phi/2)$

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff} = 3,400 \times 20,0 + 0,800 \times 0,500 \times 0,425 \times 16 / 0,04787 = 124,82 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = [\sigma_s - k_t f_{ct,eff} / \rho_{p,eff} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})] / E_s =$$

$$= [211,5 - 0,400 \times 1,60 / 0,04787 \times (1 + 200000 / 27000 \times 0,04787)] / 200000 = 0,00097$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} \leq 0,6 \sigma_s / E_s = 0,6 \times 211,5 / 200000 = 0,00063$$

Przejęto $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,00097$.

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 124,82 \times 0,00097 = 0,12 \text{ mm}$$

$$w_k = 0,12 < 0,4 = w_{lim}$$

Ugięcia

zadanie P-4.8-4.9, pręt nr 1, obciążenia: CW A

Ugięcia wyznaczono dla obciążeń quasi-stałych.

Współczynniki pełzania dla obciążeń długotrwałych przyjęto równy $\phi(\infty, t_0) = 2,00$.

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \phi(\infty, t_0)} = \frac{27000}{1 + 2,000} = 9000 \text{ MPa}$$

Moment rysujący:

$$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 1,6 \times 6480 \times 10^{-3} = 10,37 \text{ kNm}$$

Całkowity moment zginający $M_{Ed} = -62,65 \text{ kN}$ powoduje zarysowanie przekroju.

Sztywność elementu z uwzględnieniem pełzania betonu:

Sztywność na zginanie wyznaczona dla momentu $M = -62,65 \text{ kNm}$.

Wielkości geometryczne przekroju:

$$x_I = 18,5 \text{ cm} \quad I_I = 209235 \text{ cm}^4$$

$$x_{II} = 13,2 \text{ cm} \quad I_{II} = 131691 \text{ cm}^4$$

Sztywność elementu niezarysowanego:

$$B_I = E_{c,eff} I_I = 9000 \times 209235 \times 10^{-5} = 18831 \text{ kNm}^2$$

Sztywność elementu w pełni zarysowanego:

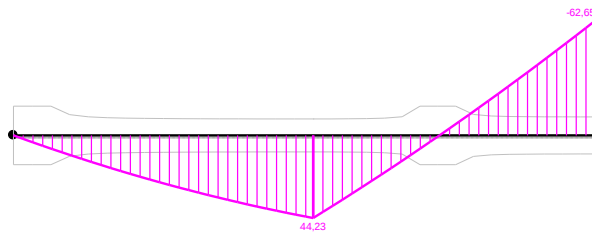
$$B_{II} = E_{c,eff} I_{II} = 9000 \times 131691 \times 10^{-5} = 11852 \text{ kNm}^2$$

Sztywność elementu:

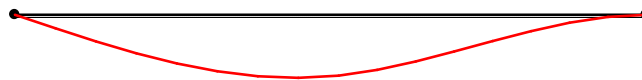
$$\zeta = 1 - \beta (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2 = 1 - \beta (M_{cr} / M)^2 = 1 - 0,50 \times (10,37/62,65)^2 = 0,986$$

$$1/B = \zeta 1/B_{II} + (1-\zeta) 1/B_I$$

$$B = \frac{B_{II}}{\zeta + (1-\zeta) B_{II} / B_I} = \frac{11852}{0,986 + (1-0,986) \times 11852/18831} = 11913 \text{ kNm}^2$$



Wykres sztywności i momentów dla obciążeń quasi-stałych.



Ugięcia.

Ugięcie w punkcie o współrzędnej $x = 2,826 \text{ m}$, wyznaczone poprzez całkowanie funkcji krzywizny osi pręta ($1/\rho$) z uwzględnieniem zmiany sztywności wzdłuż osi elementu, wynosi:

$$a = a_{\infty,d} = 10,2 \text{ mm}$$

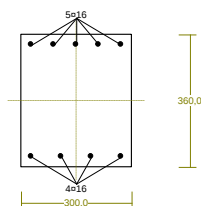
$$a = 10,2 < 25,2 = a_{lim}$$

Wyniki wymiarowania elementu żelbetowego wg PN-EN-1992

RM_Zb1992 v. 1.43 licencja nr 46201

Cechy przekroju:

zadanie P-4.8-4.9, pręt nr 2, przekrój: $x_a=3,30 \text{ m}$, $x_b=3,30 \text{ m}$



Wymiary przekroju [cm]:

$$h=36,0, \quad b=30,0,$$

Cechy materiałowe dla sytuacji stałej lub przejściowej

BETON: C12/15

$$f_{ck} = 12,0 \text{ MPa}, \quad f_{cd} = \alpha \cdot f_{ck} / \gamma_c = 1,00 \times 12,0 / 1,40 = 8,6 \text{ MPa}$$

Cechy geometryczne przekroju betonowego:

$$A_c = 1080 \text{ cm}^2, J_{cy} = 116640 \text{ cm}^4, J_{cz} = 81000 \text{ cm}^4$$

STAL: $f_{yk} = 500$

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}, \gamma_s = 1,15, f_{yd} = 435 \text{ MPa}$$

$$\xi_{lim} = 0,0035 / (0,0035 + f_{yd}/E_s) = 0,0035 / (0,0035 + 435/200000) = 0,617,$$

Zbrojenie główne:

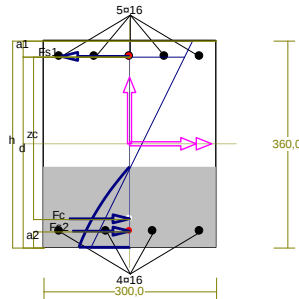
$$A_{s1} + A_{s2} = 18,10 \text{ cm}^2, \rho = 100 (A_{s1} + A_{s2}) / A_c = 100 \times 18,10 / 1080 = 1,68 \%,$$

$$J_{sy} = 4181 \text{ cm}^4, J_{sz} = 1413 \text{ cm}^4,$$

Nośność przekroju prostokątnego:

zadanie P-4.8-4.9, pręt nr 2, przekrój: $x_a = 0,00 \text{ m}$, $x_b = 6,60 \text{ m}$

Obliczenia wykonano dla kombinacji [CW A (a)] grup obciążeń, dla której warunek stanu granicznego nośności przekroju jest najniekorzystniejszy



Wielkości obliczeniowe:

$$N_{Ed} = 0,00 \text{ kN},$$

$$M_{Ed} = \sqrt{(M_{Edy})^2 + (M_{Edz})^2} = \sqrt{(91,86)^2 + (0,00)^2} = 91,86 \text{ kNm}$$

$$f_{cd} = 8,6 \text{ MPa}, f_{yd} = 435 \text{ MPa} = f_{td},$$

Zbrojenie rozciągane: $A_{s1} = 10,05 \text{ cm}^2$,

Zbrojenie ściskane: $A_{s2} = 8,04 \text{ cm}^2$,

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 18,10 \text{ cm}^2, \rho = 100 \times A_s / A_c = 100 \times 18,10 / 1080 = 1,68 \%$$

Wielkości geometryczne [cm]:

$$h = 36,0, d = 33,2, x = 14,0 (\xi = 0,422),$$

$$a_1 = 2,8, a_2 = 2,8, a_c = 4,9, z_c = 28,3, A_{cc} = 421 \text{ cm}^2,$$

$$\varepsilon_c = -1,14 \text{ ‰}, \varepsilon_{s2} = -0,91 \text{ ‰}, \varepsilon_{s1} = 1,56 \text{ ‰},$$

Wielkości statyczne [kN, kNm]:

$$F_c = -167,09, F_{s1} = 313,96, F_{s2} = -146,87,$$

$$M_c = 21,81, M_{s1} = 47,72, M_{s2} = 22,32,$$

Warunek stanu granicznego nośności:

$$M_{Rd} = 133,17 \text{ kNm} > M_{Ed} = M_c + M_{s1} + M_{s2} = 21,81 + (47,72) + (22,32) = 91,86 \text{ kNm}$$

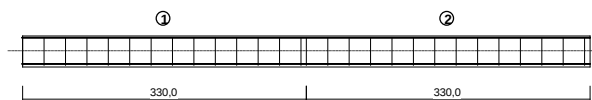
Zbrojenie poprzeczne (strzemiona)

zadanie P-4.8-4.9, pręt nr 2

Na całej długości pręta przyjęto strzemiona o średnicy $\phi = 8 \text{ mm}$ ze stali $f_{yk} = 500$, dla której $f_{ywd} = 435 \text{ MPa}$.

Minimalny stopień zbrojenia na ścinanie:

$$\rho_{w,min} = 0,08 \sqrt{f_{ck}} / f_{yk} = 0,08 \times \sqrt{12} / 500 = 0,00055$$



Rozstaw strzemion:

Strefa nr 1

$$\text{Początek i koniec strefy: } x_a = 0,0 \quad x_b = 330,0 \text{ cm}$$

Maksymalny podłużny rozstaw strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 332 \times (1 + 0,000) = 249$$

przyjęto $s_{l,max} = 249$ mm.

Maksymalny poprzeczny rozstaw ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 332 = 249 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{b,max} = 249$ mm.

Maksymalny rozstaw strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm.}$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{300,0; 360,0\} = 300,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{cl,max} = 300,0$ mm.

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 180,0$ mm.

Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **24,9** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 1,01 / (24,9 \times 30,0 \times 1,000) = 0,00135$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00135} > \mathbf{0,00055} = \rho_{w \min}$$

Strefa nr 2

Początek i koniec strefy: $x_a = 330,0$ $x_b = 660,0$ cm

Maksymalny podłużny rozstaw strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 332 \times (1 + 0,000) = 249$$

przyjęto $s_{l,max} = 249$ mm.

Maksymalny poprzeczny rozstaw ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 332 = 249 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{b,max} = 249$ mm.

Maksymalny rozstaw strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 16,0 = 320,0 \text{ mm.}$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{300,0; 360,0\} = 300,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{cl,max} = 300,0$ mm.

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 180,0$ mm.

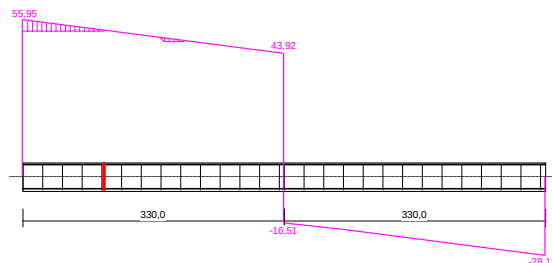
Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **24,9** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 1,01 / (24,9 \times 30,0 \times 1,000) = 0,00135$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00135} > \mathbf{0,00055} = \rho_{w \min}$$

Ścinanie

zadanie P-4.8-4.9, pręt nr 2, przekrój: $x_a = 1,03$ m, $x_b = 5,57$ m, obciążenia: CW A (a)



Siły przekrojowe:

$$N_{Ed} = 0,00;$$

$$V_{Ed} = 52,19 \text{ kN}$$

Nośność elementów niewymagających zbrojenia na ścinanie:

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \frac{10,05}{30,0 \times 33,2} = 0,01009; \quad \rho_l \leq 0,02$$

Przyjęto $\rho_l = 0,01009$.

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_C = 0,00 / 1080,00 \times 10 = 0,00 \text{ MPa} \quad \sigma_{cp} \leq 0,2 f_{cd} = 1,72 \text{ MPa}$$

Przyjęto $\sigma_{cp} = 0,00 \text{ MPa}$.

$$k = 1 + \sqrt{200/d} = 1 + \sqrt{200/332,0} = 1,776 \quad k \leq 2,0$$

Przyjęto $k = 1,776$

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18/1,4 = 0,129$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,035 \times 1,776^{3/2} \times 12^{1/2} = 0,287$$

$$\begin{aligned} V_{Rd,c} &= [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d = \\ &= [0,129 \times 1,776 \times (100 \times 0,01009 \times 12)^{1/3} + 0,15 \times 0,00] \times 30,0 \times 33,2 \times 10^{-1} = 52,23 \text{ kN} \end{aligned}$$

lecz nie mniej niż

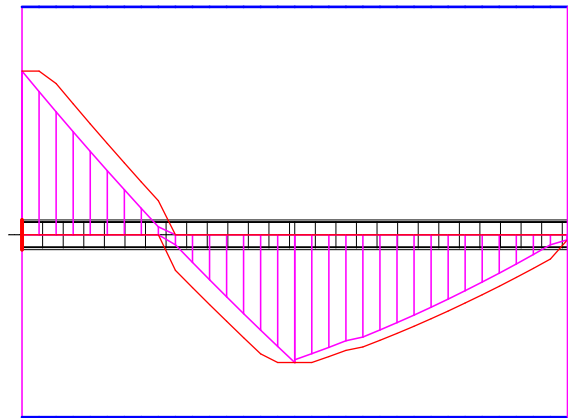
$$V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d = (0,287 + 0,15 \times 0,00) \times 30,0 \times 33,2 \times 10^{-1} = 28,58 \text{ kN}$$

Przyjęto $V_{Rd,c} = 52,23 \text{ kN}$

$$V_{Ed} = 52,19 < 52,23 = V_{Rdc}$$

Nośność zbrojenia podłużnego

zadanie P-4.8-4.9, pręt nr 2, obciążenia: CW A (a)



Sprawdzenie siły przenoszonej przez zbrojenie rozciągane dla $x = 0,000 \text{ m}$:

$$\Delta F_{td} = 0,5 |V_{Ed}| (\cot \theta - \cot \alpha) = 0,5 \times 55,95 \times (1,000 - 0,000) = 55,86 \text{ kN}$$

Summaryczna siła w zbrojeniu rozciągającym:

$$F_{td} = F_{td,m} + \Delta F_{td} = 313,96 + 55,86 = 369,83 \text{ kN};$$

$$F_{td} \leq F_{td,max} = 313,96 \text{ kN}$$

Przyjęto $F_{td} = 313,96 \text{ kN}$

$$F_{td} = 313,96 < 437,09 = 10,05 \times 435 \times 10^{-1} = A_s f_{yd}$$

Ograniczenie naprężeń (SGU)

zadanie P-4.8-4.9, pręt nr 2, przekrój: $x_a=0,00 \text{ m}$, $x_b=6,60 \text{ m}$, obciążenia: CW A

Ograniczenie naprężeń w betonie od charakterystycznej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia rys podłużnych, mikrorys i wysokiego pełzania:

$$\sigma_{ck} = 4,478 < 12,000 = 1,00 \times 12,0 = k_1 f_{ck}$$

Ograniczenie naprężeń w betonie od quasi-stałej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia pełzania nieliniowego:

$$\sigma_{cqs} = 4,478 < 5,400 = 0,45 \times 12,0 = k_2 f_{ck}$$

Ograniczenie naprężeń rozciągających w zbrojeniu od charakterystycznej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia niedopuszczalnego zarysowania lub deformacji:

$$\sigma_{sk} = 206,960 < 400,000 = 0,80 \times 500 = k_3 f_{yk}$$

Zarysowanie

zadanie P-4.8-4.9, pręt nr 2, obciążenia: CW A

Położenie przekroju:	$x = 3,300 \text{ m}$
Siły przekrojowe od obc. quasi-stałych:	$M_{Ed} = 49,38 \text{ kNm}$ $N_{Ed} = 0,00 \text{ kN}$ $V_{Ed} = 29,49 \text{ kN}$
Wymiary przekroju:	$b_w = 30,0 \text{ cm}$ $d = h - a_1 = 36,0 - 2,8 = 33,2 \text{ cm}$ $A_c = 1080 \text{ cm}^2$ $W_c = 6480 \text{ cm}^3$

Minimalne zbrojenie:

Wymagane pole zbrojenia rozciąganego dla zginania, przy naprężeniach wywołanych przyczynami zewnętrznymi:

$$\sigma_c = N_{Ed} / bh = 0,00 / (30,0 \times 36,0) \times 10 = 0,000 \text{ Mpa}$$

$$k_c = 0,4 \left(1 - \frac{\sigma_c}{k_1 h / h^* f_{ct,eff}} \right) = 0,4 \times [1 - 0,000 / (0,800 \times 36,0 / 36,0 \times 1,60)] = 0,400; \quad k_c \leq 1,0$$

$$A_{s,min} = k_c k f_{ct,eff} A_{ct} / \sigma_s =$$

$$= 0,400 \times 1,0 \times 1,60 \times 540 / 500 = 0,69 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 8,04 > 0,69 = A_{s,min}$$

Zarysowanie:

$$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 1,6 \times 6480 \times 10^{-3} = 10,37 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 49,38 > 10,37 = M_{cr}$$

Przekrój zarysowany.

Szerokość rozwarcia rysy prostopadłej do osi pręta:

Przyjęto $k_2 = 0,500$.

$$\rho_{p,eff} = A_s / A_{c,eff} = 8,04 / 210 = 0,03830$$

Dla rozstawu prętów zbrojenia wynoszącego 81,3 mm, który jest nie większy niż $5(c + \phi/2)$

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff} = 3,400 \times 20,0 + 0,800 \times 0,500 \times 0,425 \times 16 / 0,03830 = 139,02 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = [\sigma_s - k_t f_{ct,eff} / \rho_{p,eff} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})] / E_s =$$

$$= [205,4 - 0,400 \times 1,60 / 0,03830 \times (1 + 200000 / 27000 \times 0,03830)] / 200000 = 0,00092$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} \leq 0,6 \sigma_s / E_s = 0,6 \times 205,4 / 200000 = 0,00062$$

Przejęto $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,00092$.

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 139,02 \times 0,00092 = 0,13 \text{ mm}$$

$$w_k = 0,13 < 0,4 = w_{lim}$$

Ugięcia

zadanie P-4.8-4.9, pręt nr 2, obciążenia: CW A

Ugięcia wyznaczono dla obciążeń quasi-stałych.

Współczynniki pełzania dla obciążeń długotrwałych przyjęto równy $\phi(\infty, t_0) = 2,00$.

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \phi(\infty, t_0)} = \frac{27000}{1 + 2,000} = 9000 \text{ MPa}$$

Moment rysujący:

$$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 1,6 \times 6480 \times 10^{-3} = 10,37 \text{ kNm}$$

Całkowity moment zginający $M_{Ed} = -62,65 \text{ kN}$ powoduje zarysowanie przekroju.

Sztywność elementu z uwzględnieniem pełzania betonu:

Sztywność na zginanie wyznaczona dla momentu $M = -62,65 \text{ kNm}$.

Wielkości geometryczne przekroju: $x_I = 18,5 \text{ cm}$ $I_I = 209235 \text{ cm}^4$
 $x_{II} = 13,2 \text{ cm}$ $I_{II} = 131691 \text{ cm}^4$

Sztywność elementu niezarysowanego:

$$B_I = E_{c,eff} I_I = 9000 \times 209235 \times 10^{-5} = 18831 \text{ kNm}^2$$

Sztywność elementu w pełni zarysowanego:

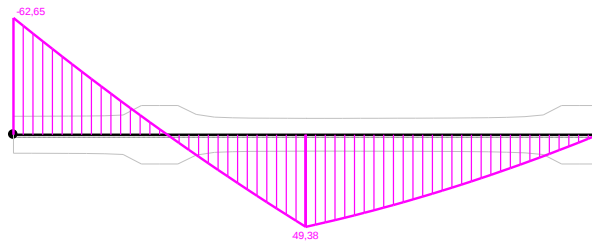
$$B_{II} = E_{c,eff} I_{II} = 9000 \times 131691 \times 10^{-5} = 11852 \text{ kNm}^2$$

Sztywność elementu:

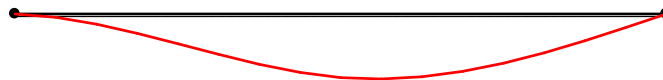
$$\zeta = 1 - \beta (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2 = 1 - \beta (M_{cr} / M)^2 = 1 - 0,50 \times (10,37/62,65)^2 = 0,986$$

$$1/B = \zeta 1/B_{II} + (1-\zeta) 1/B_I$$

$$B = \frac{B_{II}}{\zeta + (1-\zeta) B_{II} / B_I} = \frac{11852}{0,986 + (1-0,986) \times 11852/18831} = 11913 \text{ kNm}^2$$



Wykres sztywności i momentów dla obciążeń quasi-stałych.



Ugięcia.

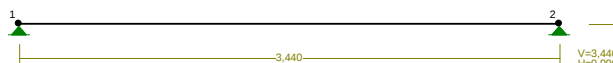
Ugięcie w punkcie o współrzędnej $x = 3,712 \text{ m}$, wyznaczone poprzez całkowanie funkcji krzywizny osi pręta ($1/\rho$) z uwzględnieniem zmiany sztywności wzdłuż osi elementu, wynosi:

$$a = a_{\infty,d} = 12,8 \text{ mm}$$

$$a = 12,8 < 26,4 = a_{lim}$$

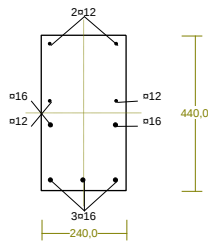
Poz. 4.9.

WEZŁY:



Cechy przekroju:

pręt nr 1, przekrój: $x_a=1,65$ m, $x_b=1,79$ m



Wymiary przekroju [cm]:

$$h=44,0, \quad b=24,0,$$

Cechy materiałowe dla sytuacji stałej lub przejściowej

BETON: C25/30

$$f_{ck}=25,0 \text{ MPa}, \quad f_{cd}=\alpha \cdot f_{ck} / \gamma_c = 1,00 \times 25,0 / 1,40 = 17,9 \text{ MPa}$$

Cechy geometryczne przekroju betonowego:

$$A_c=1056 \text{ cm}^2, \quad J_{cy}=170368 \text{ cm}^4, \quad J_{cz}=50688 \text{ cm}^4$$

STAL: $f_{yk}=500$

$$f_{yk}=500 \text{ MPa}, \quad \gamma_s=1,15, \quad f_{yd}=435 \text{ MPa}$$

$$\zeta_{lim}=0,0035 / (0,0035 + f_{yd} / E_s) = 0,0035 / (0,0035 + 435 / 200000) = 0,617,$$

Zbrojenie główne:

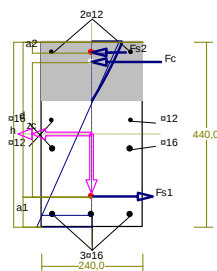
$$A_{s1}+A_{s2}=14,58 \text{ cm}^2, \quad \rho=100 (A_{s1}+A_{s2}) / A_c = 100 \times 14,58 / 1056 = 1,38 \%,$$

$$J_{sy}=3150 \text{ cm}^4, \quad J_{sz}=1080 \text{ cm}^4,$$

Nośność przekroju prostokątnego:

zadanie P-4.11 to 4.9, pręt nr 1, przekrój: $x_a=1,65$ m, $x_b=1,79$ m

Obliczenia wykonano dla kombinacji [CW A (a)] grup obciążeń, dla której warunek stanu granicznego nośności przekroju jest najniekorzystniejszy



Wielkości obliczeniowe:

$$N_{Ed}=0,00 \text{ kN},$$

$$M_{Ed}=\sqrt{(M_{Edy})^2 + (M_{Edz})^2} = \sqrt{(-66,39)^2 + 0,00^2} = 66,39 \text{ kNm}$$

$$f_{cd}=17,9 \text{ MPa}, \quad f_{yd}=435 \text{ MPa} = f_{td},$$

Zbrojenie rozciągane: $A_{s1}=12,32 \text{ cm}^2$,

Zbrojenie ściskane: $A_{s2}=2,26 \text{ cm}^2$,

$$A_s=A_{s1}+A_{s2}=14,58 \text{ cm}^2, \quad \rho=100 \times A_s / A_c = 100 \times 14,58 / 1056 = 1,38 \%$$

Wielkości geometryczne [cm]:

$$h=44,0, \quad d=36,9, \quad x=12,7 \quad (\xi=0,345),$$

$$a_1=7,1, \quad a_2=2,6, \quad a_c=4,9, \quad z_c=32,0, \quad A_{cc}=341 \text{ cm}^2,$$

$$\varepsilon_c=-0,67 \text{ ‰}, \quad \varepsilon_{s2}=-0,55 \text{ ‰}, \quad \varepsilon_{s1}=1,27 \text{ ‰},$$

Wielkości statyczne [kN, kNm]:

$$F_c = -181,09, \quad F_{s1} = 205,76, \quad F_{s2} = -24,67,$$

$$M_c = 30,99, \quad M_{s1} = 30,61, \quad M_{s2} = 4,79,$$

Warunek stanu granicznego nośności:

$$M_{Rd} = 144,81 \text{ kNm} > M_{Ed} = M_c + M_{s1} + M_{s2} = 30,99 + (30,61) + (4,79) = 66,39 \text{ kNm}$$

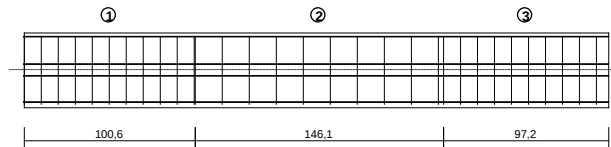
Zbrojenie poprzeczne (strzemiona)

zadanie P-4.11 to 4.9, pręt nr 1

Na całej długości pręta przyjęto strzemiona o średnicy $\phi=8$ mm ze stali $f_{yk}=400$, dla której $f_{ywd} = 348$ MPa.

Minimalny stopień zbrojenia na ścinanie:

$$\rho_{w,min} = 0,08 \sqrt{f_{ck}} / f_{yk} = 0,08 \times \sqrt{25} / 500 = 0,00080$$



Rozstaw strzemion:

Strefa nr 1

Początek i koniec strefy: $x_a = 0,0$ $x_b = 100,6$ cm

Maksymalny podłużny rozstaw strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 350 \times (1 + 0,000) = 262$$

przyjęto $s_{l,max} = 262$ mm.

Maksymalny poprzeczny rozstaw ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 350 = 262 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{b,max} = 262$ mm.

Maksymalny rozstaw strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 12,0 = 240,0 \text{ mm.}$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{240,0; 440,0\} = 240,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{cl,max} = 240,0$ mm.

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 144,0$ mm.

Przyjęto strzemiona 3-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **10,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 1,51 / (10,0 \times 24,0 \times 1,000) = 0,00628$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00628} > \mathbf{0,00080} = \rho_{w,min}$$

Strefa nr 2

Początek i koniec strefy: $x_a = 100,6$ $x_b = 246,8$ cm

Maksymalny podłużny rozstaw strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 350 \times (1 + 0,000) = 262$$

przyjęto $s_{l,max} = 262$ mm.

Maksymalny poprzeczny rozstaw ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 350 = 262 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{b,max} = 262$ mm.

Maksymalny rozstaw strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 12,0 = 240,0 \text{ mm.}$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{240,0; 440,0\} = 240,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{cl,max} = 240,0$ mm.

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 144,0$ mm.

Przyjęto strzemiona 3-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **15,9** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 1,51 / (15,9 \times 24,0 \times 1,000) = 0,00395$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00395} > \mathbf{0,00080} = \rho_{w,min}$$

Strefa nr 3

Początek i koniec strefy: $x_a = 246,8$ $x_b = 344,0$ cm

Maksymalny podłużny rozstaw strzemion dla belek:

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \times 350 \times (1 + 0,000) = 262$$

przyjęto $s_{l,max} = 262$ mm.

Maksymalny poprzeczny rozstaw ramion strzemion dla belek:

$$s_{b,max} = 0,75 d = 0,75 \times 350 = 262 \quad s_{b,max} \leq 600 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{b,max} = 262 \text{ mm}$.

Maksymalny rozstawy strzemion dla słupów:

$$s_{cl,max} = 20 \phi = 20 \times 12,0 = 240,0 \text{ mm.}$$

$$s_{cl,max} = \min\{h; b\} = \min\{240,0; 440,0\} = 240,0$$

$$s_{cl,max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{cl,max} = 240,0 \text{ mm}$.

Na odcinkach w pobliżu połączeń z belkami lub płytami oraz połączeń na zakład należy zastosować mniejszy rozstaw strzemion $0,6 s_{cl,max} = 144,0 \text{ mm}$.

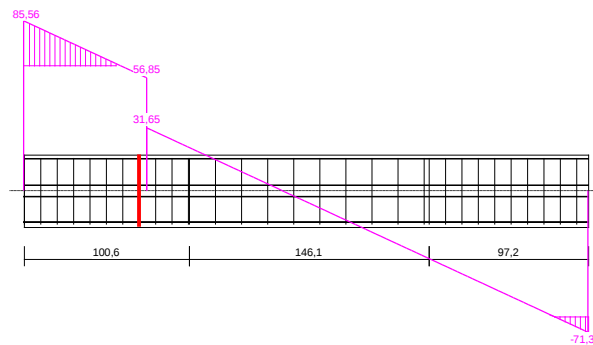
Przyjęto strzemiona 3-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **10,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 1,51 / (10,0 \times 24,0 \times 1,000) = 0,00628$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00628} > \mathbf{0,00080} = \rho_{w \min}$$

Ścinanie

zadanie P-4.11 to 4.9, pręt nr 1, przekrój: $x_a=0,70 \text{ m}$, $x_b=2,74 \text{ m}$, obciążenia: CW A (a)



Siły przekrojowe:

$$N_{Ed} = 0,00;$$

$$V_{Ed} = 58,64 \text{ kN}$$

Nośność elementów niewymagających zbrojenia na ścinanie:

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \frac{10,05}{24,0 \times 35,0} = 0,01198; \quad \rho_l \leq 0,02$$

Przyjęto $\rho_l = 0,01198$.

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_C = 0,00 / 1056,00 \times 10 = 0,00 \text{ MPa} \quad \sigma_{cp} \leq 0,2 f_{cd} = 3,58 \text{ MPa}$$

Przyjęto $\sigma_{cp} = 0,00 \text{ MPa}$.

$$k = 1 + \sqrt{200/d} = 1 + \sqrt{200/349,6} = 1,756 \quad k \leq 2,0$$

Przyjęto $k = 1,756$

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18/1,4 = 0,129$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,035 \times 1,756^{3/2} \times 25^{1/2} = 0,407$$

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d =$$

$$= [0,129 \times 1,756 \times (100 \times 0,01198 \times 25)^{1/3} + 0,15 \times 0,00] \times 24,0 \times 35,0 \times 10^{-1} = 58,84 \text{ kN}$$

lecz nie mniej niż

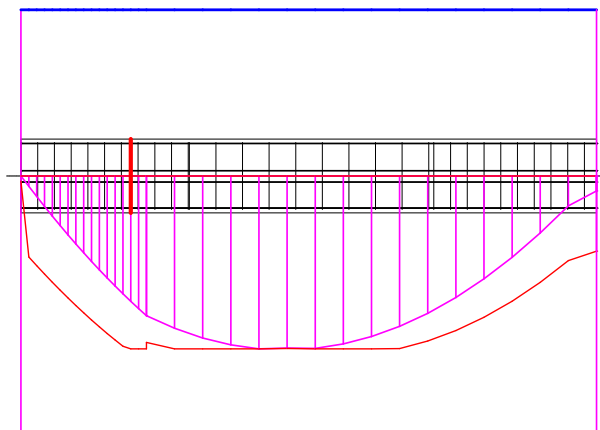
$$V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d = (0,407 + 0,15 \times 0,00) \times 24,0 \times 35,0 \times 10^{-1} = 34,18 \text{ kN}$$

Przyjęto $V_{Rd,c} = 58,84 \text{ kN}$

$$V_{Ed} = 58,64 < 58,84 = V_{Rdc}$$

Nośność zbrojenia podłużnego

zadanie P-4.11 to 4.9, pręt nr 1, obciążenia: CW A (a)



Sprawdzenie siły przenoszonej przez zbrojenie rozciągane dla $x = 0,656$ m:

$$\Delta F_{td} = 0,5 |V_{Ed}| (\cot \theta - \cot \alpha) = 0,5 \times 60,44 \times (1,997 - 0,000) = 60,34 \text{ kN}$$

Sumaryczna siła w zbrojeniu rozciągany:

$$F_{td} = F_{td,m} + \Delta F_{td} = 148,30 + 60,34 = 208,64 \text{ kN};$$

$$F_{td} \leq F_{td,max} = 204,64 \text{ kN}$$

Przyjęto $F_{td} = 204,64 \text{ kN}$

$$F_{td} = 204,64 < 437,09 = 10,05 \times 435 \times 10^{-1} = A_s f_{yd}$$

Ograniczenie naprężeń (SGU)

zadanie P-4.11 to 4.9, pręt nr 1, przekrój: $x_a = 1,59$ m, $x_b = 1,85$ m, obciążenia: CW A

Ograniczenie naprężeń w betonie od charakterystycznej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia rys podłużnych, mikrorys i wysokiego pełzania:

$$\sigma_{ck} = 7,004 < 25,000 = 1,00 \times 25,0 = k_1 f_{ck}$$

Ograniczenie naprężeń w betonie od quasi-stałej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia pełzania nieliniowego:

$$\sigma_{cqs} = 7,004 < 11,250 = 0,45 \times 25,0 = k_2 f_{ck}$$

Ograniczenie naprężeń rozciągających w zbrojeniu od charakterystycznej kombinacji obciążeń ze względu na możliwość wystąpienia niedopuszczalnego zarysowania lub deformacji:

$$\sigma_{sk} = 161,230 < 400,000 = 0,80 \times 500 = k_3 f_{yk}$$

Zarysowanie

zadanie P-4.11 to 4.9, pręt nr 1, obciążenia: CW A

Położenie przekroju:

$$x = 1,591 \text{ m}$$

Siły przekrojowe od obc. quasi-stałych:

$$M_{Ed} = 44,71 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 0,00 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = -0,33 \text{ kN}$$

Wymiary przekroju:

$$b_w = 24,0 \text{ cm}$$

$$d = h - a_1 = 44,0 - 9,0 = 35,0 \text{ cm}$$

$$A_c = 1056 \text{ cm}^2$$

$$W_c = 7744 \text{ cm}^3$$

Minimalne zbrojenie:

Wymagane pole zbrojenia rozciąganego dla zginania, przy naprężeniach wywołanych przyczynami zewnętrznymi:

$$\sigma_c = N_{Ed} / bh = 0,00 / (24,0 \times 44,0) \times 10 = 0,000 \text{ Mpa}$$

$$k_c = 0,4 \left(1 - \frac{\sigma_c}{k_1 h / h^* f_{ct,eff}} \right) = 0,4 \times [1 - 0,000 / (0,800 \times 44,0 / 44,0 \times 2,60)] = 0,400; \quad k_c \leq 1,0$$

$$A_{s,min} = k_c k f_{ct,eff} A_{ct} / \sigma_s = \\ = 0,400 \times 1,0 \times 2,60 \times 528 / 500 = 1,10 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 10,05 > 1,10 = A_{s,min}$$

Zarysowanie:

$$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 2,6 \times 7744 \times 10^{-3} = 20,13 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 44,71 > 20,13 = M_{cr}$$

Przekrój zarysowany.

Szerokość rozwarcia rysy prostopadłej do osi pręta:

Przyjęto $k_2 = 0,500$.

$$\rho_{p,eff} = A_s / A_{c,eff} = 6,03 / 222 = 0,02715$$

Dla rozstawu prętów zbrojenia wynoszącego 92 mm, który jest nie większy niż $5(c + \phi/2)$

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff} = 3,400 \times 20,0 + 0,800 \times 0,500 \times 0,425 \times 16 / 0,02715 = 168,18 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = [\sigma_s - k_t f_{ct,eff} / \rho_{p,eff} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})] / E_s = \\ = [176,7 - 0,400 \times 2,60 / 0,02715 \times (1 + 200000 / 31000 \times 0,02715)] / 200000 = 0,00066$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} \leq 0,6 \sigma_s / E_s = 0,6 \times 176,7 / 200000 = 0,00053$$

Przejęto $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,00066$.

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 168,18 \times 0,00066 = 0,11 \text{ mm}$$

$$w_k = 0,11 < 0,4 = w_{lim}$$

Ugięcia

zadanie P-4.11 to 4.9, pręt nr 1, obciążenia: CW A

Ugięcia wyznaczono dla obciążeń quasi-stałych.

Współczynniki pełzania dla obciążeń długotrwałych przyjęto równy $\phi(\infty, t_0) = 2,00$.

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \phi(\infty, t_0)} = \frac{31000}{1 + 2,00} = 10333 \text{ MPa}$$

Moment rysujący:

$$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 2,6 \times 7744 \times 10^{-3} = 20,13 \text{ kNm}$$

Całkowity moment zginający $M_{Ed} = 44,71 \text{ kN}$ powoduje zarysowanie przekroju.

Sztywność elementu z uwzględnieniem pełzania betonu:

Sztywność na zginanie wyznaczona dla momentu $M = 44,71 \text{ kNm}$.

$$\begin{array}{ll} \text{Wielkości geometryczne przekroju:} & x_I = 23,1 \text{ cm} \quad I_I = 229584 \text{ cm}^4 \\ & x_{II} = 16,2 \text{ cm} \quad I_{II} = 122248 \text{ cm}^4 \end{array}$$

Sztywność elementu niezarysowanego:

$$B_I = E_{c,eff} I_I = 10333 \times 229584 \times 10^{-5} = 23724 \text{ kNm}^2$$

Sztywność elementu w pełni zarysowanego:

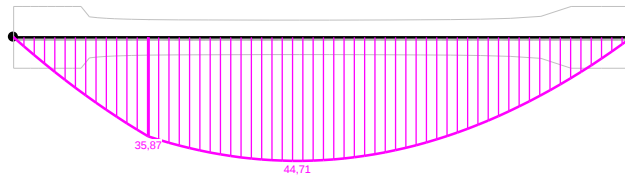
$$B_{II} = E_{c,eff} I_{II} = 10333 \times 122248 \times 10^{-5} = 12632 \text{ kNm}^2$$

Sztywność elementu:

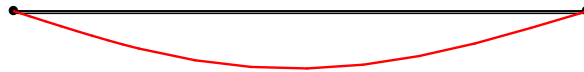
$$\zeta = 1 - \beta (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2 = 1 - \beta (M_{cr} / M)^2 = 1 - 0,50 \times (20,13 / 44,71)^2 = 0,899$$

$$1/B = \zeta 1/B_{II} + (1 - \zeta) 1/B_I$$

$$B = \frac{B_{II}}{\zeta + (1 - \zeta) B_{II} / B_I} = \frac{12632}{0,899 + (1 - 0,899) \times 12632 / 23724} = 13261 \text{ kNm}^2$$



Wykres sztywności i momentów dla obciążeń quasi-stałych.



Ugięcia.

Ugięcie w punkcie o współrzędnej $x = 1,759$ m, wyznaczone poprzez całkowanie funkcji krzywizny osi pręta ($1/\rho$) z uwzględnieniem zmiany sztywności wzdłuż osi elementu, wynosi:

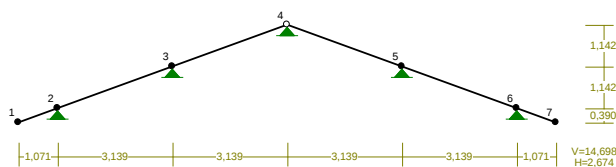
$$a = a_{\infty, d} = 4,1 \text{ mm}$$

$$a = 4,1 < 13,8 = a_{\text{lim}}$$

Obliczenia konstrukcji dachu

Więźba dachowa – krowkie

WĘZŁY:



Pręt nr 1

Wyniki wymiarowania elementów drewnianych wg PN-EN 1995 (Drew1995_3d v. 1.21 licencja nr 46201)

Zadanie: Więźba

Przekrój: 1 „B 200x80”

Wymiary przekroju:

$$h=200,0 \text{ mm} \quad b=80,0 \text{ mm.}$$

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$$J_y=5333,3; \quad J_z=853,3 \text{ cm}^4; \quad A=160,00 \text{ cm}^2; \quad i_y=5,8; \quad i_z=2,3 \text{ cm}; \quad W_y=533,3; \quad W_z=213,3 \text{ cm}^3.$$

Własności techniczne drewna:

Przyjęto 1 klasę użytkowania konstrukcji (temperatura powietrza 20° i wilgotności powyżej 65% tylko przez kilka tygodni w roku) oraz klasę trwania obciążenia: **Stale** (więcej niż 10 lat, np. ciężar własny).

$$K_{\text{mod}} = 0,60 \quad \gamma_M = 1,3$$

$$k_{h,t} = \min [(150/80)^{0,2}; 1,3] = 1,134$$

$$G_{\text{mean}} = 690 \text{ MPa}$$

$$\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$$

Sprawdzenie nośności pręta nr 1

Sprawdzenie nośności przeprowadzono wg PN-EN 1995.

Nośność na rozciąganie:

Wyniki dla $x_a=0,570$ m; $x_b=0,570$ m; pręśło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,35·CW+1,5·A (a)”.

Pole powierzchni przekroju netto $A_n = 160,00 \text{ cm}^2$.

$$\sigma_{t,0,d} = N / A_n = 0,61 / 160,00 \times 10 = \mathbf{0,038} < \mathbf{7,589} = f_{t,0,d} \quad (6.1)$$

Nośność na zginanie:

Wyniki dla $x_a=0,570$ m; $x_b=0,570$ m; pręśło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,35·CW+1,5·A (a)”.

Długość obliczeniowa dla *pręta swobodnie podpartego ze stałym momentem zginającym*, przy obciążeniu przyłożonym do powierzchni *górnej*, wynosi:

$$l_{ef} = 1,0 \times 1139,8 + 200 + 200 = 1539,8 \text{ mm}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 b^2}{h l_{ef}} E_{0,05} = \frac{0,78 \times 80^2}{200 \times 1539,8} \times 7400 = 119,953 \text{ MPa} \quad (6.32)$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{f_{m,k} / \sigma_{m,crit}} = \sqrt{24,00 / 119,953} = 0,447 \quad (6.30)$$

Wartość współczynnika zwichrzenia:

$$\text{dla } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \quad k_{crit} = 1$$

Warunek stateczności:

$$\sigma_{m,d} = M / W = 0,71 / 533,33 \times 10^3 = \mathbf{1,322} < \mathbf{11,077} = 1,000 \times 11,077 = k_{crit} f_{m,d} \quad (6.33)$$

Nośność dla $x_a=0,570$ m; $x_b=0,570$ m; pręśło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,35·CW+1,5·A (a)”:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,038}{7,589} + \frac{1,322}{11,077} + 0,7 \times \frac{0,000}{11,077} = \mathbf{0,124} < \mathbf{1} \quad (6.17)$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,038}{7,589} + 0,7 \times \frac{1,322}{11,077} + \frac{0,000}{11,077} = \mathbf{0,089} < \mathbf{1} \quad (6.18)$$

Nośność na ścinanie:

Wyniki dla $x_a=0,570$ m; $x_b=0,570$ m; pręśło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,35·CW+1,5·A (a)”.

Naprężenia tnące:

$$\tau_{z,d} = 1,5 V_z / (k_{cr} A) = 1,5 \times 2,48 / (1,00 \times 160,00) \times 10 = 0,232 \text{ MPa}$$

$$\tau_{y,d} = 1,5 V_y / (k_{cr} A) = 1,5 \times 0 / (1,00 \times 160,00) \times 10 = 0,000 \text{ MPa}$$

Przyjęto $k_v = 1,000$.

Warunek nośności

$$\tau_d = \sqrt{\tau_{z,d}^2 + \tau_{y,d}^2} = \sqrt{0,232^2 + 0,000^2} = \mathbf{0,232} < \mathbf{1,846} = 1,000 \times 1,846 = k_v f_{v,d}$$

Nośność na skręcanie:

Wyniki dla $x_a=0,570$ m; $x_b=0,570$ m; pręśło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,35·CW+1,5·A (a)”.

$$\tau_{tor,d} = \frac{M_{tor}}{\eta b^2 h} = \frac{0}{0,255 \times 8,0^2 \times 20,0} \times 10^3 = \mathbf{0,000} < \mathbf{2,538} = 1,375 \times 1,846 = k_{shape} f_{v,d} \quad (6.14)$$

Stan graniczny użytkowania:

Wyniki dla $x_a=0,570$ m; $x_b=0,570$ m; pręśło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „Char: CW+A; Q-S: CW+A”
liczone od cięciwy pręta.

Wartości graniczne ugięć końcowych:

$$u_{z,fin,gr} = l / 150 = 1139,8 / 150 = 7,6 \text{ mm}$$

$$u_{y,fin,gr} = l / 150 = 1139,8 / 150 = 7,6 \text{ mm}$$

Ugięcia chwilowe wyznaczone dla charakterystycznej kombinacji obciążeń:

$$u_{z,inst} = u_z [1 + \eta_1 (h/L)^2] = 0,16 \times [1 + 19,20 \times (200,0/1139,8)^2] = 0,26 \text{ mm}$$

$$u_{y,inst} = u_y [1 + \eta_1 (h/L)^2] = 0,00 \times [1 + 19,20 \times (80,0/1139,8)^2] = 0,00 \text{ mm}$$

Ugięcia końcowe obliczone dla quasi-stałej kombinacji obciążeń:

$$u_{z,fin} = u_z [1 + \eta_1 (h/L)^2] (1 + k_{def}) = 0,16 \times [1 + 19,20 \times (200,0/1139,8)^2] (1 + 0,60) = 0,42 \text{ mm}$$

$$u_{y,fin} = u_y [1 + \eta_1 (h/L)^2] (1 + k_{def}) = 0,00 \times [1 + 19,20 \times (80,0/1139,8)^2] (1 + 0,60) = 0,00 \text{ mm}$$

Warunki SGU:

$$u_{z,inst} = 0,3$$

$$u_{z,fin} = 0,4 < 7,6 = u_{z,fin,gr}$$

Pręt nr 2

Wyniki wymiarowania elementów drewnianych wg PN-EN 1995 (Drew1995_3d v. 1.21 licencja nr 46201)

Zadanie: Więźba

Przekrój: 1 „B 200x80”

Wymiary przekroju:

$$h=200,0 \text{ mm } b=80,0 \text{ mm.}$$

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$$J_{yg}=5333,3; J_{zg}=853,3 \text{ cm}^4; A=160,00 \text{ cm}^2; i_y=5,8; i_z=2,3 \text{ cm}; W_y=533,3; W_z=213,3 \text{ cm}^3.$$

Własności techniczne drewna:

Przyjęto 1 klasę użytkowania konstrukcji (temperatura powietrza 20° i wilgotności powyżej 65% tylko przez kilka tygodni w roku) oraz klasę trwania obciążenia: **Stale** (więcej niż 10 lat, np. ciężar własny).

$$K_{mod} = 0,60 \quad \gamma_M = 1,3$$

$$k_{h,t} = \min [(150/80)^{0,2}; 1,3] = 1,134$$

Sprawdzenie nośności pręta nr 1

Sprawdzenie nośności przeprowadzono wg PN-EN 1995.

Nośność na rozciąganie:

Wyniki dla $x_a=0,570 \text{ m}$; $x_b=0,570 \text{ m}$; przęsło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,35·CW+1,5·A (a)”.

Pole powierzchni przekroju netto $A_n = 160,00 \text{ cm}^2$.

$$\sigma_{t,0,d} = N / A_n = 0,61 / 160,00 \times 10 = 0,038 < 7,589 = f_{t,0,d} \quad (6.1)$$

Nośność na zginanie:

Wyniki dla $x_a=0,570 \text{ m}$; $x_b=0,570 \text{ m}$; przęsło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,35·CW+1,5·A (a)”.

Długość obliczeniowa dla **pręta swobodnie podpartego ze stałym momentem zginającym**, przy obciążeniu przyłożonym do powierzchni **górnej**, wynosi:

$$l_{ef} = 1,0 \times 1139,8 + 200 + 200 = 1539,8 \text{ mm}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 b^2}{h l_{ef}} E_{0,05} = \frac{0,78 \times 80^2}{200 \times 1539,8} \times 7400 = 119,953 \text{ MPa} \quad (6.32)$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{f_{m,k} / \sigma_{m,crit}} = \sqrt{24,00 / 119,953} = 0,447 \quad (6.30)$$

Wartość współczynnika zwichrzenia:

$$\text{dla } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \quad k_{crit} = 1$$

Warunek stateczności:

$$\sigma_{m,d} = M / W = 0,71 / 533,33 \times 10^3 = 1,322 < 11,077 = 1,000 \times 11,077 = k_{crit} f_{m,d} \quad (6.33)$$

Nośność dla $x_a=0,570 \text{ m}$; $x_b=0,570 \text{ m}$; przęsło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,35·CW+1,5·A (a)”:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,038}{7,589} + \frac{1,322}{11,077} + 0,7 \times \frac{0,000}{11,077} = 0,124 < 1 \quad (6.17)$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,038}{7,589} + 0,7 \times \frac{1,322}{11,077} + \frac{0,000}{11,077} = 0,089 < 1 \quad (6.18)$$

Nośność na ścinanie:

Wyniki dla $x_a=0,570 \text{ m}$; $x_b=0,570 \text{ m}$; przęsło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,35·CW+1,5·A (a)”.

Naprężenia tnące:

$$\tau_{z,d} = 1,5 V_z / (k_{cr} A) = 1,5 \times 2,48 / (1,00 \times 160,00) \times 10 = 0,232 \text{ MPa}$$

$$\tau_{y,d} = 1,5 V_y / (k_{cr} A) = 1,5 \times 0 / (1,00 \times 160,00) \times 10 = 0,000 \text{ MPa}$$

Przyjęto $k_v = 1,000$.

Warunek nośności

$$\tau_d = \sqrt{\tau_{z,d}^2 + \tau_{y,d}^2} = \sqrt{0,232^2 + 0,000^2} = 0,232 < 1,846 = 1,000 \times 1,846 = k_v f_{v,d}$$

Nośność na skręcanie:

Wyniki dla $x_a=0,570$ m; $x_b=0,570$ m; przęsło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,35·CW+1,5·A (a)”.

$$\tau_{\text{tor,d}} = \frac{M_{\text{tor}}}{\eta b^2 h} = \frac{0}{0,255 \times 8,0^2 \times 20,0} \times 10^3 = \mathbf{0,000} < \mathbf{2,538} = 1,375 \times 1,846 = k_{\text{shape}} f_{v,d} \quad (6.14)$$

Stan graniczny użytkowania:

Wyniki dla $x_a=0,570$ m; $x_b=0,570$ m; przęsło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „Char: CW+A; Q-S: CW+A”
liczone od cięciwy pręta.

Wartości graniczne ugięć końcowych:

$$u_{z,\text{fin,gr}} = l / 150 = 1139,8 / 150 = 7,6 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{fin,gr}} = l / 150 = 1139,8 / 150 = 7,6 \text{ mm}$$

Ugięcia chwilowe wyznaczone dla charakterystycznej kombinacji obciążeń:

$$u_{z,\text{inst}} = u_z [1 + \eta_1 (h/L)^2] = 0,16 \times [1 + 19,20 \times (200,0/1139,8)^2] = 0,26 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{inst}} = u_y [1 + \eta_1 (h/L)^2] = 0,00 \times [1 + 19,20 \times (80,0/1139,8)^2] = 0,00 \text{ mm}$$

Ugięcia końcowe obliczone dla quasi-stałej kombinacji obciążeń:

$$u_{z,\text{fin}} = u_z [1 + \eta_1 (h/L)^2] (1 + k_{\text{def}}) = 0,16 \times [1 + 19,20 \times (200,0/1139,8)^2] (1 + 0,60) = 0,42 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{fin}} = u_y [1 + \eta_1 (h/L)^2] (1 + k_{\text{def}}) = 0,00 \times [1 + 19,20 \times (80,0/1139,8)^2] (1 + 0,60) = 0,00 \text{ mm}$$

Warunki SGU:

$$u_{z,\text{inst}} = \mathbf{0,3}$$

$$u_{z,\text{fin}} = \mathbf{0,4} < \mathbf{7,6} = u_{z,\text{fin,gr}}$$

Pręt nr 3

Wyniki wymiarowania elementów drewnianych wg PN-EN 1995 (Drew1995_3d v. 1.21 licencja nr 46201)

Zadanie: Więżba

Przekrój: 1 „B 200x80”

Wymiary przekroju:

$$h=200,0 \text{ mm} \quad b=80,0 \text{ mm}.$$

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$$J_{yg}=5333,3; \quad J_{zg}=853,3 \text{ cm}^4; \quad A=160,00 \text{ cm}^2; \quad i_y=5,8; \quad i_z=2,3 \text{ cm}; \quad W_y=533,3; \quad W_z=213,3 \text{ cm}^3.$$

Własności techniczne drewna:

Przyjęto 1 klasę użytkowania konstrukcji (temperatura powietrza 20° i wilgotności powyżej 65% tylko przez kilka tygodni w roku) oraz klasę trwania obciążenia: **Stale** (więcej niż 10 lat, np. ciężar własny).

$$K_{\text{mod}} = 0,60 \quad \gamma_M = 1,3$$

$$k_{h,t} = \min [(150/80)^{0,2}; 1,3] = 1,134$$

Sprawdzenie nośności pręta nr 3

Sprawdzenie nośności przeprowadzono wg PN-EN 1995.

Nośność na ściskanie:

Wyniki dla $x_a=0,000$ m; $x_b=3,340$ m; przęsło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,35·CW+1,5·A (a)”.

- długość wyboczeniowa w płaszczyźnie Y (wyznaczona w sposób uproszczony):

$$l_c = \mu l = 0,820 \times 3,340 = 2,739 \text{ m}$$

- długość wyboczeniowa w płaszczyźnie Z:

$$l_c = \mu l = 1,000 \times 3,340 = 3,340 \text{ m}$$

Współczynniki wyboczeniowe:

$$\lambda_y = l_{c,y} / i_y = 2,739 / 5,7735 \times 10^2 = 47,44$$

$$\lambda_z = l_{c,z} / i_z = 3,340 / 2,3094 \times 10^2 = 144,64$$

$$\lambda_{\text{rel,y}} = \lambda_y / \pi \sqrt{f_{c,0,k} / E_{0,05}} = 47,44 / \pi \times \sqrt{21/7400} = 0,804 \quad (6.21)$$

$$\lambda_{\text{rel,z}} = \lambda_z / \pi \sqrt{f_{c,0,k} / E_{0,05}} = 144,64 / \pi \times \sqrt{21/7400} = 2,453 \quad (6.22)$$

$$k_y = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{\text{rel,y}} - 0,3) + \lambda_{\text{rel,y}}^2] = 0,5 [1 + 0,2 \times (0,804 - 0,3) + (0,804)^2] = 0,874 \quad (6.27)$$

$$k_z = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{\text{rel,z}} - 0,3) + \lambda_{\text{rel,z}}^2] = 0,5 [1 + 0,2 \times (2,453 - 0,3) + (2,453)^2] = 3,723 \quad (6.28)$$

$$k_{c,y} = 1 / (k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{\text{rel,y}}^2}) = 1 / (0,874 + \sqrt{0,874^2 - 0,804^2}) = 0,823 \quad (6.25)$$

$$k_{c,z} = 1/(k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}) = 1/(3,723 + \sqrt{3,723^2 - 2,453^2}) = 0,153 \quad (6.26)$$

Powierzchnia obliczeniowa przekroju $A_d = 160,00 \text{ cm}^2$.

Nośność na ściskanie:

$$\sigma_{c,0,d} = N / A_d = 1,77 / 160,00 \times 10 = \mathbf{0,111} < \mathbf{1,486} = 0,153 \times 9,692 = k_c f_{c,0,d}$$

Ściskanie ze zginaniem dla $x_a=0,000 \text{ m}$; $x_b=3,340 \text{ m}$; przęsło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,35·CW+1,5·A (a)”:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,111}{0,823 \times 9,692} + \frac{10,036}{11,077} + 0,7 \times \frac{0,000}{11,077} = \mathbf{0,920} < \mathbf{1} \quad (6.23)$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,111}{0,153 \times 9,692} + 0,7 \times \frac{10,036}{11,077} + \frac{0,000}{11,077} = \mathbf{0,709} < \mathbf{1} \quad (6.24)$$

Nośność na zginanie:

Wyniki dla $x_a=0,000 \text{ m}$; $x_b=3,340 \text{ m}$; przęsło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,35·CW+1,5·A (a)”.

Długość obliczeniowa dla *pręta swobodnie podpartego ze stałym momentem zginającym*, przy obciążeniu przyłożonym do powierzchni *górnej*, wynosi:

$$l_{ef} = 1,0 \times 3340,3 + 200 + 200 = 3740,3 \text{ mm}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 b^2}{h l_{ef}} E_{0,05} = \frac{0,78 \times 80^2}{200 \times 3740,3} \times 7400 = 49,382 \text{ MPa} \quad (6.32)$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{f_{m,k} / \sigma_{m,crit}} = \sqrt{24,00 / 49,382} = 0,697 \quad (6.30)$$

Wartość współczynnika zwichrzenia:

$$\text{dla } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \quad k_{crit} = 1$$

Warunek stateczności:

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} = \frac{10,036^2}{1,000^2 \times 11,077^2} + \frac{0,111}{0,153 \times 9,692} = \mathbf{0,895} < \mathbf{1} \quad (6.35)$$

Nośność dla $x_a=0,000 \text{ m}$; $x_b=3,340 \text{ m}$; przęsło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,35·CW+1,5·A (a)”:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{10,036}{11,077} + 0,7 \times \frac{0,000}{11,077} = \mathbf{0,906} < \mathbf{1} \quad (6.17)$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,7 \times \frac{10,036}{11,077} + \frac{0,000}{11,077} = \mathbf{0,634} < \mathbf{1} \quad (6.18)$$

Nośność ze ściskaniem dla $x_a=0,000 \text{ m}$; $x_b=3,340 \text{ m}$; przęsło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,35·CW+1,5·A (a)”:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,111^2}{9,692^2} + \frac{10,036}{11,077} + 0,7 \times \frac{0,000}{11,077} = \mathbf{0,906} < \mathbf{1} \quad (6.19)$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,111^2}{9,692^2} + 0,7 \times \frac{10,036}{11,077} + \frac{0,000}{11,077} = \mathbf{0,634} < \mathbf{1} \quad (6.20)$$

Nośność na ścinanie:

Wyniki dla $x_a=0,000 \text{ m}$; $x_b=3,340 \text{ m}$; przęsło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,35·CW+1,5·A (a)”.

Naprężenia tnące:

$$\tau_{z,d} = 1,5 V_z / (k_{cr} A) = 1,5 \times 8,86 / (0,67 \times 160,00) \times 10 = 1,239 \text{ MPa}$$

$$\tau_{y,d} = 1,5 V_y / (k_{cr} A) = 1,5 \times 0 / (1,00 \times 160,00) \times 10 = 0,000 \text{ MPa}$$

Przyjęto $k_v = 1,000$.

Warunek nośności

$$\tau_d = \sqrt{\tau_{z,d}^2 + \tau_{y,d}^2} = \sqrt{1,239^2 + 0,000^2} = \mathbf{1,239} < \mathbf{1,846} = 1,000 \times 1,846 = k_v f_{v,d}$$

Nośność na skręcanie:

Wyniki dla $x_a=0,000 \text{ m}$; $x_b=3,340 \text{ m}$; przęsło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,35·CW+1,5·A (a)”.

$$\tau_{\text{tor,d}} = \frac{M_{\text{tor}}}{\eta b^2 h} = \frac{0}{0,255 \times 8,0^2 \times 20,0} \times 10^3 = \mathbf{0,000} < \mathbf{2,538} = 1,375 \times 1,846 = k_{\text{shape}} f_{v,d} \quad (6.14)$$

Stan graniczny użytkowania:

Wyniki dla $x_a=1,670$ m; $x_b=1,670$ m; przęsło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „Char: CW+A; Q-S: CW+A” liczone od cięciwy przęta.

Wartości graniczne ugięć końcowych:

$$u_{z,\text{fin,gr}} = l / 150 = 3340,3 / 150 = 22,3 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{fin,gr}} = l / 150 = 3340,3 / 150 = 22,3 \text{ mm}$$

Ugięcia chwilowe wyznaczone dla charakterystycznej kombinacji obciążeń:

$$u_{z,\text{inst}} = u_z [1 + \eta_1 (h/L)^2] = 3,86 \times [1 + 19,20 \times (200,0/3340,3)^2] = 4,12 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{inst}} = u_y = 0,00 \times = 0,00 \text{ mm}$$

Ugięcia końcowe obliczone dla quasi-stałej kombinacji obciążeń:

$$u_{z,\text{fin}} = u_z [1 + \eta_1 (h/L)^2] (1 + k_{\text{def}}) = 3,86 \times [1 + 19,20 \times (200,0/3340,3)^2] (1 + 0,60) = 6,60 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{fin}} = u_y (1 + k_{\text{def}}) = 0,00 \times (1 + 0,60) = 0,00 \text{ mm}$$

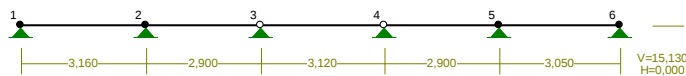
Warunki SGU:

$$u_{z,\text{inst}} = \mathbf{4,1}$$

$$u_{z,\text{fin}} = \mathbf{6,6} < \mathbf{22,3} = u_{z,\text{fin,gr}}$$

Więźba dachowa – płatew pośrednia

WEZŁY:



Pręt n 1

Wyniki wymiarowania elementów drewnianych wg PN-EN 1995 (Drew1995_3d v. 1.20 licencja nr 46201)

Zadanie: Płatew pośrednia

Przekrój: 1 „B 260x180”

Wymiary przekroju:

$$h=260,0 \text{ mm} \quad b=180,0 \text{ mm}.$$

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$$J_{yg}=26364,0; \quad J_{zg}=12636,0 \text{ cm}^4; \quad A=468,00 \text{ cm}^2; \quad i_y=7,5; \quad i_z=5,2 \text{ cm}; \quad W_y=2028,0; \quad W_z=1404,0 \text{ cm}^3.$$

Własności techniczne drewna:

Przyjęto 1 klasę użytkowania konstrukcji (temperatura powietrza 20° i wilgotności powyżej 65% tylko przez kilka tygodni w roku) oraz klasę trwania obciążenia: **Stale** (więcej niż 10 lat, np. ciężar własny).

$$K_{\text{mod}} = 0,60$$

$$\gamma_M = 1,3$$

Sprawdzenie nośności pręta nr 1

Sprawdzenie nośności przeprowadzono wg PN-EN 1995.

Nośność na zginanie:

Wyniki dla $x_a=1,580$ m; $x_b=1,580$ m; przęsło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,35·CW+1,5·A (a)”.

Długość obliczeniowa dla **pręta swobodnie podpartego ze stałym momentem zginającym**, przy obciążeniu przyłożonym do powierzchni **górnej**, wynosi:

$$l_{\text{ef}} = 1,0 \times 3160,0 + 260 + 260 = 3680,0 \text{ mm}$$

$$\sigma_{m,\text{crit}} = \frac{0,78 b^2}{h l_{\text{ef}}} E_{0,05} = \frac{0,78 \times 180^2}{260 \times 3680,0} \times 7400 = 195,457 \text{ MPa} \quad (6.32)$$

$$\lambda_{\text{rel,m}} = \sqrt{f_{m,k} / \sigma_{m,\text{crit}}} = \sqrt{24,00 / 195,457} = 0,350 \quad (6.30)$$

Wartość współczynnika zwiczenia:

$$\text{dla } \lambda_{\text{rel},m} \leq 0,75 \quad k_{\text{crit}} = 1$$

Warunek stateczności:

$$\sigma_{m,d} = M / W = 10,34 / 2028,00 \times 10^3 = \mathbf{5,097} < \mathbf{11,077} = 1,000 \times 11,077 = k_{\text{crit}} f_{m,d} \quad (6.33)$$

Nośność dla $x_a=1,580$ m; $x_b=1,580$ m; przęsło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,35·CW+1,5·A (a)”:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{5,097}{11,077} + 0,7 \times \frac{0,000}{11,077} = \mathbf{0,460} < \mathbf{1} \quad (6.17)$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,7 \times \frac{5,097}{11,077} + \frac{0,000}{11,077} = \mathbf{0,322} < \mathbf{1} \quad (6.18)$$

Nośność na ścinanie:

Wyniki dla $x_a=1,580$ m; $x_b=1,580$ m; przęsło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,35·CW+1,5·A (a)”.

Naprężenia tnące:

$$\tau_{z,d} = 1,5 V_z / (k_{cr} A) = 1,5 \times 5,62 / (0,67 \times 468,00) \times 10 = 0,269 \text{ MPa}$$

$$\tau_{y,d} = 1,5 V_y / (k_{cr} A) = 1,5 \times 0 / (1,00 \times 468,00) \times 10 = 0,000 \text{ MPa}$$

Przyjęto $k_v = 1,000$.

Warunek nośności

$$\tau_d = \sqrt{\tau_{z,d}^2 + \tau_{y,d}^2} = \sqrt{0,269^2 + 0,000^2} = \mathbf{0,269} < \mathbf{1,846} = 1,000 \times 1,846 = k_v f_{v,d}$$

Nośność na skręcanie:

Wyniki dla $x_a=1,580$ m; $x_b=1,580$ m; przęsło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,35·CW+1,5·A (a)”.

$$\tau_{\text{tor},d} = \frac{M_{\text{tor}}}{\eta b^2 h} = \frac{0}{0,222 \times 18,0^2 \times 26,0} \times 10^3 = \mathbf{0,000} < \mathbf{2,246} = 1,217 \times 1,846 = k_{\text{shape}} f_{v,d} \quad (6.14)$$

Stan graniczny użytkowania:

Wyniki dla $x_a=1,580$ m; $x_b=1,580$ m; przęsło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „Char: CW+A; Q-S: CW+A”
liczone od cięciwy przęta.

Wartości graniczne ugięć końcowych:

$$u_{z,\text{fin},\text{gr}} = l / 150 = 3160,0 / 150 = 21,1 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{fin},\text{gr}} = l / 150 = 3160,0 / 150 = 21,1 \text{ mm}$$

Ugięcia chwilowe wyznaczone dla charakterystycznej kombinacji obciążeń:

$$u_{z,\text{inst}} = u_z [1 + \eta_1 (h/L)^2] = 2,11 \times [1 + 19,20 \times (260,0/3160,0)^2] = 2,38 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{inst}} = u_y [1 + \eta_1 (h/L)^2] = 0,00 \times [1 + 19,20 \times (180,0/3160,0)^2] = 0,00 \text{ mm}$$

Ugięcia końcowe obliczone dla quasi-stałej kombinacji obciążeń:

$$u_{z,\text{fin}} = u_z [1 + \eta_1 (h/L)^2] (1 + k_{\text{def}}) = 2,11 \times [1 + 19,20 \times (260,0/3160,0)^2] (1 + 0,60) = 3,81 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{fin}} = u_y [1 + \eta_1 (h/L)^2] (1 + k_{\text{def}}) = 0,00 \times [1 + 19,20 \times (180,0/3160,0)^2] (1 + 0,60) = 0,00 \text{ mm}$$

Warunki SGU:

$$u_{z,\text{inst}} = \mathbf{2,4}$$

$$u_{z,\text{fin}} = \mathbf{3,8} < \mathbf{21,1} = u_{z,\text{fin},\text{gr}}$$

Pręt nr 2

Wyniki wymiarowania elementów drewnianych wg PN-EN 1995 (Drew1995_3d v. 1.20 licencja nr 46201)

Zadanie: Płatew pośrednia

Przekrój: 1 „B 260x180”

Wymiary przekroju:

$$h=260,0 \text{ mm} \quad b=180,0 \text{ mm.}$$

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$$J_{yg}=26364,0; J_{zg}=12636,0 \text{ cm}^4; A=468,00 \text{ cm}^2; i_y=7,5; i_z=5,2 \text{ cm}; W_y=2028,0; W_z=1404,0 \text{ cm}^3.$$

Własności techniczne drewna:

Przyjęto 1 klasę użytkowania konstrukcji (temperatura powietrza 20° i wilgotności powyżej 65% tylko przez kilka tygodni w roku) oraz klasę trwania obciążenia: **Stale** (więcej niż 10 lat, np. ciężar własny).

$$K_{\text{mod}} = 0,60$$

$$\gamma_M = 1,3$$

Sprawdzenie nośności pręta nr 2

Sprawdzenie nośności przeprowadzono wg PN-EN 1995.

Nośność na zginanie:

Wyniki dla $x_a=1,450$ m; $x_b=1,450$ m; pręśło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,35·CW+1,5·A (a)”.

Długość obliczeniowa dla *pręta swobodnie podpartego ze stałym momentem zginającym*, przy obciążeniu przyłożonym do powierzchni górnej, wynosi:

$$l_{ef} = 1,0 \times 2900,0 + 260 + 260 = 3420,0 \text{ mm}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 b^2}{h l_{ef}} E_{0,05} = \frac{0,78 \times 180^2}{260 \times 3420,0} \times 7400 = 210,316 \text{ MPa} \quad (6.32)$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{f_{m,k} / \sigma_{m,crit}} = \sqrt{24,00 / 210,316} = 0,338 \quad (6.30)$$

Wartość współczynnika zwichrzenia:

$$\text{dla } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \quad k_{crit} = 1$$

Warunek stateczności:

$$\sigma_{m,d} = M / W = 7,3 / 2028,00 \times 10^3 = 3,602 < 11,077 = 1,000 \times 11,077 = k_{crit} f_{m,d} \quad (6.33)$$

Nośność dla $x_a=1,450$ m; $x_b=1,450$ m; pręśło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,35·CW+1,5·A (a)”:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{3,602}{11,077} + 0,7 \times \frac{0,000}{11,077} = 0,325 < 1 \quad (6.17)$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,7 \times \frac{3,602}{11,077} + \frac{0,000}{11,077} = 0,228 < 1 \quad (6.18)$$

Nośność na ścinanie:

Wyniki dla $x_a=1,450$ m; $x_b=1,450$ m; pręśło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,35·CW+1,5·A (a)”.

Naprężenia tnące:

$$\tau_{z,d} = 1,5 V_z / (k_{cr} A) = 1,5 \times 6,13 / (0,67 \times 468,00) \times 10 = 0,293 \text{ MPa}$$

$$\tau_{y,d} = 1,5 V_y / (k_{cr} A) = 1,5 \times 0 / (1,00 \times 468,00) \times 10 = 0,000 \text{ MPa}$$

Przyjęto $k_v = 1,000$.

Warunek nośności

$$\tau_d = \sqrt{\tau_{z,d}^2 + \tau_{y,d}^2} = \sqrt{0,293^2 + 0,000^2} = 0,293 < 1,846 = 1,000 \times 1,846 = k_v f_{v,d}$$

Nośność na skręcanie:

Wyniki dla $x_a=1,450$ m; $x_b=1,450$ m; pręśło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,35·CW+1,5·A (a)”.

$$\tau_{tor,d} = \frac{M_{tor}}{\eta b^2 h} = \frac{0}{0,222 \times 18,0^2 \times 26,0} \times 10^3 = 0,000 < 2,246 = 1,217 \times 1,846 = k_{shape} f_{v,d} \quad (6.14)$$

Stan graniczny użytkowania:

Wyniki dla $x_a=1,450$ m; $x_b=1,450$ m; pręśło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „Char: CW+A; Q-S: CW+A”
liczone od cięciwy pręta.

Wartości graniczne ugięć końcowych:

$$u_{z,fin,gr} = l / 150 = 2900,0 / 150 = 19,3 \text{ mm}$$

$$u_{y,fin,gr} = l / 150 = 2900,0 / 150 = 19,3 \text{ mm}$$

Ugięcia chwilowe wyznaczone dla charakterystycznej kombinacji obciążeń:

$$u_{z,inst} = u_z [1 + \eta_1 (h/L)^2] = 1,18 \times [1 + 19,20 \times (260,0/2900,0)^2] = 1,36 \text{ mm}$$

$$u_{y,inst} = u_y [1 + \eta_1 (h/L)^2] = 0,00 \times [1 + 19,20 \times (180,0/2900,0)^2] = 0,00 \text{ mm}$$

Ugięcia końcowe obliczone dla quasi-stałej kombinacji obciążeń:

$$u_{z,fin} = u_z [1 + \eta_1 (h/L)^2] (1 + k_{def}) = 1,18 \times [1 + 19,20 \times (260,0/2900,0)^2] (1 + 0,60) = 2,17 \text{ mm}$$

$$u_{y,fin} = u_y [1 + \eta_1 (h/L)^2] (1 + k_{def}) = 0,00 \times [1 + 19,20 \times (180,0/2900,0)^2] (1 + 0,60) = 0,00 \text{ mm}$$

Warunki SGU:

$$u_{z,inst} = 1,4$$

$$u_{z,fin} = 2,2 < 19,3 = u_{z,fin,gr}$$

Pręt nr 3

Wyniki wymiarowania elementów drewnianych wg PN-EN 1995 (Drew1995_3d v. 1.20 licencja nr 46201)

Zadanie: Płatew pośrednia

Przekrój: 1 „B 260x180”

Wymiary przekroju:

$$h=260,0 \text{ mm} \quad b=180,0 \text{ mm}.$$

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$$J_{yg}=26364,0; \quad J_{zg}=12636,0 \text{ cm}^4; \quad A=468,00 \text{ cm}^2; \quad i_y=7,5; \quad i_z=5,2 \text{ cm}; \quad W_y=2028,0; \quad W_z=1404,0 \text{ cm}^3.$$

Własności techniczne drewna:

Przyjęto 1 klasę użytkowania konstrukcji (temperatura powietrza 20° i wilgotności powyżej 65% tylko przez kilka tygodni w roku) oraz klasę trwania obciążenia: **Stale** (więcej niż 10 lat, np. ciężar własny).

$$K_{mod} = 0,60 \quad \gamma_M = 1,3$$
$$\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$$

Sprawdzenie nośności pręta nr 3

Sprawdzenie nośności przeprowadzono wg PN-EN 1995.

Nośność na zginanie:

Wyniki dla $x_a=1,560 \text{ m}$; $x_b=1,560 \text{ m}$; przęsło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,35·CW+1,5·A (a)”.

Długość obliczeniowa dla **pręta swobodnie podpartego ze stałym momentem zginającym**, przy obciążeniu przyłożonym do powierzchni **górnej**, wynosi:

$$l_{ef} = 1,0 \times 3120,0 + 260 + 260 = 3640,0 \text{ mm}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 b^2}{h l_{ef}} E_{0,05} = \frac{0,78 \times 180^2}{260 \times 3640,0} \times 7400 = 197,604 \text{ MPa} \quad (6.32)$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{f_{m,k} / \sigma_{m,crit}} = \sqrt{24,00 / 197,604} = 0,349 \quad (6.30)$$

Wartość współczynnika zwichrzenia:

$$\text{dla } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \quad k_{crit} = 1$$

Warunek stateczności:

$$\sigma_{m,d} = M / W = 18,74 / 2028,00 \times 10^3 = \mathbf{9,240} < \mathbf{11,077} = 1,000 \times 11,077 = k_{crit} f_{m,d} \quad (6.33)$$

Nośność dla $x_a=1,560 \text{ m}$; $x_b=1,560 \text{ m}$; przęsło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,35·CW+1,5·A (a)”:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{9,240}{11,077} + 0,7 \times \frac{0,000}{11,077} = \mathbf{0,834} < \mathbf{1} \quad (6.17)$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,7 \times \frac{9,240}{11,077} + \frac{0,000}{11,077} = \mathbf{0,584} < \mathbf{1} \quad (6.18)$$

Nośność na ścinanie:

Wyniki dla $x_a=1,560 \text{ m}$; $x_b=1,560 \text{ m}$; przęsło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,35·CW+1,5·A (a)”.

Naprężenia tnące:

$$\tau_{z,d} = 1,5 V_z / (k_{cr} A) = 1,5 \times 0 / (0,67 \times 468,00) \times 10 = 0,000 \text{ MPa}$$

$$\tau_{y,d} = 1,5 V_y / (k_{cr} A) = 1,5 \times 0 / (1,00 \times 468,00) \times 10 = 0,000 \text{ MPa}$$

Przyjęto $k_v = 1,000$.

Warunek nośności

$$\tau_d = \sqrt{\tau_{z,d}^2 + \tau_{y,d}^2} = \sqrt{0,000^2 + 0,000^2} = \mathbf{0,000} < \mathbf{1,846} = 1,000 \times 1,846 = k_v f_{v,d}$$

Nośność na skręcanie:

Wyniki dla $x_a=1,560 \text{ m}$; $x_b=1,560 \text{ m}$; przęsło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,35·CW+1,5·A (a)”.

$$\tau_{tor,d} = \frac{M_{tor}}{\eta b^2 h} = \frac{0}{0,222 \times 18,0^2 \times 26,0} \times 10^3 = \mathbf{0,000} < \mathbf{2,246} = 1,217 \times 1,846 = k_{shape} f_{v,d} \quad (6.14)$$

Stan graniczny użytkowania:

Wyniki dla $x_a=1,560$ m; $x_b=1,560$ m; przęsło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „Char: CW+A; Q-S: CW+A”
liczone od cięciwy pręta.

Wartości graniczne ugięć końcowych:

$$u_{z,fin,gr} = l / 150 = 3120,0 / 150 = 20,8 \text{ mm}$$

$$u_{y,fin,gr} = l / 150 = 3120,0 / 150 = 20,8 \text{ mm}$$

Ugięcia chwilowe wyznaczone dla charakterystycznej kombinacji obciążeń:

$$u_{z,inst} = u_z [1 + \eta_1 (h/L)^2] = 4,38 \times [1 + 19,20 \times (260,0/3120,0)^2] = 4,96 \text{ mm}$$

$$u_{y,inst} = u_y [1 + \eta_1 (h/L)^2] = 0,00 \times [1 + 19,20 \times (180,0/3120,0)^2] = 0,00 \text{ mm}$$

Ugięcia końcowe obliczone dla quasi-stałej kombinacji obciążeń:

$$u_{z,fin} = u_z [1 + \eta_1 (h/L)^2] (1 + k_{def}) = 4,38 \times [1 + 19,20 \times (260,0/3120,0)^2] (1 + 0,60) = 7,94 \text{ mm}$$

$$u_{y,fin} = u_y [1 + \eta_1 (h/L)^2] (1 + k_{def}) = 0,00 \times [1 + 19,20 \times (180,0/3120,0)^2] (1 + 0,60) = 0,00 \text{ mm}$$

Warunki SGU:

$$u_{z,inst} = 5,0$$

$$u_{z,fin} = 7,9 < 20,8 = u_{z,fin,gr}$$

Pręt nr 4

Wyniki wymiarowania elementów drewnianych wg PN-EN 1995 (Drew1995_3d v. 1.20 licencja nr 46201)

Zadanie: Płatew pośrednia

Przekrój: 1 „B 260x180”

Wymiary przekroju:

$$h=260,0 \text{ mm} \quad b=180,0 \text{ mm}.$$

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$$J_{yg}=26364,0; \quad J_{zg}=12636,0 \text{ cm}^4; \quad A=468,00 \text{ cm}^2; \quad i_y=7,5; \quad i_z=5,2 \text{ cm}; \quad W_y=2028,0; \quad W_z=1404,0 \text{ cm}^3.$$

Własności techniczne drewna:

Przyjęto 1 klasę użytkowania konstrukcji (temperatura powietrza 20° i wilgotności powyżej 65% tylko przez kilka tygodni w roku) oraz klasę trwania obciążenia: **Stale** (więcej niż 10 lat, np. ciężar własny).

$$K_{mod} = 0,60$$

$$\gamma_M = 1,3$$

Sprawdzenie nośności pręta nr 4

Sprawdzenie nośności przeprowadzono wg PN-EN 1995.

Nośność na zginanie:

Wyniki dla $x_a=1,450$ m; $x_b=1,450$ m; przęsło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,35·CW+1,5·A (a)”.

Długość obliczeniowa dla **pręta swobodnie podpartego ze stałym momentem zginającym**, przy obciążeniu przyłożonym do powierzchni górnej, wynosi:

$$l_{ef} = 1,0 \times 2900,0 + 260 + 260 = 3420,0 \text{ mm}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 b^2}{h l_{ef}} E_{0,05} = \frac{0,78 \times 180^2}{260 \times 3420,0} \times 7400 = 210,316 \text{ MPa} \quad (6.32)$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{f_{m,k} / \sigma_{m,crit}} = \sqrt{24,00 / 210,316} = 0,338 \quad (6.30)$$

Wartość współczynnika zwichrzenia:

$$\text{dla } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \quad k_{crit} = 1$$

Warunek stateczności:

$$\sigma_{m,d} = M / W = 7,65 / 2028,00 \times 10^3 = 3,774 < 11,077 = 1,000 \times 11,077 = k_{crit} f_{m,d} \quad (6.33)$$

Nośność dla $x_a=1,450$ m; $x_b=1,450$ m; przęsło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,35·CW+1,5·A (a)”:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{3,774}{11,077} + 0,7 \times \frac{0,000}{11,077} = 0,341 < 1 \quad (6.17)$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,7 \times \frac{3,774}{11,077} + \frac{0,000}{11,077} = 0,239 < 1 \quad (6.18)$$

Nośność na ścinanie:

Wyniki dla $x_a=1,450$ m; $x_b=1,450$ m; przęsło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,35·CW+1,5·A (a)”.

Napężenia tnące:

$$\tau_{z,d} = 1,5 V_z / (k_{cr} A) = 1,5 \times 5,89 / (0,67 \times 468,00) \times 10 = 0,282 \text{ MPa}$$

$$\tau_{y,d} = 1,5 V_y / (k_{cr} A) = 1,5 \times 0 / (1,00 \times 468,00) \times 10 = 0,000 \text{ MPa}$$

Przyjęto $k_v = 1,000$.

Warunek nośności

$$\tau_d = \sqrt{\tau_{z,d}^2 + \tau_{y,d}^2} = \sqrt{0,282^2 + 0,000^2} = 0,282 < 1,846 = 1,000 \times 1,846 = k_v f_{v,d}$$

Nośność na skręcanie:

Wyniki dla $x_a=1,450$ m; $x_b=1,450$ m; przęsło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,35·CW+1,5·A (a)”.

$$\tau_{tor,d} = \frac{M_{tor}}{\eta b^2 h} = \frac{0}{0,222 \times 18,0^2 \times 26,0} \times 10^3 = 0,000 < 2,246 = 1,217 \times 1,846 = k_{shape} f_{v,d} \quad (6.14)$$

Stan graniczny użytkowania:

Wyniki dla $x_a=1,450$ m; $x_b=1,450$ m; przęsło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „Char: CW+A; Q-S: CW+A”
liczone od cięciwy przęta.

Wartości graniczne ugięć końcowych:

$$u_{z,fin,gr} = l / 150 = 2900,0 / 150 = 19,3 \text{ mm}$$

$$u_{y,fin,gr} = l / 150 = 2900,0 / 150 = 19,3 \text{ mm}$$

Ugięcia chwilowe wyznaczone dla charakterystycznej kombinacji obciążeń:

$$u_{z,inst} = u_z [1 + \eta_1 (h/L)^2] = 1,26 \times [1 + 19,20 \times (260,0/2900,0)^2] = 1,45 \text{ mm}$$

$$u_{y,inst} = u_y [1 + \eta_1 (h/L)^2] = 0,00 \times [1 + 19,20 \times (180,0/2900,0)^2] = 0,00 \text{ mm}$$

Ugięcia końcowe obliczone dla quasi-stałej kombinacji obciążeń:

$$u_{z,fin} = u_z [1 + \eta_1 (h/L)^2] (1 + k_{def}) = 1,26 \times [1 + 19,20 \times (260,0/2900,0)^2] (1 + 0,60) = 2,32 \text{ mm}$$

$$u_{y,fin} = u_y [1 + \eta_1 (h/L)^2] (1 + k_{def}) = 0,00 \times [1 + 19,20 \times (180,0/2900,0)^2] (1 + 0,60) = 0,00 \text{ mm}$$

Warunki SGU:

$$u_{z,inst} = 1,4$$

$$u_{z,fin} = 2,3 < 19,3 = u_{z,fin,gr}$$

Pręt nr 5

Wyniki wymiarowania elementów drewnianych wg PN-EN 1995 (Drew1995_3d v. 1.20 licencja nr 46201)

Zadanie: Płatew pośrednia

Przekrój: 1 „B 260x180”

Wymiary przekroju:

$$h=260,0 \text{ mm } b=180,0 \text{ mm.}$$

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$$J_{yg}=26364,0; J_{zg}=12636,0 \text{ cm}^4; A=468,00 \text{ cm}^2; i_y=7,5; i_z=5,2 \text{ cm}; W_y=2028,0; W_z=1404,0 \text{ cm}^3.$$

Własności techniczne drewna:

Przyjęto 1 klasę użytkowania konstrukcji (temperatura powietrza 20° i wilgotności powyżej 65% tylko przez kilka tygodni w roku) oraz klasę trwania obciążenia: **Stale** (więcej niż 10 lat, np. ciężar własny).

$$K_{mod} = 0,60$$

$$\gamma_M = 1,3$$

Sprawdzenie nośności przęta nr 5

Sprawdzenie nośności przeprowadzono wg PN-EN 1995.

Nośność na zginanie:

Wyniki dla $x_a=1,525$ m; $x_b=1,525$ m; przęsło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,35·CW+1,5·A (a)”.

Długość obliczeniowa dla **pręta swobodnie podpartego ze stałym momentem zginającym**, przy obciążeniu przyłożonym do powierzchni górnej, wynosi:

$$l_{ef} = 1,0 \times 3050,0 + 260 + 260 = 3570,0 \text{ mm}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 b^2}{h l_{ef}} E_{0,05} = \frac{0,78 \times 180^2}{260 \times 3570,0} \times 7400 = 201,479 \text{ MPa} \quad (6.32)$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{f_{m,k} / \sigma_{m,crit}} = \sqrt{24,00 / 201,479} = 0,345 \quad (6.30)$$

Wartość współczynnika zwichrzenia:

$$\text{dla } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \quad k_{crit} = 1$$

Warunek stateczności:

$$\sigma_{m,d} = M / W = 9,37 / 2028,00 \times 10^3 = \mathbf{4,622} < \mathbf{11,077} = 1,000 \times 11,077 = k_{crit} f_{m,d} \quad (6.33)$$

Nośność dla $x_a=1,525$ m; $x_b=1,525$ m; przęsło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,35·CW+1,5·A (a)”:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{4,622}{11,077} + 0,7 \times \frac{0,000}{11,077} = \mathbf{0,417} < \mathbf{1} \quad (6.17)$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,7 \times \frac{4,622}{11,077} + \frac{0,000}{11,077} = \mathbf{0,292} < \mathbf{1} \quad (6.18)$$

Nośność na ścinanie:

Wyniki dla $x_a=1,525$ m; $x_b=1,525$ m; przęsło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,35·CW+1,5·A (a)”.

Napężenia tnące:

$$\tau_{z,d} = 1,5 V_z / (k_{cr} A) = 1,5 \times 5,6 / (0,67 \times 468,00) \times 10 = 0,268 \text{ MPa}$$

$$\tau_{y,d} = 1,5 V_y / (k_{cr} A) = 1,5 \times 0 / (1,00 \times 468,00) \times 10 = 0,000 \text{ MPa}$$

Przyjęto $k_v = 1,000$.

Warunek nośności

$$\tau_d = \sqrt{\tau_{z,d}^2 + \tau_{y,d}^2} = \sqrt{0,268^2 + 0,000^2} = \mathbf{0,268} < \mathbf{1,846} = 1,000 \times 1,846 = k_v f_{v,d}$$

Nośność na skręcanie:

Wyniki dla $x_a=1,525$ m; $x_b=1,525$ m; przęsło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,35·CW+1,5·A (a)”.

$$\tau_{tor,d} = \frac{M_{tor}}{\eta b^2 h} = \frac{0}{0,222 \times 18,0^2 \times 26,0} \times 10^3 = \mathbf{0,000} < \mathbf{2,246} = 1,217 \times 1,846 = k_{shape} f_{v,d} \quad (6.14)$$

Stan graniczny użytkowania:

Wyniki dla $x_a=1,525$ m; $x_b=1,525$ m; przęsło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „Char: CW+A; Q-S: CW+A”
liczone od cięciwy przęta.

Wartości graniczne ugięć końcowych:

$$u_{z,fin,gr} = l / 150 = 3050,0 / 150 = 20,3 \text{ mm}$$

$$u_{y,fin,gr} = l / 150 = 3050,0 / 150 = 20,3 \text{ mm}$$

Ugięcia chwilowe wyznaczone dla charakterystycznej kombinacji obciążeń:

$$u_{z,inst} = u_z [1 + \eta_1 (h/L)^2] = 1,77 \times [1 + 19,20 \times (260,0/3050,0)^2] = 2,01 \text{ mm}$$

$$u_{y,inst} = u_y [1 + \eta_1 (h/L)^2] = 0,00 \times [1 + 19,20 \times (180,0/3050,0)^2] = 0,00 \text{ mm}$$

Ugięcia końcowe obliczone dla quasi-stałej kombinacji obciążeń:

$$u_{z,fin} = u_z [1 + \eta_1 (h/L)^2] (1 + k_{def}) = 1,77 \times [1 + 19,20 \times (260,0/3050,0)^2] (1 + 0,60) = 3,22 \text{ mm}$$

$$u_{y,fin} = u_y [1 + \eta_1 (h/L)^2] (1 + k_{def}) = 0,00 \times [1 + 19,20 \times (180,0/3050,0)^2] (1 + 0,60) = 0,00 \text{ mm}$$

Warunki SGU:

$$u_{z,inst} = \mathbf{2,0}$$

$$u_{z,fin} = \mathbf{3,2} < \mathbf{20,3} = u_{z,fin,gr}$$

Obliczenia płyt stropowych korytarzy

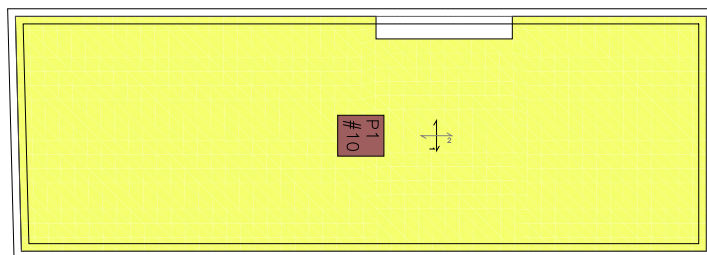
Płyta stropowa korytarza nad piwnicą i parterem

Wymiarowanie (wg PN-EN 1992:2005)

Zbrojenie obliczone w płytach

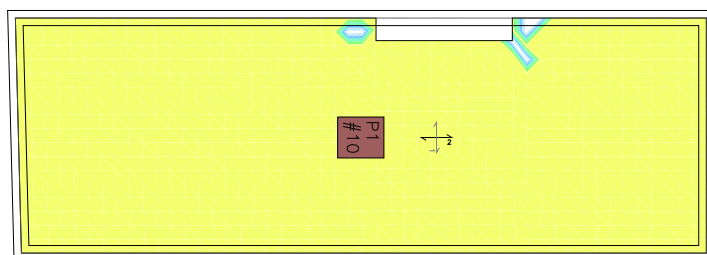
Zbrojenie dolne - kierunek 1 [szt/mb]

Skala rys. 1:100



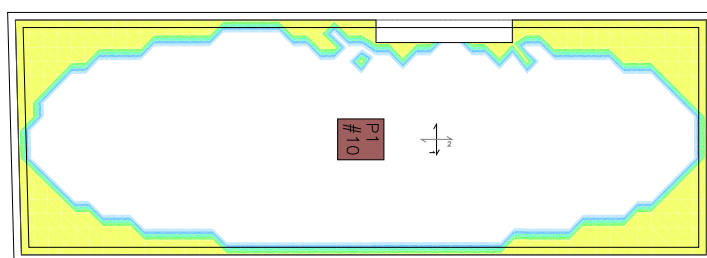
Zbrojenie dolne - kierunek 2 [szt/mb]

Skala rys. 1:100



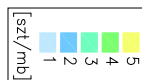
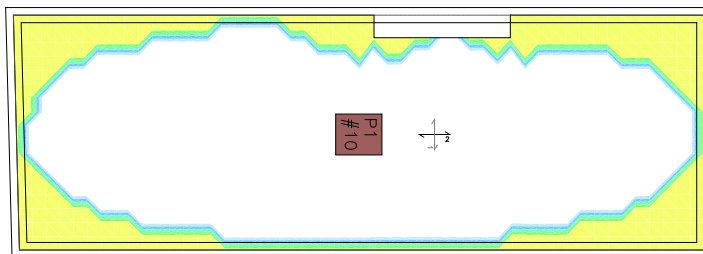
Zbrojenie górne - kierunek 1 [szt/mb]

Skala rys. 1:100



Zbrojenie górne - kierunek 2 [szt/mb]

Skala rys. 1:100



Zbrojenie zadane w płytach

Zbrojenie dolne

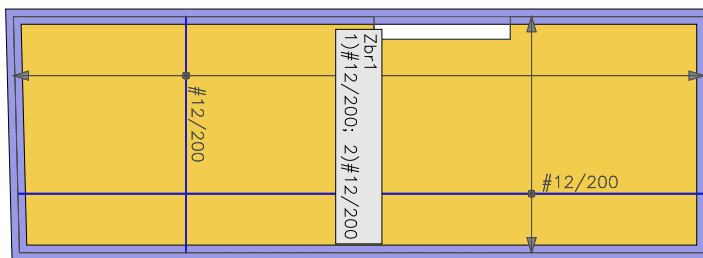
Symbol	Stal	Pręty na kier.1	Pręty na kier.2	Otulina	Kąt	Pole pow.
1	$f_{yk}=500$	#12/200	#12/200	20mm	0,00°	27,79m ²

Zbrojenie górne

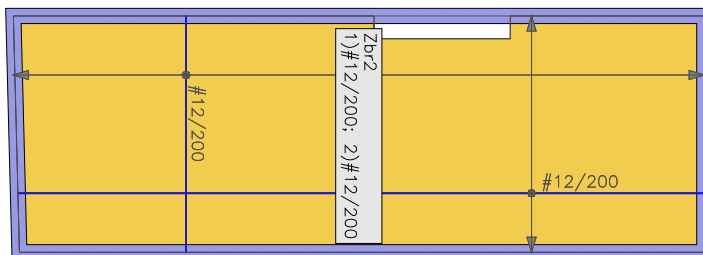
Symbol	Stal	Pręty na kier.1	Pręty na kier.2	Otulina	Kąt	Pole pow.
2	$f_{yk}=500$	#12/200	#12/200	20mm	0,00°	27,79m ²

3.3. Schemat rozmieszczenia zbrojenia zadanego w płytach

Zbrojenie dolne



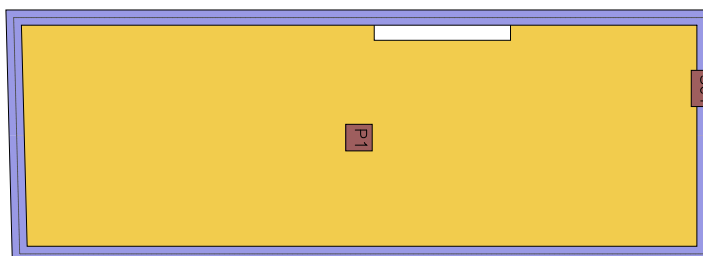
Zbrojenie górne



Strefy przebiecia

Schemat rozmieszczenia stref przebiecia

Skala rys. 1:100



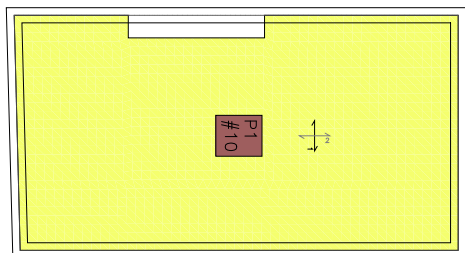
Płyta stropowa korytarza nad I, II, III piętrem

Wymiarowanie (wg PN-EN 1992:2005)

Zbrojenie obliczone w płytach

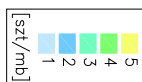
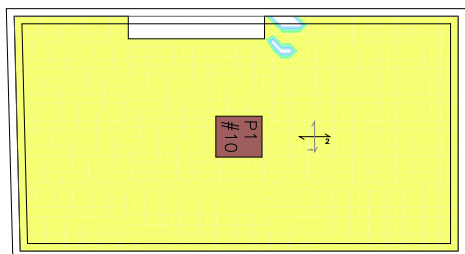
Zbrojenie dolne - kierunek 1 [szt/mb]

Skala rys. 1:100



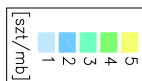
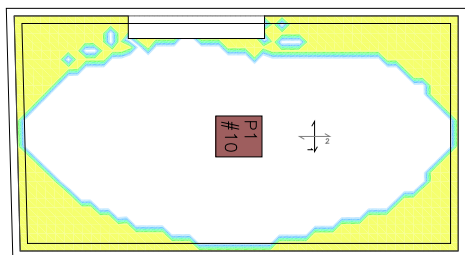
Zbrojenie dolne - kierunek 2 [szt/mb]

Skala rys. 1:100



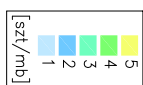
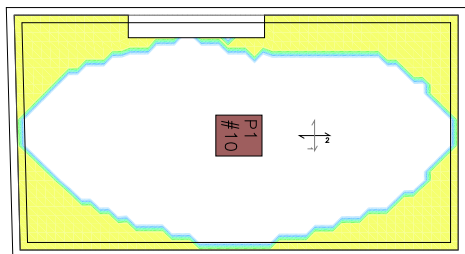
Zbrojenie górne - kierunek 1 [szt/mb]

Skala rys. 1:100



Zbrojenie górne - kierunek 2 [szt/mb]

Skala rys. 1:100



Zbrojenie zadane w płytach

Zbrojenie dolne

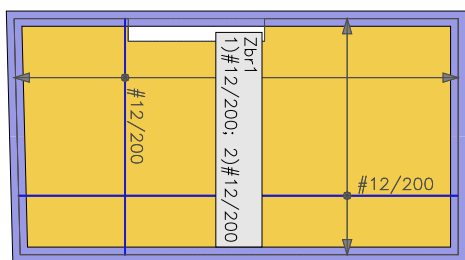
Symbol	Stal	Pręty na kier.1	Pręty na kier.2	Otulina	Kąt	Pole pow.
1	$f_{yk}=500$	#12/200	#12/200	20mm	0,00°	17,65m ²

Zbrojenie górne

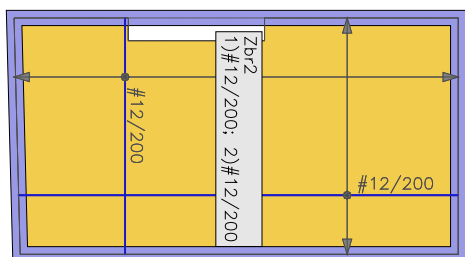
Symbol	Stal	Pręty na kier.1	Pręty na kier.2	Otulina	Kąt	Pole pow.
2	$f_{yk}=500$	#12/200	#12/200	20mm	0,00°	17,65m ²

Schemat rozmieszczenia zbrojenia zadanego w płytach

Zbrojenie dolne



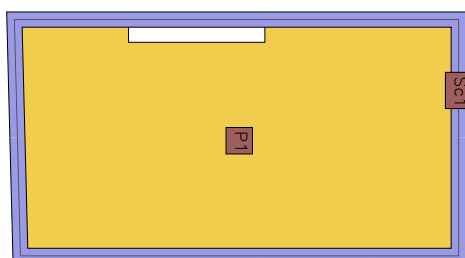
Zbrojenie górne



Strefy przebiecia

Schemat rozmieszczenia stref przebiecia

Skala rys. 1:100



<u>Zespół projektowy:</u>	
<u>KONSTRUKCJA</u>	
Projektował	Podpis
Mgr inż. Krzysztof Gajdzica Upewnienia numer: ZPPB-U.73425/35/98	
Sprawił	Podpis
Mgr inż. Danuta Dębska Upewnienia numer: UAN/U/7342/43/91	

Polanów, wrzesień 2022r.