

KONSTRUKCJE BETONOWE

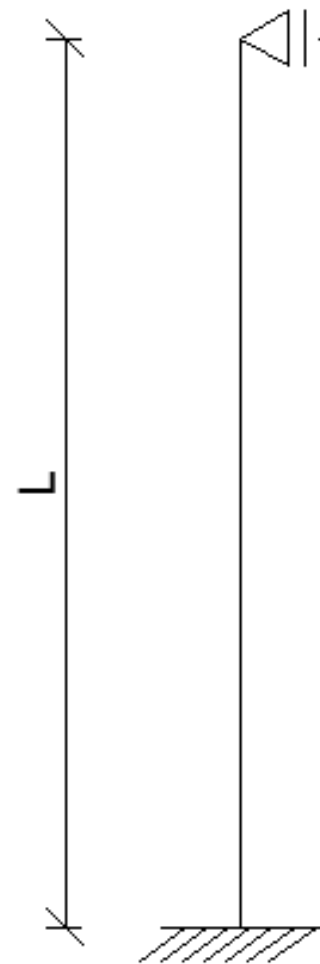
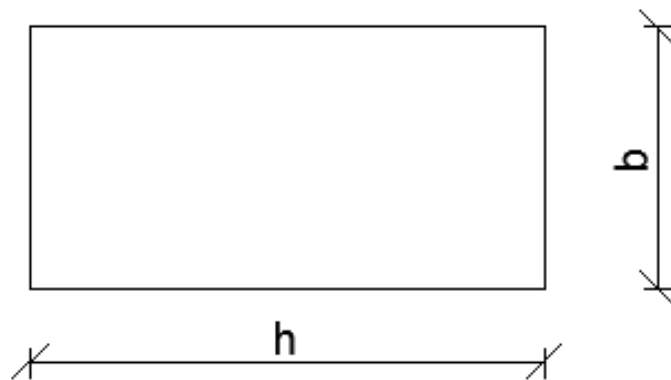
PROJEKT ŻELBETOWEJ HALI PRZEMYSŁOWEJ O KONSTRUKCJI SŁUPOWO-RYGLOWEJ

SŁUP - PROJEKTOWANIE

ZAŁOŻENIA

Słup:

- szerokość b
- wysokość h
- długość L



ZAŁOŻENIA

Stup:

wartości obliczeniowe

- moment zginający M
- siła osiowa N
- siła poprzeczna Q

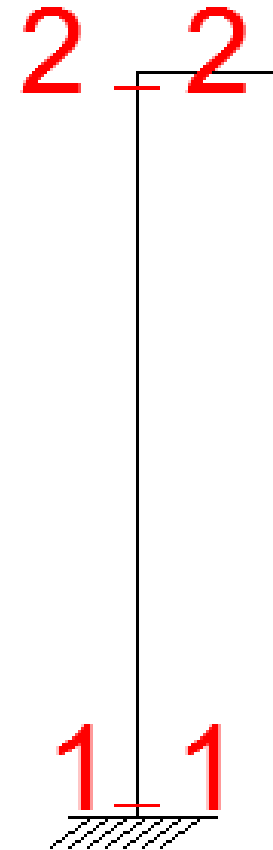
wartości charakterystyczne

- moment zginający M

3 PRZYPADKI:

- max moment dodatni
- max moment ujemny
- max siła osiowa

	Schematy obciążenia	Przekrój 1		
		M	N	Q
Wartości charakterystyczne	G	45,34	180,13	3,12
	S1	12,38	52,23	1,22
	S2	7,78	46,72	1,10
	S3	6,91	38,99	1,08
	W1	120,36	0,00	13,22
	W2	109,86	0,00	12,68
	W3	-154,43	0,00	21,54
	W4	-148,16	0,00	19,04
Wartości obliczeniowe	G	61,21	243,18	4,21
	S1	18,57	78,35	1,83
	S2	11,67	70,08	1,65
	S3	10,37	58,49	1,62
	W1	180,54	0,00	19,83
	W2	164,79	0,00	19,02
	W3	-231,65	0,00	32,31
	W4	-222,24	0,00	28,56
Wartości obliczeniowe	Mmax	241,85	245,87	
	Mmin	-193,11	153,11	
	Nmax	178,82	282,35	
	Nmin	38,54	153,11	
	Qmax			36,81
	Qmin			4,27
Wartości charakterystyczne	M	47,82		
	N		190,58	
	Q			3,36



MATERIAŁY

Słup:

- beton konstrukcyjny
- stal zbrojeniowa



BETON

BETON – Klasa ekspozycji

Tablica 4.1: Klasy ekspozycji w zależności od warunków środowiskowych według EN 206-1

Oznaczenie klasy	Opis środowiska	Przykłady występowania klas ekspozycji
1. Brak zagrożenia korozją i agresją chemiczną		
XD	Dotyczy betonu niezbrojonego i nie zawierającego wbudowanych elementów metalowych. Wszystkie środowiska z wyjątkiem występowania zamrażania/rozmarzania, ścierania lub agresji chemicznej. W przypadku betonów zbrojonych lub zawierających wbudowane elementy metalowe: bardzo suche	Beton wewnątrz budynków o bardzo niskiej wilgotności powietrza
2. Korozja spowodowana karbonatyzacją		
XC1	Sucho lub stale mokro	Beton we wnętrzach o niskiej wilgotności powietrza lub stale zanurzony w wodzie
XC2	Mokre, sporadycznie suche	Powierzchnie betonu narażone na długotrwały kontakt z wodą. Wiele fundamentów
XC3	Umiarkowanie wilgotne	Beton wewnątrz budynków o umiarkowanej lub wysokiej wilgotności powietrza Beton na zewnątrz osłonięty przed deszczem
XC4	Cyklicznie mokre i suche	Powierzchnie betonu narażone na kontakt z wodą, ale nie jak w klasie ekspozycji XC2
3. Korozja spowodowana chlorkami		
XD1	Umiarkowanie wilgotne	Powierzchnie betonu narażone na działanie chlorków z powietrza
XD2	Mokre, sporadycznie suche	Baseny pływackie Beton narażony na działanie wody przemysłowej zawierającej chlorki
XD3	Cyklicznie mokre i suche	Elementy mostów narażone na działanie rozpylonych cieczy zawierających chlorki, nawierzchnie dróg, płyty parkingów

4. Korozja spowodowana chlorkami z wody morskiej		
XS1	Narażenie na działanie soli zawartych w powietrzu, ale nie na bezpośredni kontakt z wodą morską	Konstrukcje zlokalizowane na wybrzeżu lub w jego pobliżu
XS2	Stale zanurzenie	Elementy budowli morskich
XS3	Strefy wpływów, rozbryzgów i aerozoli	Elementy budowli morskich
5. Agresywne oddziaływanie zamrażania/rozmarzania		
XF1	Umiarkowanie nasycone wodą bez środków odładzających	Pionowe powierzchnie betonowe narażone na deszcz i zamarzanie
XF2	Umiarkowanie nasycone wodą ze środkami odładzającymi	Pionowe powierzchnie betonowe konstrukcji drogowych narażonych na zamarzanie i działanie z powietrza środków odładzających
XF3	Silnie nasycone wodą bez środków odładzających	Poziome powierzchnie betonowe narażone na deszcz i zamarzanie
XF4	Silnie nasycone wodą ze środkami odładzającymi lub wodą morską	Płyty dróg i mostów narażone na działanie środków odładzających. Powierzchnie betonowe narażone bezpośrednio na opryskiwanie środkami odładzającymi i na zamarzanie. Strefy narażone na ochładzanie i zamarzanie w konstrukcjach morskich.
6. Agresja chemiczna		
XA1	Środowisko chemiczne mało agresywne zgodnie z Tablicą 2 EN 206-1	Naturalne grunty i woda gruntowa
XA2	Środowisko chemiczne średnio agresywne zgodnie z Tablicą 2 EN 206-1	Naturalne grunty i woda gruntowa
XA3	Środowisko chemiczne silnie agresywne zgodnie z Tablicą 2 EN 206-1	Naturalne grunty i woda gruntowa

BETON

BETON – Klasa ekspozycji

Tablica 4.3N: Zalecana klasyfikacja konstrukcji

Klasa konstrukcji							
Kryterium	Klasa ekspozycji według Tablicy 4.1						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1	XD2/XS1	XD3/XS2/ XS3
Projektowy okres użytkowania 100 lat	Zwiększyć klasę o 2	Zwiększyć klasę o 2	Zwiększyć klasę o 2	Zwiększyć klasę o 2	Zwiększyć klasę o 2	Zwiększyć klasę o 2	Zwiększyć klasę o 2
Klasa wytrzymałości ^{1) 2)}	≥ C30/37 Zmniejszyć klasę o 1	≥ C30/37 Zmniejszyć klasę o 1	≥ C35/45 Zmniejszyć klasę o 1	≥ C40/50 Zmniejszyć klasę o 1	≥ C40/50 Zmniejszyć klasę o 1	≥ C40/50 Zmniejszyć klasę o 1	≥ C45/55 Zmniejszyć klasę o 1
Element mający kształt płyty (proces wznoszenia konstrukcji nie ma wpływu na usytuowanie zbrojenia)	Zmniejszyć klasę o 1	Zmniejszyć klasę o 1	Zmniejszyć klasę o 1	Zmniejszyć klasę o 1	Zmniejszyć klasę o 1	Zmniejszyć klasę o 1	Zmniejszyć klasę o 1
Zapewniona specjalna kontrola jakości betonu	Zmniejszyć klasę o 1	Zmniejszyć klasę o 1	Zmniejszyć klasę o 1	Zmniejszyć klasę o 1	Zmniejszyć klasę o 1	Zmniejszyć klasę o 1	Zmniejszyć klasę o 1

BETON

BETON – Klasa betonu

Tablica E.1N: Wskazane klasy wytrzymałości

	Klasy ekspozycji według Tablicy 4.1									
Korozja										
	Korozja wywołana karbonatyzacją				Korozja wywołana chlorkami			Korozja wywołana chlorkami z wody morskiej		
	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XS1	XS2	XS3
Wskazana klasa betonu	C20/25	C25/30	C30/37		C30/37		C35/45	C30/37	C35/45	
Uszkodzenia betonu										
	Nie ma ryzyka	Zagrożenie zamrażaniem/rozmarzaniem				Zagrożenie chemiczne				
	X0	XF1	XF2	XF3	XA1	XA2	XA3			
Wskazana klasa betonu	C12/15	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37		C35/45			

BETON

BETON – Właściwości

- Wytrzymałość charakterystyczna na ściskanie
- Wytrzymałość charakterystyczna na rozciąganie
- Moduł sprężystości
- Odkształcenia

	Klasy wytrzymałości betonu														Zależności analityczne/Wyjaśnienie	
f_{ck} (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90		
$f_{ck,calc}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105		
f_{cm} (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	(f_{ck} w MPa)
f_{ctm} (MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	$f_{ctm} = 0,30 f_{ck}^{(2/3)}$ dla $\leq C50/60$ $f_{ctm} = 2,12 \ln(1 + 0,1 f_{cm})$ dla $> C50/60$	
$f_{ctk,0.05}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	$f_{ctk,0.05} = 0,7 f_{ctm}$	kwantyl 5 %
$f_{ctk,0.95}$ (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6	$f_{ctk,0.95} = 1,3 f_{ctm}$	kwantyl 95 %
E_{cm} (GPa)	27	29	30	31	32	34	35	36	37	38	39	41	42	44	$E_{cm} = 22(0,1 f_{cm})^{0,3}$	(f_{cm} w MPa)
ϵ_{c1} (‰)	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,25	2,3	2,4	2,45	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8	Patrz Rysunek 3.2 $\epsilon_{c1} = 0,7 f_{cm}^{0,31}$, lecz $\leq 2,8$	
ϵ_{c1} (‰)					3,5					3,2	3,0	2,8	2,8	2,8	dla $f_{ck} \geq 50$ MPa Patrz Rysunek 3.2 $\epsilon_{c1} = 2,8 + 27[0,01(58 - f_{cm})]^4$ (‰)	
ϵ_{c2} (‰)					2,0					2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	dla $f_{ck} \geq 50$ MPa Patrz Rysunek 3.3 $\epsilon_{c2} = 2,0 + 0,085(f_{ck} - 50)^{0,52}$ (‰)	
ϵ_{c2} (‰)					3,5					3,1	2,9	2,7	2,5	2,6	dla $f_{ck} \geq 50$ MPa Patrz Rysunek 3.3 $\epsilon_{c2} = 2,6 + 35[0,01(90 - f_{ck})]^4$ (‰)	
n					2,0					1,75	1,6	1,45	1,4	1,4	dla $f_{ck} \geq 50$ MPa $n = 1,4 + 23,4[0,01(90 - f_{ck})]^4$	
ϵ_{c3} (‰)					1,75					1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	dla $f_{ck} \geq 50$ MPa Patrz Rysunek 3.4 $\epsilon_{c3} = 1,75 + 0,01375(f_{ck} - 50)$ (‰)	
ϵ_{c3} (‰)					3,5					3,1	2,9	2,7	2,5	2,6	dla $f_{ck} \geq 50$ MPa Patrz Rysunek 3.4 $\epsilon_{c3} = 2,6 + 35[0,01(90 - f_{ck})]^4$ (‰)	

Tablica 3.1: Beton – wytrzymałość, moduł sprężystości i odkształcenia graniczne

BETON

BETON – Właściwości

(1) Wartości obliczeniowe X_d właściwości materiału lub wyrobu wyrazić można w ogólnej postaci jako:

$$X_d = \eta \frac{X_k}{\gamma_m} \quad (6.3)$$

gdzie:

X_k – wartość charakterystyczna właściwości materiału lub wyrobu (patrz 4.2(3));

η – wartość średnia współczynnika konwersji uwzględniającego

- efekty objętości i skali,
- efekty wilgotności i temperatury i
- inne istotne parametry;

Tablica NA.2 – Współczynniki częściowe dla materiałów w stanach granicznych nośności

Sytuacje obliczeniowe	Beton γ_c	Stal zbrojeniowa γ_s	Stal sprężająca γ_s
Trwała i przejściowa	1,4	1,15	1,15
Wyjątkowa	1,2	1,0	1,0

Tablica 2.1N: Współczynniki częściowe materiałów w stanach granicznych nośności

Sytuacje obliczeniowe	beton γ_c	stal zbrojeniowa γ_s	stal sprężająca γ_s
Trwała i przejściowa	1,5	1,15	1,15
Wyjątkowa	1,2	1,0	1,0

BETON

BETON – Właściwości

BETON :

Klasa ekspozycji XC 1(PN-EN 1992-1-1:4.2) → beton C20/25 (PN-EN 1992-1-1:E)

Charakterystyki betonu (PN-EN 1992-1-1:tab.3.1.):

$$f_{ck} = 20 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c = 1,4$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{20}{1,4} = 13,30 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 2,2 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk} = 1,5 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_c} = \frac{1,5}{1,4} = 1,07 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 30,0 \text{ GPa}$$

$$\varepsilon_{cu} = 0,0035$$

STAL

STAL - Wymagania

Tablica C.1: Właściwości zbrojenia

Postać wyrobu		Pręty proste i rozwijane z kręgów			Siatki			Wymaganie lub wartość kwantyla (%)
Klasa		A	B	C	A	B	C	–
Charakterystyczna granica plastyczności f_{yk} lub $f_{0,2k}$ (MPa)		400 do 600						5,0
Skrajne wartości stosunku $k = (f_i/f_y)_k$		$\geq 1,05$	$\geq 1,08$	$\geq 1,15$ $< 1,35$	$\geq 1,05$	$\geq 1,08$	$\geq 1,15$ $< 1,35$	10,0
Charakterystyczne odkształcenie przy maksymalnej sile, ε_{uk} (%)		$\geq 2,5$	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$	$\geq 2,5$	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$	10,0
Zdatność do gięcia		Badanie na zaginanie i odginanie			–			
Wytrzymałość na ścinanie		–			0,3 $A f_{yk}$ (A jest polem powierzchni drutu)			Minimum
Maksymalne odchylenie od nominalnej masy (pojedynczy pręt lub drut) (%)	Nominalny wymiar pręta (mm) ≤ 8 > 8							5,0
								$\pm 6,5$ $\pm 4,5$

STAL

STAL - Wymagania

Uwaga: Wartości zakresu naprężeń zmęczeniowych z górną granicą βf_{yk} i minimalnej względnej powierzchni żeber do stosowania w kraju mogą być podane w Załączniku krajowym. Wartości zalecane podano w Tablicy C.2N. Wartość β do stosowania w kraju może być podana w Załączniku krajowym. Wartością zalecaną jest 0,6.

Tablica C.2N: Właściwości zbrojenia

Postać wyrobu		Pręty proste i rozwijane z kręgów			Siatki			Wymaganie lub wartość kwantyla (%)
Klasa		A	B	C	A	B	C	–
Zakres naprężenia zmęczeniowego (MPa) (dla $N > 2 \cdot 10^6$ cykli) z górną granicą βf_{yk}		≥ 150			≥ 100			10,0
Przyczepność: minimalne względne pole powierzchni żebra, f_{Rmin}	Nominalny wymiar pręta (mm) 5 ÷ 6 6,5 ÷ 12 > 12							5,0
								0,035
								0,040
								0,056

STAL

STAL - Katalogi

Parametry stali EPSTAL

Gatunek stali	Średnica nominalna	Nominalna powierzchnia przekroju poprzecznego	Masa nominalna 1 m*
	[mm]	[mm ²]	[kg/m]
B500SP	8	50,30	0,40
	10	78,50	0,62
	12	113,00	0,89
	14	153,94	1,21
	16	201,00	1,58
	20	314,00	2,47
	25	491,00	3,85
	28	615,75	4,83
	32	804,00	6,31
	40	1256,64	9,86

Parametry wytrzymałościowe		
Parametr	Opis	Wartość
f_{yk}	Charakterystyczna granica plastyczności	≥ 500 [MPa]
f_{yd}	Obliczeniowa granica plastyczności	≥ 420 [MPa]
f_{tk}	Charakterystyczna wytrzymałość na rozciąganie	≥ 575 [MPa]
f_{tk} / f_{yk}	Stosunek wytrzymałości na rozciąganie do granicy plastyczności	1,15 ÷ 1,35 [-]
ϵ_{uk}	Wydłużenie próbki pod maksymalnym obciążeniem	≥ 8 [%]

* Masa obliczona na podstawie ciężaru objętościowego stali 7850 kg/m³

STAL

STAL – Właściwości obliczeniowe

(1) Wartości obliczeniowe X_d właściwości materiału lub wyrobu wyrazić można w ogólnej postaci jako:

$$X_d = \eta \frac{X_k}{\gamma_m} \quad (6.3)$$

gdzie:

X_k – wartość charakterystyczna właściwości materiału lub wyrobu (patrz 4.2(3));

η – wartość średnia współczynnika konwersji uwzględniającego

- efekty objętości i skali,
- efekty wilgotności i temperatury i
- inne istotne parametry;

Tablica NA.2 – Współczynniki częściowe dla materiałów w stanach granicznych nośności

Sytuacje obliczeniowe	Beton γ_c	Stal zbrojeniowa γ_s	Stal sprężająca γ_s
Trwała i przejściowa	1,4	1,15	1,15
Wyjątkowa	1,2	1,0	1,0

Tablica 2.1N: Współczynniki częściowe materiałów w stanach granicznych nośności

Sytuacje obliczeniowe	beton γ_c	stal zbrojeniowa γ_s	stal sprężająca γ_s
Trwała i przejściowa	1,5	1,15	1,15
Wyjątkowa	1,2	1,0	1,0

STAL

STAL – Właściwości

STAL:

Stal klasy C: B500SP

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$\gamma_s = 1,19$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,19} = 420 \text{ MPa} = 42 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$E_s = 200,0 \text{ GPa}$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{420}{200000} = 0,0021$$

MATERIAŁY

Stosunek granicznych naprężeń przyczepności stali zbrojeniowej i betonu:

$$\xi_{eff,lim} = \lambda \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{yd}}$$

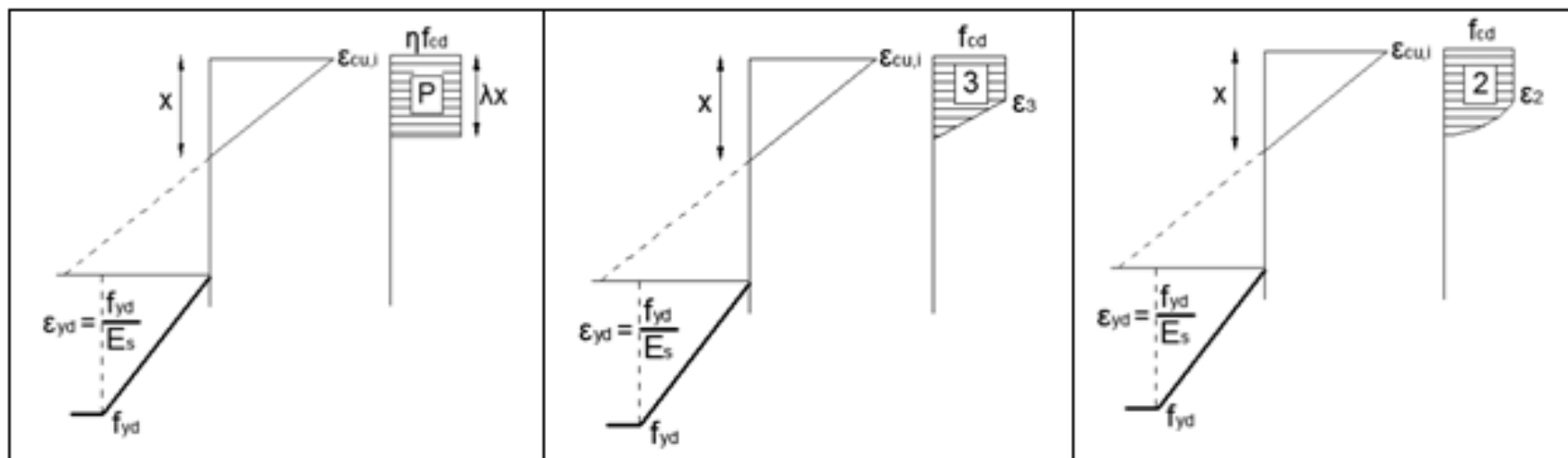
$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{420}{200000} = 0,0021$$

$$\varepsilon_{cu} = 0,0035$$

$$\lambda = ?$$

MATERIAŁY

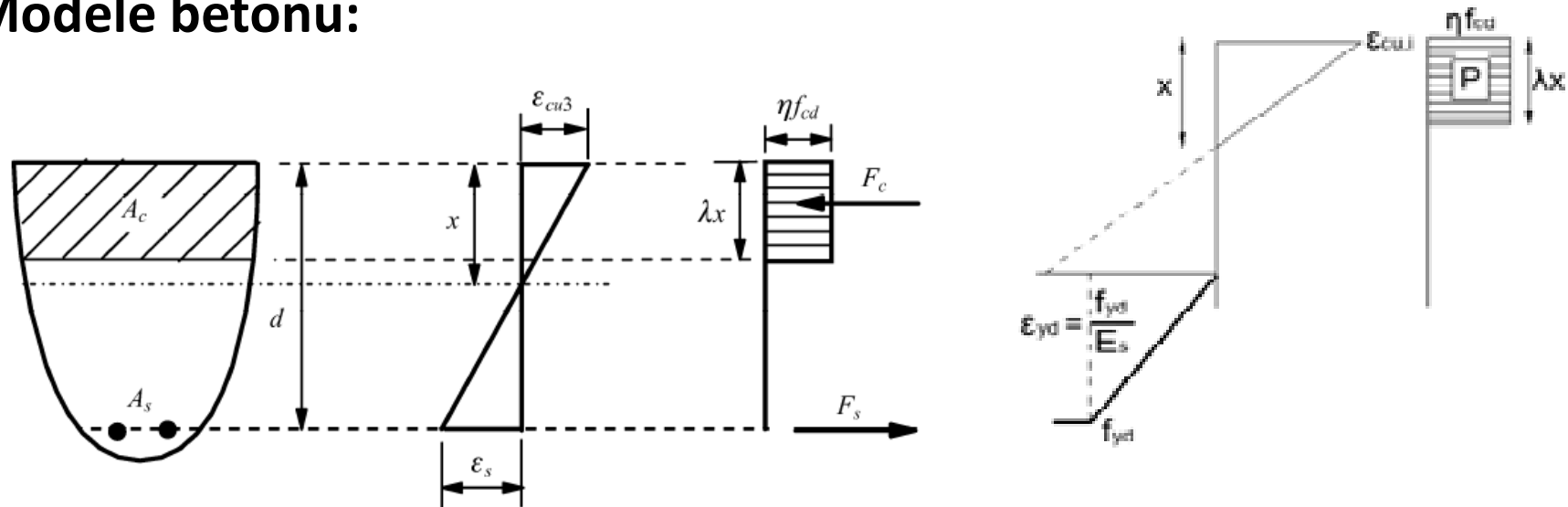
Modele betonu:



- prostokątny
- dwuliniowy
- krzywoliniowy

MATERIAŁY

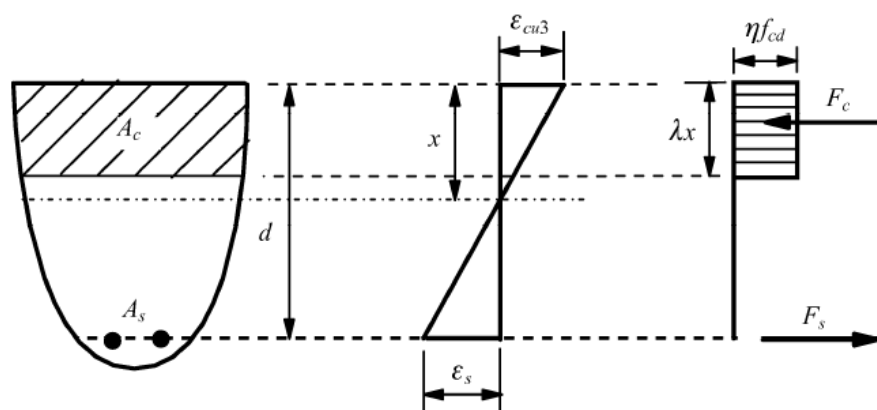
Modele betonu:



Rysunek 3.5: Prostokątny rozkład naprężeń

MATERIAŁY

Modele betonu:



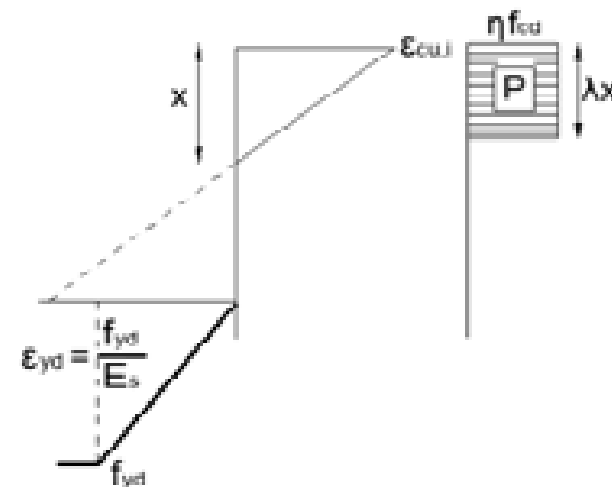
Rysunek 3.5: Prostokątny rozkład naprężeń

$$\lambda = 0,8 \quad \text{dla } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \quad (3.19)$$

$$\lambda = 0,8 - \frac{f_{ck} - 50}{400} \quad \text{dla } 50 < f_{ck} \leq 90 \text{ MPa} \quad (3.20)$$

$$\eta = 1,0 \quad \text{dla } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \quad (3.21)$$

$$\eta = 1,0 - \frac{f_{ck} - 50}{200} \quad \text{dla } 50 < f_{ck} \leq 90 \text{ MPa} \quad (3.22)$$



MATERIAŁY

Stosunek granicznych naprężeń przyczepności stali zbrojeniowej i betonu:

$$\xi_{eff,lim} = \lambda \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{yd}}$$

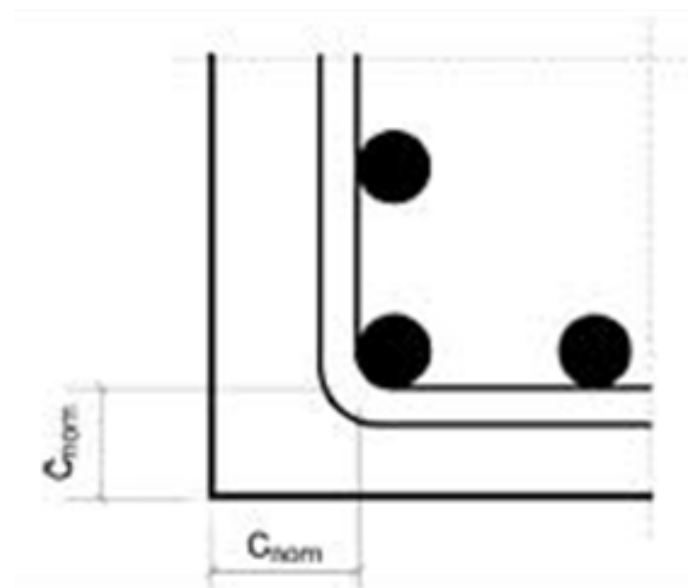
$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{420}{200000} = 0,0021$$

$$\varepsilon_{cu} = 0,0035$$

$$\xi_{eff,lim} = 0,8 \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{yd}} = \frac{0,0035}{0,0035 + 0,0021} = 0,500$$

OTULENIE

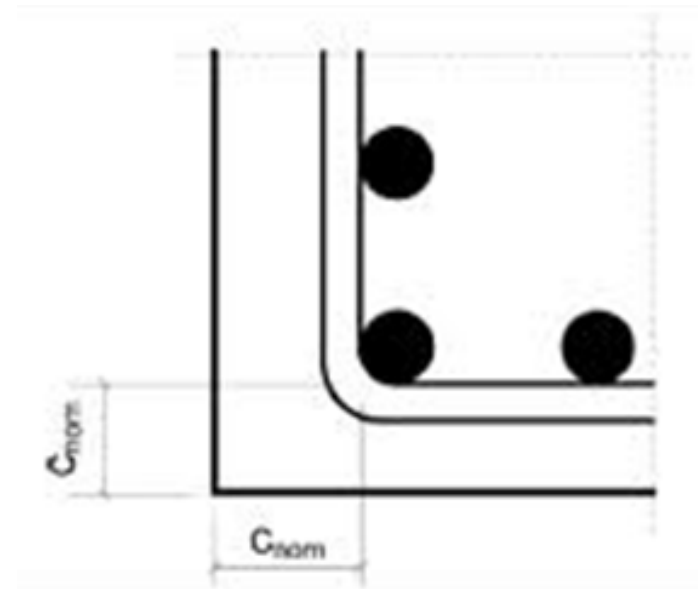
Otulenie zbrojenia betonem:



OTULENIE

Otulenie zbrojenia betonem:

Najmniejsza odległość pomiędzy zbrojeniem a powierzchnią betonu.



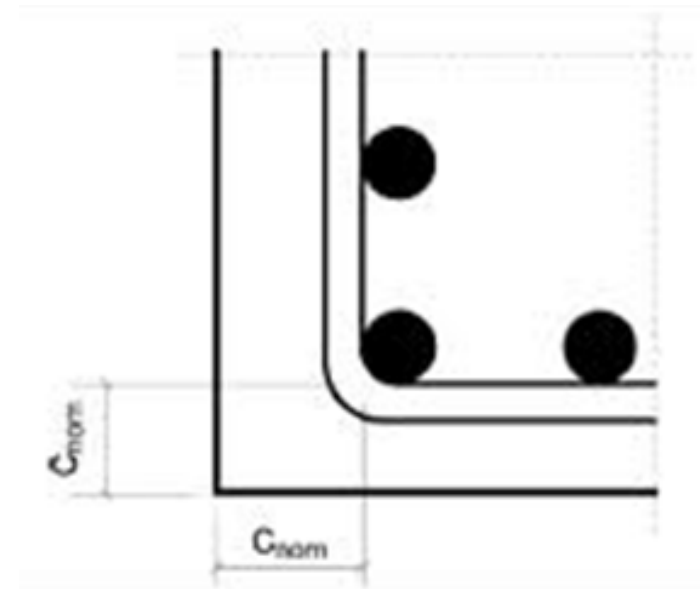
OTULENIE

Otulenie zbrojenia betonem:

Najmniejsza odległość pomiędzy zbrojeniem a powierzchnią betonu.

Zapewnia:

- przyczepność
- ochronę przed korozją
- odporność ogniową



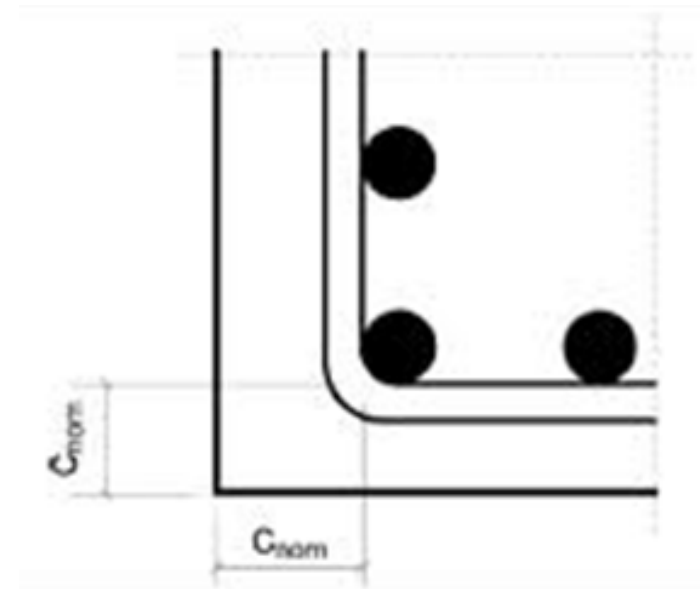
OTULENIE

Otulenie zbrojenia betonem:

Najmniejsza odległość pomiędzy zbrojeniem a powierzchnią betonu.

Zależy od:

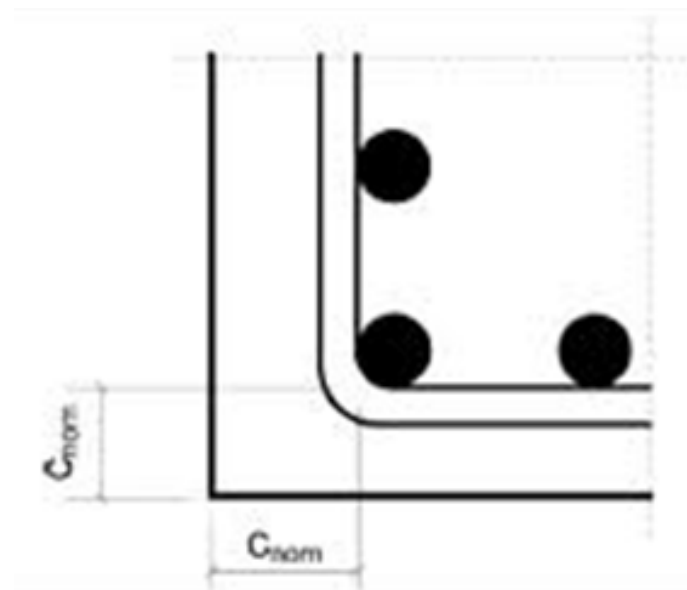
- zbrojenia
- warunki środowiskowe
- odchyłki



OTULENIE

Otulenie zbrojenia betonem:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$



OTULENIE

Otulenie minimalne:

$$c_{min} = \max \{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\}, \quad (4.2)$$

w którym:

- $c_{min,b}$ oznacza minimalne otulenie ze względu na przyczepność, patrz 4.4.1.2(3),
- $c_{min,dur}$ oznacza minimalne otulenie ze względu na warunki środowiska, patrz 4.4.1.2(5),
- $\Delta c_{dur,\gamma}$ jest składnikiem dodawanym ze względu na bezpieczeństwo, patrz 4.4.1.2(6),
- $\Delta c_{dur,st}$ oznacza zmniejszenie minimalnego otulenia ze względu na stosowanie stali nierdzewnej, patrz 4.4.1.2(7),
- $\Delta c_{dur,add}$ oznacza zmniejszenie minimalnego otulenia ze względu na stosowanie dodatkowego zabezpieczenia, patrz 4.4.1.2(8).

OTULENIE

Otulenie minimalne ze względu na przyczepność:

Tablica 4.2: Minimalne otulenie $c_{min,b}$ – wymagania ze względu na przyczepność

Wymagania ze względu na przyczepność	
Ułożenie prętów	Minimalne otulenie $c_{min,b}$ *
Zwykłe	Średnica pręta
W wiązkach	Średnica zastępcza ϕ_n (patrz 8.9.1)
* jeśli nominalny, maksymalny wymiar ziaren kruszywa jest większy niż 32 mm, to $c_{min,b}$ należy zwiększyć o 5 mm.	

OTULENIE

Otulenie minimalne ze względu na warunki środowiskowe:

Tablica 4.4N: Minimalne otulenie $c_{min,dur}$ (mm) wymagane (wg EN 10080) ze względu na trwałość stali zbrojeniowej

Wymagania ze względu na środowisko							
Klasa konstrukcji	Klasa ekspozycji według Tablicy 4.1						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	55	55

OTULENIE

Otulenie minimalne ze względu na:

- bezpieczeństwo
- zastosowanie stali nierdzewnej
- zastosowanie innych zabezpieczeń

Uwaga: Wartość $\Delta c_{dur,\gamma}$ do stosowania w kraju może być podana w Załączniku krajowym. Wartością zalecaną jest zero.

Uwaga: Wartość $\Delta c_{dur,st}$ do stosowania w kraju może być podana w Załączniku krajowym. Wartością zalecaną, gdy nie ma dalszych wymagań, jest zero.

Uwaga: Wartość $\Delta c_{dur,add}$ do stosowania w kraju może być podana w Załączniku krajowym. Wartością zalecaną, gdy nie ma dalej idących wymagań, jest zero.

OTULENIE

Odchyłki:

Uwaga: Wartość Δc_{dev} do stosowania w kraju może być podana w Załączniku krajowym. Wartością zalecaną jest 10 mm.

(3) W niektórych sytuacjach dopuszczalne odchyłki, a tym samym dodatki Δc_{dev} , można zmniejszać.

Uwaga: Zmniejszenie Δc_{dev} do stosowania w kraju może być podane w Załączniku krajowym. Wartościami zalecanymi są:

- jeżeli przy wytwarzaniu stosuje się system zapewniania jakości, w którym otulenie betonem objęto pomiarami, to w projekcie dodatek Δc_{dev} można zmniejszyć do poziomu

$$5 \text{ mm} \leq \Delta c_{dev} \leq 10 \text{ mm},$$

- jeżeli istnieje pewność, że do kontroli stosowane jest bardzo czułe urządzenie pomiarowe i elementy nie spełniające wymagań są odrzucane (np. elementy prefabrykowane), to dodatek Δc_{dev} można zmniejszyć do poziomu

$$0 \leq \Delta c_{dev} \leq 10 \text{ mm}.$$

OTULENIE

Obliczenia:

Otulenie zbrojenia (PN-EN 1992-1-1:4.4.1)

Wstępnie ustalono \varnothing zbrojenia głównego 28 mm, natomiast otulenie zbrojenia ustalono:

$$c_{min} = \max \left\{ \begin{array}{l} c_{min,b} \\ c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} \\ 10 \text{ mm} \end{array} \right\}$$

$$c_{min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 28 \text{ mm} \\ 15 \text{ mm} \\ 10 \text{ mm} \end{array} \right\} = 28 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + c_{dev} = 28 \text{ mm} + 5 \text{ mm} = 33 \text{ mm}$$

Otulenie zbrojenia głównego przyjęto $c = 3,5 \text{ cm}$

Wstępnie ustalono \varnothing strzemion 8 mm, natomiast otulenie zbrojenia ustalono:

$$c_{min} = \max \left\{ \begin{array}{l} c_{min,b} \\ c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} \\ 10 \text{ mm} \end{array} \right\}$$

$$c_{min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 8 \text{ mm} \\ 15 \text{ mm} \\ 10 \text{ mm} \end{array} \right\} = 15 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + c_{dev} = 15 \text{ mm} + 5 \text{ mm} = 20 \text{ mm}$$

Otulenie strzemion przyjęto $c = 2,0 \text{ cm}$

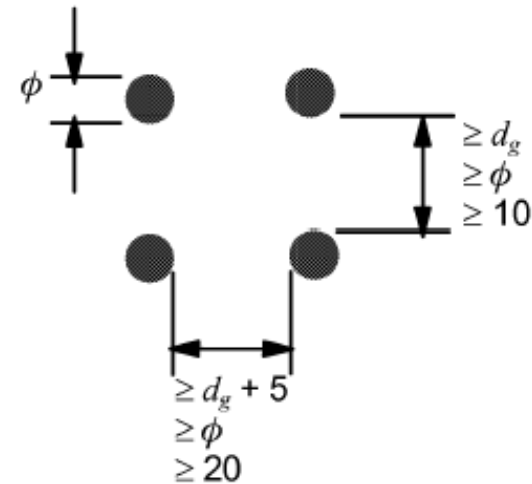
Ze względu na otulenie strzemion zwiększono otulenie zbrojenia głównego.

Przyjęto otulenie zbrojenia głównego $c = 3,5 \text{ cm}$

ROZSTAW

Rozstaw prętów:

- $d_g + 5\text{mm}$ – wielkość kruszywa
- ϕ – średnica zbrojenia
- 20 mm



ROZSTAW

Rozstaw prętów:

Rozstaw prętów:

$$a_{min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 20 \text{ mm} \\ \emptyset \\ d_g + 5 \text{ mm} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 20 \text{ mm} \\ 28 \text{ mm} \\ 8 + 5 \text{ mm} \end{array} \right\} = 28 \text{ mm}$$

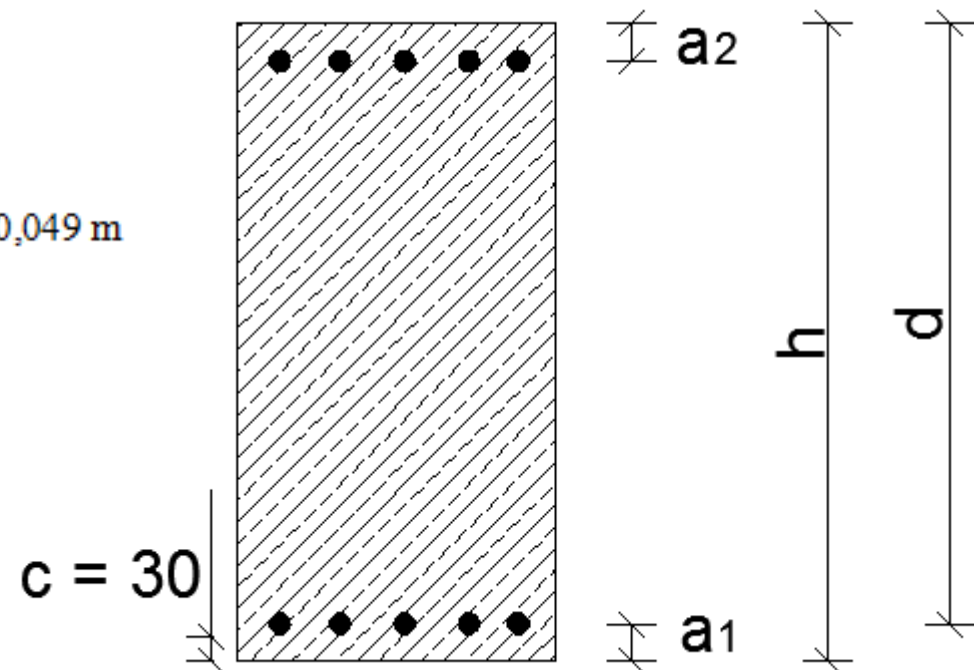
Przyjęto $a = 3,0 \text{ cm}$

GEOMETRIA

Geometria układu:

$$a = a_1 = a_2 = c + \frac{1}{2}\phi = 3,5 + \frac{1}{2} \cdot 2,8 = 4,9 \text{ cm} = 0,049 \text{ m}$$

$$d = h - a = 0,50 - 0,049 = 0,451 \text{ m}$$



ZBROJENIE

Zbrojenie min i max:

$$A_{s,min} = \frac{0,10N_{Ed}}{f_{yd}}, \text{ lecz nie mniej niż } 0,002 A_c \quad (9.12N)$$

w którym:

- f_{yd} jest obliczeniową granicą plastyczności zbrojenia,
- N_{Ed} jest obliczeniową ściskającą siłą podłużną.

Pole przekroju zbrojenia podłużnego nie powinno być większe niż $A_{s,max}$.

Uwaga: Wartość $A_{s,max}$ do stosowania w kraju może być podana w Załączniku krajowym. Wartością zalecaną poza obszarami połączeń na zakład jest $0,04A_c$ (jeśli można wykazać, że nie wpłynie to negatywnie na zagęszczenie betonu i że w ULS wytrzymałość betonu będzie w pełni osiągnięta, to granicę tę można przekroczyć). W obszarach, w których występują zakłady, granicę tę można zwiększyć do $0,08A_c$.

ZBROJENIE

Zbrojenie:

Zbrojenie minimalne (PN-EN 1992-1-1:9.5.2.):

$$A_{s,min} = 0,10 \cdot \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 0,10 \cdot \frac{500}{420} = 0,001190 m^2 = 11,90 cm^2$$

$$A_{s,min} = 0,002 \cdot A_c = 0,002 \cdot 0,25 = 0,000500 m^2 = 5,00 cm^2$$

Przyjęto $A_{s,min} = 11,90 cm^2$

Zbrojenie maksymalne (PN-EN 1992-1-1:9.5.2.):

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,25 = 0,096 m^2 = 96,00 cm^2$$

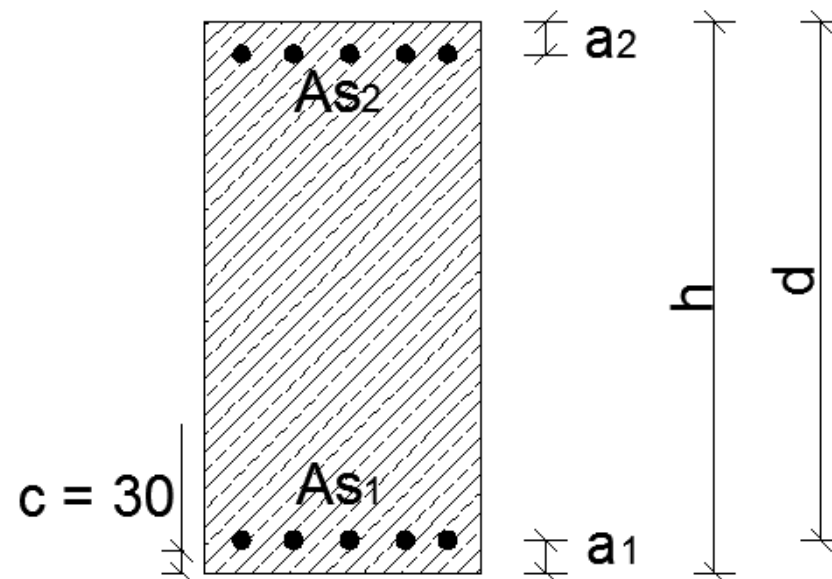
Przyjęto $A_{s,max} = 96,00 cm^2$

Założenie zbrojenia:

Przyjęto zbrojenie całkowite $8 \phi 18$ o $A_s = 20,36 cm^2$

Sprawdzenie minimalnego i maksymalnego zbrojenia:

$$A_{s,min} = 11,90 cm^2 < A_s = 20,36 cm^2 < A_{s,max} = 96,00 cm^2$$

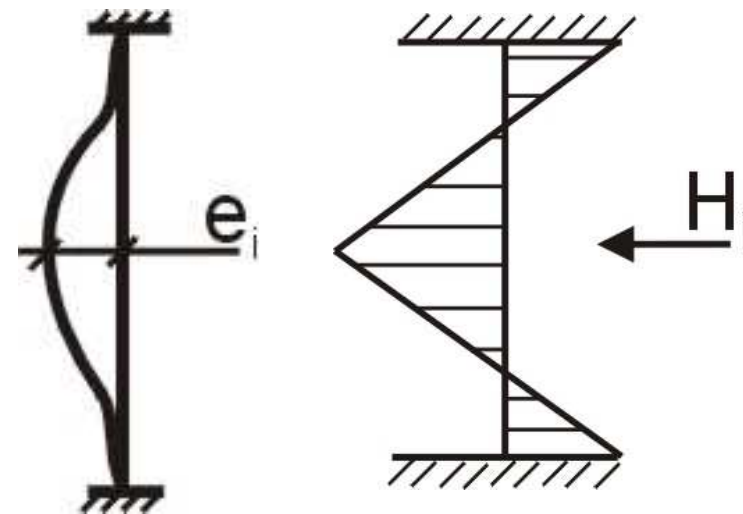


IMPERFEKCJE GEOMETRYCZNE

Imperfekcje geometryczne:

- dodatkowy mimośród e
- dodawany jako dodatkowa siła H

$$M_{Ed} = M_{oEd} + \Delta M_{Ed}$$



W obliczeniach przekrojów symetrycznych, obciążonych siłą ściskającą należy przyjmować minimalny mimośród $e_0 = b/30$, ale nie mniej niż 20 mm (PN-EN 1992-1-1:6.1.(4))

IMPERFEKCJE GEOMETRYCZNE

Dodatkowy mimośród:

$$e_i = 0,5 \theta_i l_0$$

w którym l_0 jest efektywną długością,

$$\theta_l = \theta_0 \alpha_h \alpha_m$$

w którym:

θ_0 jest wartością bazową;

α_h jest współczynnikiem redukcyjnym długości lub wysokości:

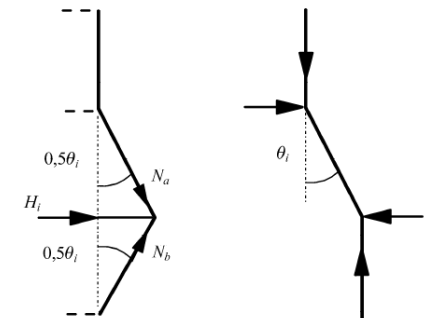
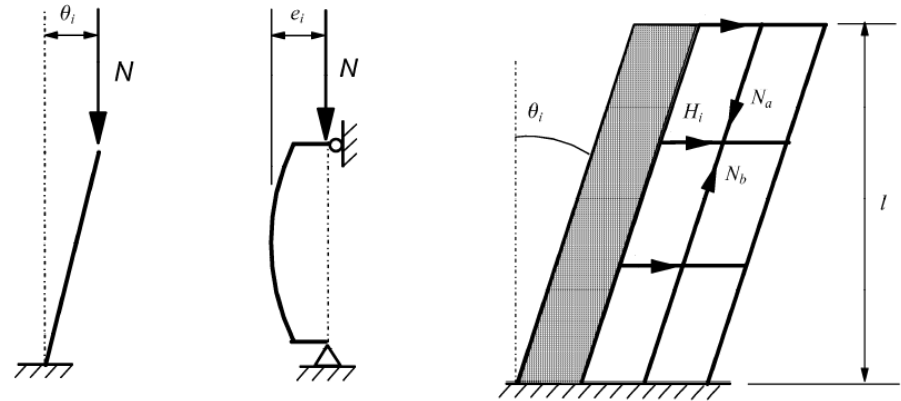
$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{l}} \quad \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1;$$

α_m jest współczynnikiem redukcyjnym ze względu na liczbę elementów:

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{m} \right)};$$

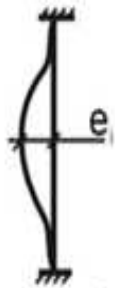
l jest długością lub wysokością (w metrach), patrz (6);

m jest liczbą elementów pionowych wpływających na cały rozpatrywany efekt,



IMPERFEKCJE GEOMETRYCZNE

Dodatkowy mimośród:



$$e_i = 0,5 \cdot \Theta_i \cdot l_0;$$

$$\Theta_i = \Theta_0 \alpha_n \alpha_m$$

$$\alpha_n = \frac{2}{\sqrt{l}} \quad \text{„l” w [m]}$$

α_n - wsp. redukcyjny długości, lub wysokości

$$\frac{2}{3} \leq \alpha_n \leq 1,0$$

$$\alpha_n = \frac{2}{\sqrt{6}} = 0,816 < 1 \quad \text{przyjęto } \alpha_n = 0,816$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{m}\right)}$$

α_m - wsp. redukcyjny ze względu na liczbę elementów

m - liczba elementów pionowych wpływających na cały rozpatrywany efekt

$$m = 1$$

$$\alpha_m = 1,0$$

$\Theta_0 = \frac{1}{200}$ - wartość bazowa kąta pochylenia

$$\Theta_i = \frac{1}{200} \cdot 1,0 \cdot 0,816 = 4,08 \cdot 10^{-3}$$

$$e_i = 0,5 \cdot 4,08 \cdot 10^{-3} \cdot 6000 = 2,4 \text{ mm}$$

$$|\Delta M| \approx e_i \cdot N = 0,024 \cdot 800 = 19,2 \text{ kNm}$$

IMPERFEKCJE GEOMETRYCZNE

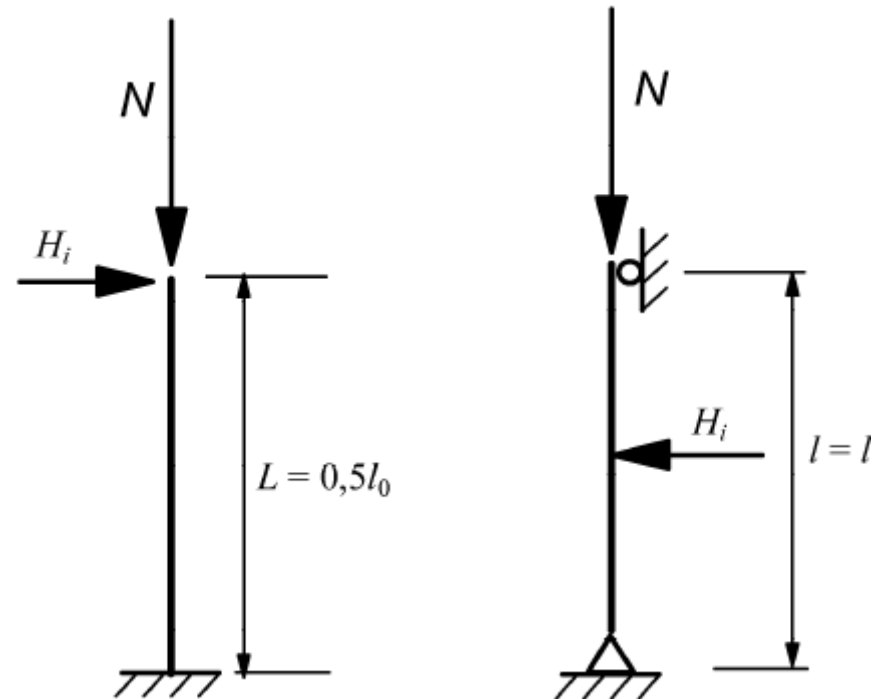
Dodatkowa siła:

- w elementach nieusztynwionych

$$H_i = \theta_i N$$

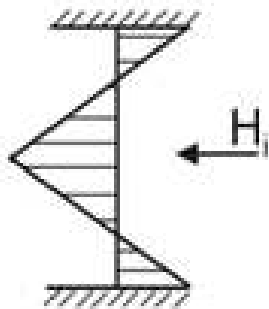
- w elementach usztynwionych

$$H_i = 2\theta_i N$$



IMPERFEKCJE GEOMETRYCZNE

Dodatkowa siła:



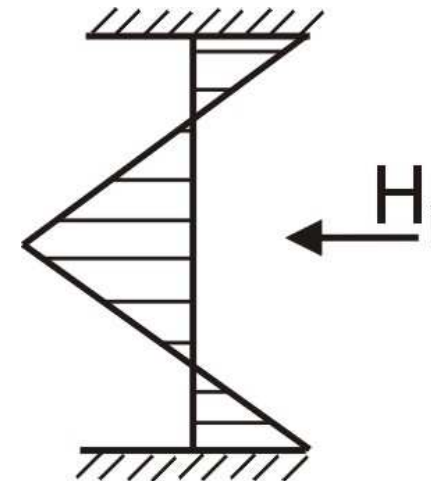
w elementach usztywnionych $H_1 = 2 \cdot \theta_1 \cdot N_{Ed}$

$$H_1 = 2 \cdot 4,08 \cdot 10^{-3} \cdot 1000 = 8,16 \text{ kN}$$

$$|\Delta M| \approx 0,125 \cdot H_1 \cdot l = 0,125 \cdot 8,16 \cdot 6,0 = 6,12 \text{ kNm}$$

IMPERFEKCJE GEOMETRYCZNE

Imperfekcje geometryczne:



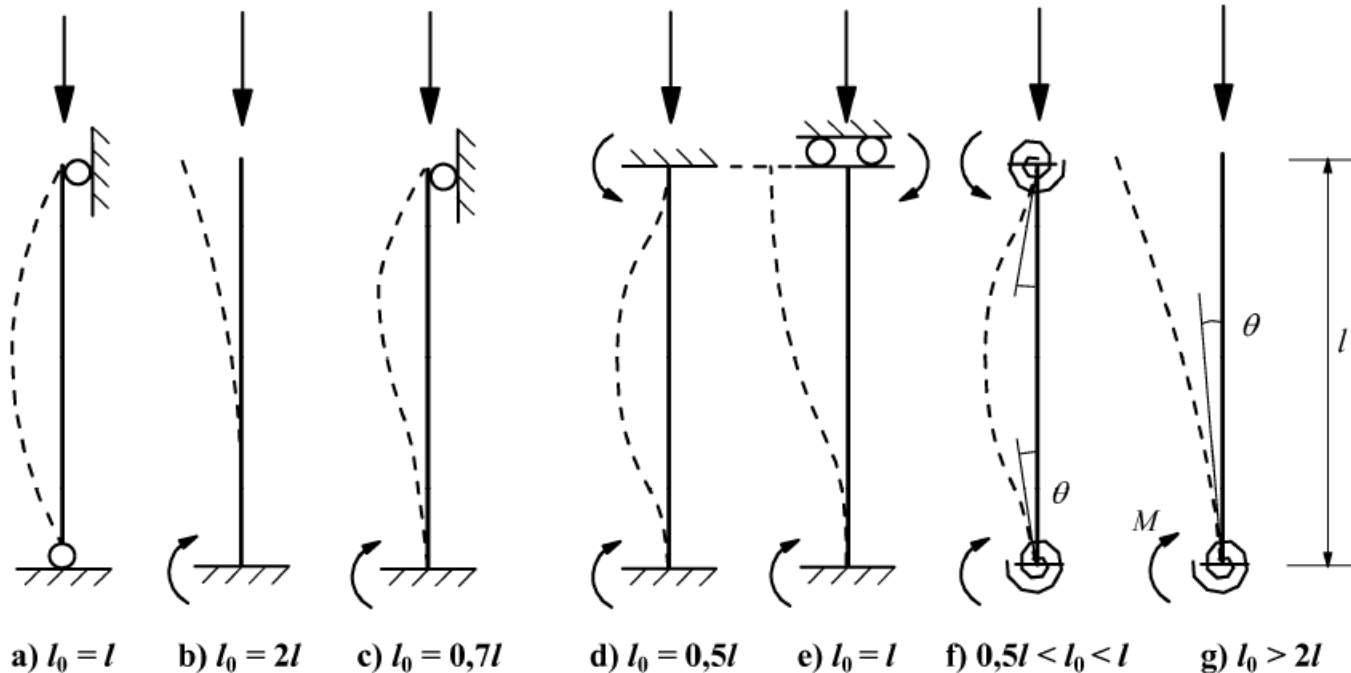
$$|\Delta M| \approx e_i \cdot N = 0,024 \cdot 800 = 19,2 \text{ kNm} \quad |\Delta M| \approx 0,125 \cdot H_i \cdot l = 0,125 \cdot 8,16 \cdot 6,0 = 6,12 \text{ kNm}$$

$$M_{0Ed} + \Delta M = 180 + 19,2 = 199,2 \text{ kNm}$$

KRYTERIUM SMUKŁOŚCI

Długość efektywna:

$$L_{eff} = \mu L$$



DŁUGOŚĆ EFEKTYWNA

Długość efektywna:

2. Słupy w jednokondygnacyjnych budynkach halowych, utwierdzone w stopach fundamentowych i połączone z konstrukcją dachu w sposób przegubowy:		
a) budynki bez suwnic, przekryte dachami o konstrukcji sztywnej (np. z prefabrykowanych płyt żelbetowych)		
— jednonawowe	1,6 <i>l</i>	1,2 <i>l</i>
— dwu- i wielonawowe	1,2 <i>l</i>	1,2 <i>l</i>

Kobiak, Stachurski
Konstrukcje Żelbetowe
Tom 1

Rodzaj elementu	<i>l₀</i>	
	(a)	(b)
1. Słupy w wielokondygnacyjnych budynkach szkieletowych ze stropami o konstrukcji monolitycznej lub ze zmonolityzowanych elementów prefabrykowanych:		
a) budynki, w których siły poziome przenoszone są przez ustroje usztywniające w postaci ścian, trzonów itp.	0,7 <i>l_k</i>	0,7 <i>l_k</i>
b) budynki, w których siły poziome przenoszone są przez szkielet, z tym że szerokość budynku jest nie mniejsza od 1/3 jego wysokości, liczba naw jest nie mniejsza od dwóch, a sztywność rygli (w obydwu kierunkach) jest nie mniejsza od sztywności słupów (<i>l_k</i> — wysokość kondygnacji)	1,0 <i>l_k</i>	1,0 <i>l_k</i>
2. Słupy w jednokondygnacyjnych budynkach halowych, utwierdzone w stopach fundamentowych i połączone z konstrukcją dachu w sposób przegubowy:		
a) budynki bez suwnic, przekryte dachami o konstrukcji sztywnej (np. z prefabrykowanych płyt żelbetowych)		
— jednonawowe	1,6 <i>l</i>	1,2 <i>l</i>
— dwu- i wielonawowe	1,2 <i>l</i>	1,2 <i>l</i>
b) budynki bez suwnic, przekryte dachami z elementów wiotkich (np. z płyt azbestocementowych), w zależności od liczby słupów w rozpatrywanej płaszczyźnie**		
— przy 2 słupach	2,0 <i>l</i>	2,0 <i>l</i>
— przy 6 i większej liczbie słupów***	1,2 <i>l</i>	1,2 <i>l</i>
c) budynki z suwnicami (dotyczy słupów obciążonych belkami podsuwnicowymi, prostopadłymi do płaszczyzny wsporników)****		
— dolny odcinek słupa	1,6 <i>l_d</i>	1,2 <i>l_d</i>
— górny odcinek słupa	2,5 <i>l_g</i>	2,0 <i>l_g</i>
(<i>l_d</i> , <i>l_g</i> — wg rys. 3-128)		
3. Słupy estakad*****	2,0 <i>l</i>	1,8 <i>l</i>
4. Ściskane elementy dźwigarów kratowych		
— pas górny	1,0 <i>l</i>	1,0 <i>l_k</i>
— krzyżulce i słupki	1,8 <i>l</i>	1,0 <i>l</i>
(<i>l</i> — odległość między środkami węzłów, <i>l_k</i> — odległość między stęgienami poprzecznymi dźwigarów)		

PEŁZANIE

Pełzanie:

$$\varphi_{ef} = \varphi(\infty, t_0) \frac{M_{0Eqp}}{M_{0Ed}} \quad (5.19)$$

w którym:

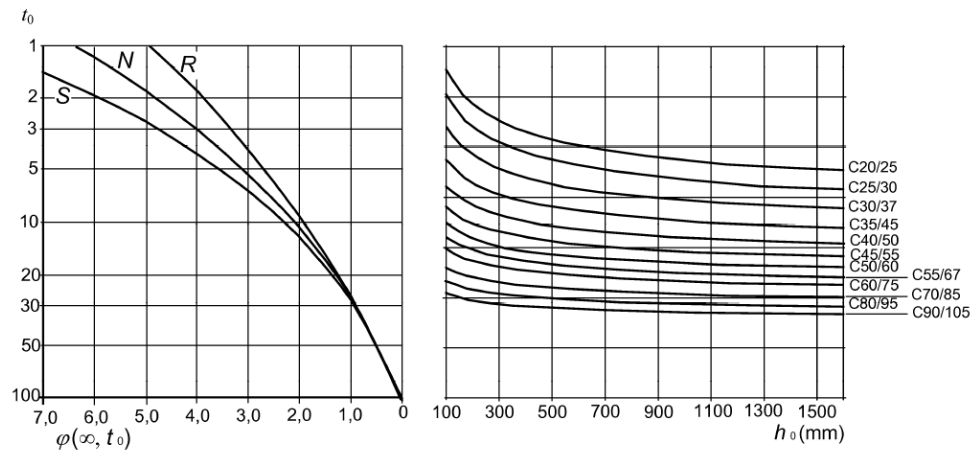
- $\varphi(\infty, t_0)$ jest końcowym współczynnikiem pełzania według 3.1.4,
 M_{0Eqp} jest momentem zginającym pierwszego rzędu wywołanym prawie stałą kombinacją obciążeń (SLS),
 M_{0Ed} jest momentem zginającym pierwszego rzędu wywołanym obliczeniową kombinacją obciążeń (ULS).

Wpływ pełzania można pominąć, tj. można założyć $\varphi_{ef} = 0$, gdy spełnione są trzy poniższe warunki:

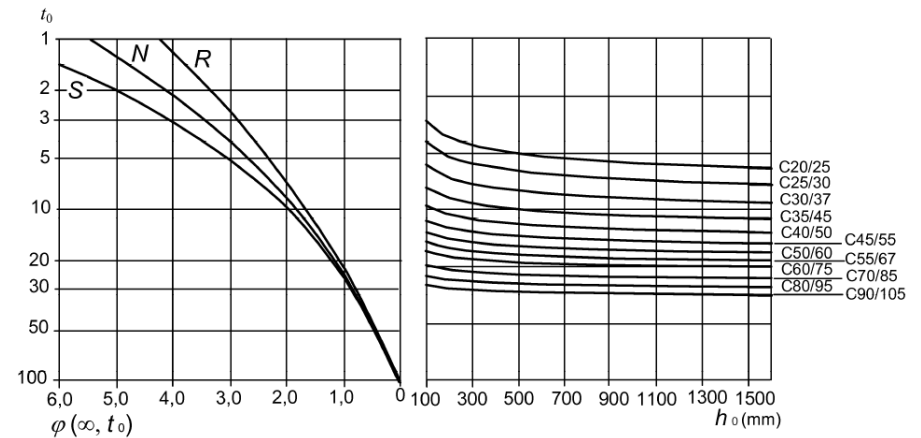
- $\varphi(\infty, t_0) \leq 2$
- $\lambda \leq 75$
- $M_{0Ed}/N_{Ed} \geq h$.

PEŁZANIE

Pełzanie:



a) środowisko we wnętrzach RH = 50 %



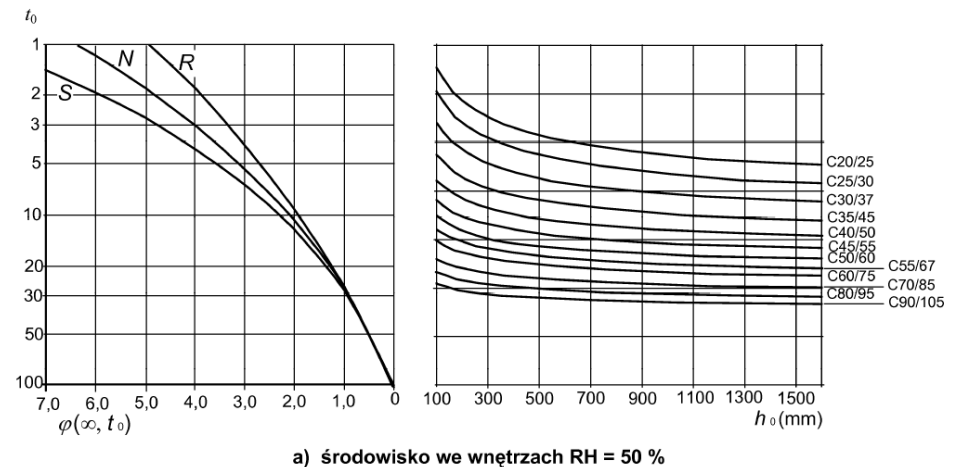
b) środowisko na zewnątrz – RH = 80 %

PEŁZANIE

Pełzanie:

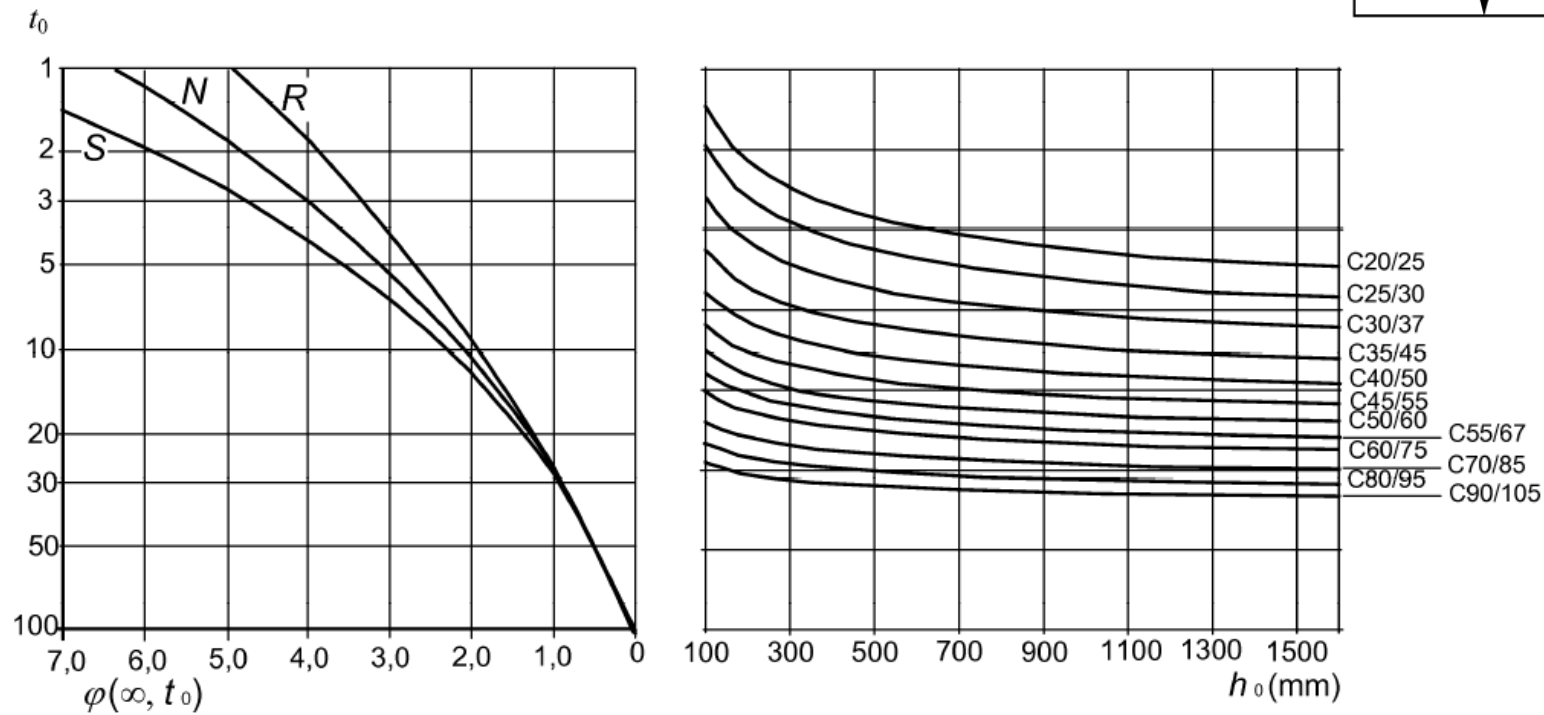
- wiek betonu t_0
- rodzaj cementu: S, N, R
- klasę betonu
- miarodajny wymiar przekroju

$$h_0 = \frac{2 \cdot A_c}{U}$$



PEŁZANIE

Pełzanie:



a) środowisko we wnętrzach RH = 50 %

PEŁZANIE

Pełzanie:

$$\varphi_{ef} = \varphi(\infty, t_s) \cdot \frac{M_{0k,ef}}{M_{0Ed}} - \text{efektywny współczynnik pełzania}$$

$M_{0k,0}$ - max. moment zginający na długości słupa od całości obciążeń charakterystycznych

$$M_{0k,0} \approx \frac{180}{1.5} = 120 \text{ kNm} \quad (\text{dla SGU} = \text{SLS})$$

$$M_{0Ed} = 150 \text{ kNm} \quad (\text{dla SGN} = \text{ULS})$$

M_{0Ed} - max. moment zginający na długości słupa od całości obciążeń obliczeniowych

$$h_e = \frac{2 \cdot A_c}{u}$$

h_e - miarodajny wymiar przekroju poprzecznego

u - obwód części przekroju wystawionej na wysychanie

$$h_e = \frac{2 \cdot 300 \cdot 500}{2 \cdot (300 + 500)} = 188 \text{ mm}$$

$$\varphi_{ef} = 3,0 \frac{100}{150} \approx 2,0$$

KRYTERIUM SMUKŁOŚCI

Smukłość rzeczywista:

$$\lambda = \frac{l_0}{i}$$

w którym:

l_0 jest długością efektywną, patrz 5.8.3.2 (2) – (7),

i jest promieniem bezwładności niezarysowanego przekroju żelbetowego.

$$i = \sqrt{\frac{I_c}{A_c}}$$

$$I_c = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$A_c = b \cdot h$$

KRYTERIUM SMUKŁOŚCI

Smukłość graniczna:

$$\lambda_{lim} = \frac{20ABC}{\sqrt{n}} \quad (5.13N)$$

w którym:

$$A = \frac{1}{1 + 0,2\varphi_{ef}} \quad (\text{jeżeli wartość } \varphi_{ef} \text{ nie jest znana, to można przyjąć } A = 0,7),$$

$$B = \sqrt{1 + 2\omega} \quad (\text{jeżeli wartość } \omega \text{ nie jest znana, to można przyjąć } B = 1,1),$$

$$C = 1,7 - r_m \quad (\text{jeżeli wartość } r_m \text{ nie jest znana, to można przyjąć } C = 0,7),$$

φ_{ef} efektywny współczynnik pełzania, patrz 5.8.4,

$$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}} \quad \text{intensywność zbrojenia,}$$

A_s pole przekroju całego zbrojenia podłużnego,

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c f_{cd}} \quad \text{względna siła normalna,}$$

$$r_m = \frac{M_{01}}{M_{02}} \quad \text{stosunek momentów,}$$

M_{01}, M_{02} momenty pierwszego rzędu na końcach elementu, tak ponumerowane, żeby $|M_{02}| \geq |M_{01}|$.

Jeżeli momenty na końcach M_{01} i M_{02} powodują rozciąganie po tej samej stronie elementu, to zmiennej r_m należy nadać wartość dodatnią (tj. $C \leq 1,7$), a w innych przypadkach ujemną (tj. $C > 1,7$).

Rozpatrując:

- elementy usztywniane, w których momenty pierwszego rzędu powstają tylko lub przede wszystkim na skutek imperfekcji lub obciążenia poprzecznego,
 - ogólnie, elementy nieusztywnione
- należy przyjmować $r_m = 1,0$ (tzn. $C = 1,7$).

KRYTERIUM SMUKŁOŚCI

Kryterium smukłości:

$$\lambda > \lambda_{\text{lim}}$$

Warunek spełniony – uwzględniamy efekty II rzędu

Warunek niespełniony – nie uwzględniamy efekty II rzędu

KRYTERIUM SMUKŁOŚCI

Kryterium smukłości:

Smukłość graniczna

I sposób (obliczenia dokładne):

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}}$$

$$A = \frac{1}{1 + 0.2 \cdot \varphi_{ef}}$$

$$A = \frac{1}{1 + 0.2 \cdot 2} = 0.71$$

$$B = \sqrt{1 + 2 \cdot \omega}$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{sd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}}; \text{przyjęto } \rho = 1.39\% \rightarrow A_s = 18.78 \text{ cm}^2$$

$$\omega = \frac{18.78 \cdot 420}{300 \cdot 400 \cdot 13.3} = 0.50$$

$$B = \sqrt{1 + 2 \cdot 0.50} = 1.41$$

n – względna siła normalna

$$n = \frac{800000}{300 \cdot 500 \cdot 13.3} = 0.45$$

$$\xi_{lm} = 1.0$$

$$\lambda_{lm} = \frac{20 \cdot 0.7 \cdot 1.41 \cdot 0.7}{\sqrt{0.45}} = 21.33$$

II sposób (obliczenia uproszczone):

$$A = 0.7; \quad B = 1.1; \quad C = 0.7; \quad n = 0.56$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot 0.7 \cdot 1.1 \cdot 0.7}{\sqrt{0.45}} = 16.10$$

Długość efektywna i rzeczywista smukłość słupa:



$$\text{przyjęto } l_0 = 0.7 \cdot l = 0.7 \cdot 6.0 = 5.4 \text{ m}$$

Smukłość:

$$\lambda = \frac{l_0}{i}$$

i – promień bezwładności niezarysowanego przekroju żelbetowego,

$$i = \sqrt{\frac{I_c}{A_c}}$$

$$I_c = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$A_c = b \cdot h$$

$$I_c = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{300 \cdot 500^3}{12} = 3125000000 \text{ mm}^4$$

$$A_c = b \cdot h = 300 \cdot 500 = 150000 \text{ mm}^2$$

$$i = \sqrt{\frac{3125000000}{150000}} = 144.34$$

$\lambda = 5400 / 144.34 = 37.41 > \lambda_{lim} = 16.10 \Rightarrow$ należy uwzględnić wpływ efektów drugiego rzędu.

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ!

Prezentowane materiały są utworami w rozumieniu prawa autorskiego i podlegają jego ochronie. Zabronione jest ich kopiowanie – w całości lub we fragmencie - i dalsze rozpowszechnianie bez pisemnej zgody autora. Materiały te są udostępniane studentom nieodpłatnie i nie mogą być przedmiotem jakiegokolwiek działalności komercyjnej.