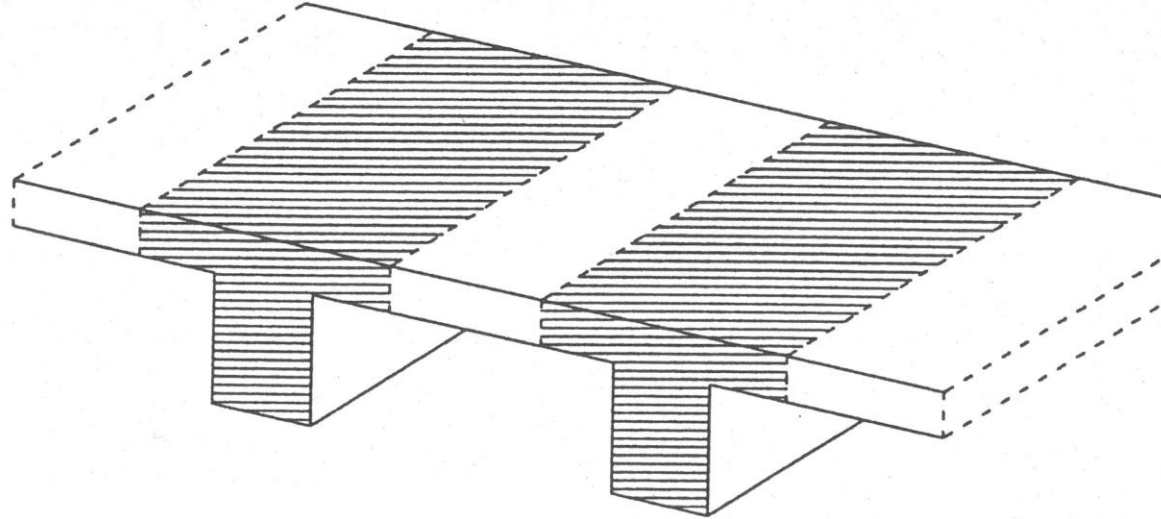
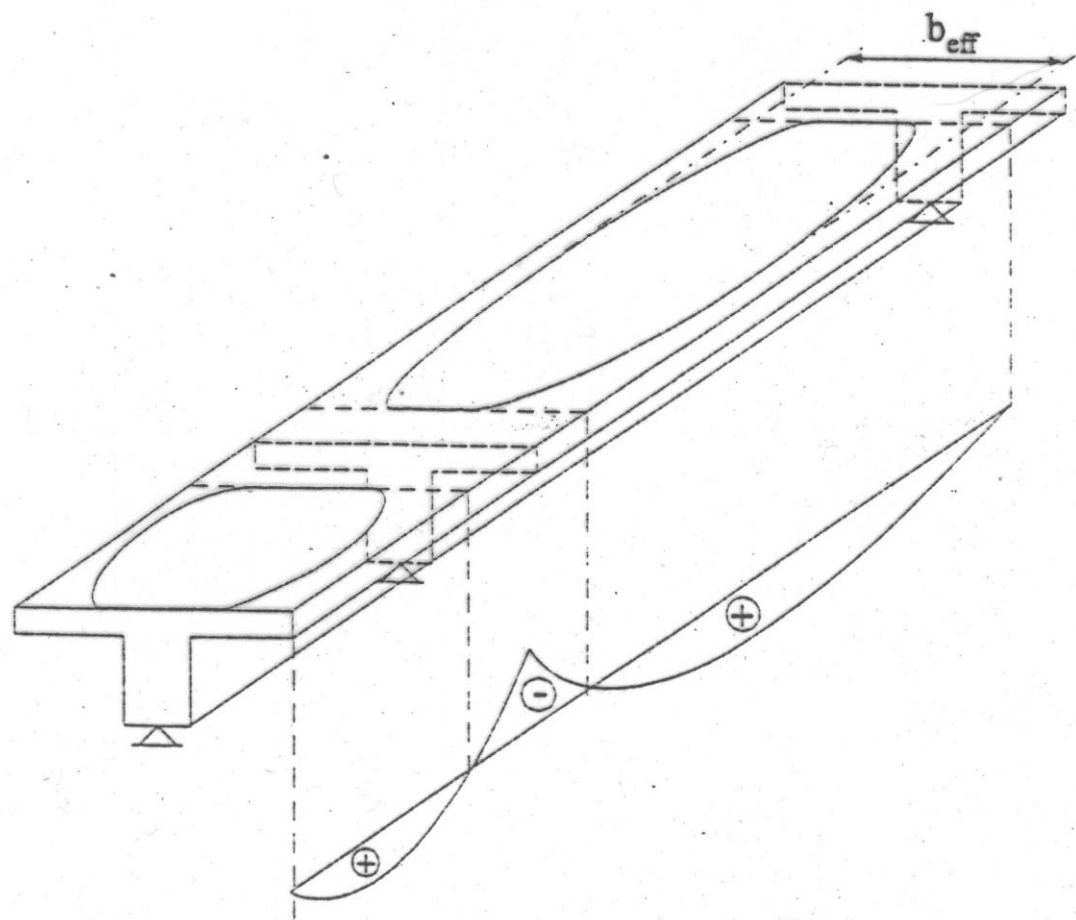
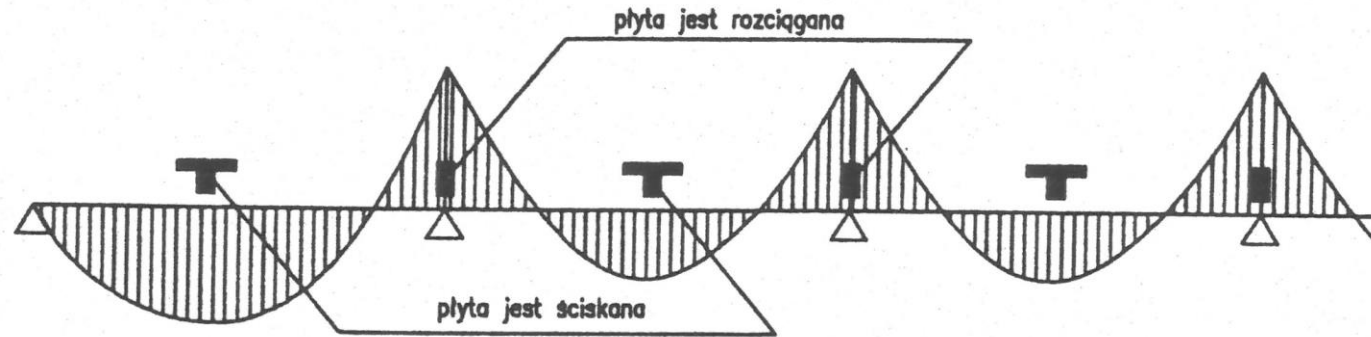


W konstrukcjach monolitycznych płyta opierając się na żebdach, współpracuje z nimi. Oba elementy tworzą łącznie przekrój w kształcie litery T – zwany teowym.



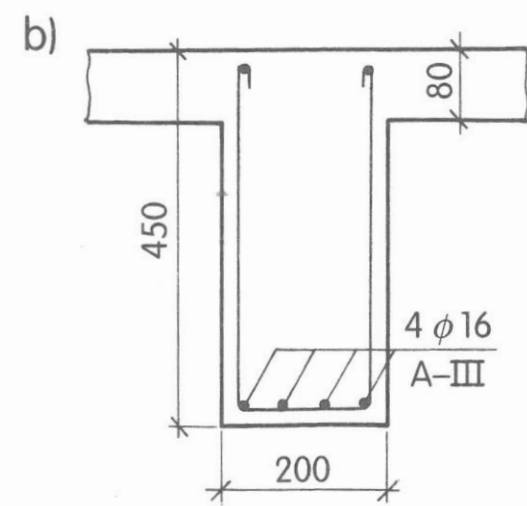
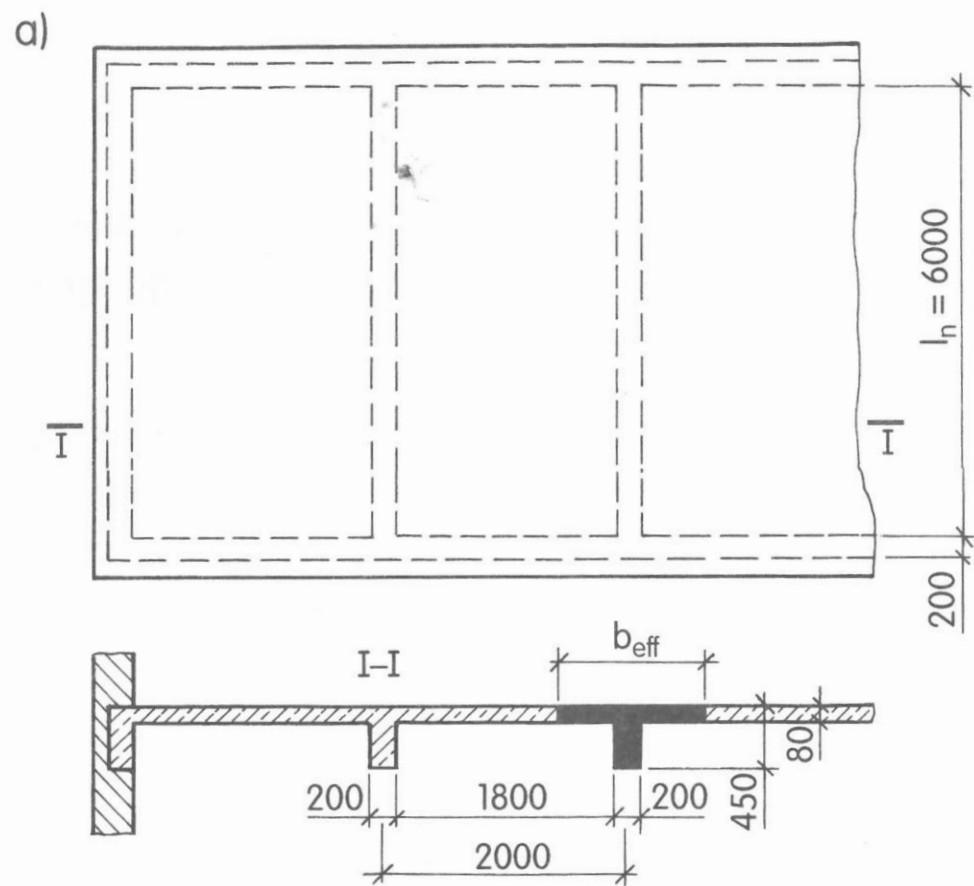
Współpraca płyty z żebrem może być uwzględniana w obliczeniach tylko wtedy, gdy płyta znajduje się w strefie ściskanej. W obszarze momentów ujemnych, które rozciągają płytę, nie uwzględnia się współpracy z żebrem, ponieważ płyta może ulec zarysowaniu.





Analizując wykres momentów zginających w belce ciągłej, widzimy, jak wpływa on na kształt obliczeniowego przekroju belki:

- w przekrojach przęsłowych płyta jest ściskana, więc belka może mieć przekrój teowy,
- w przekrojach podporowych płyta jest rozciągana, więc belka ma w obliczeniach przekrój prostokąta (nie uwzględnia się współpracy z płytą).

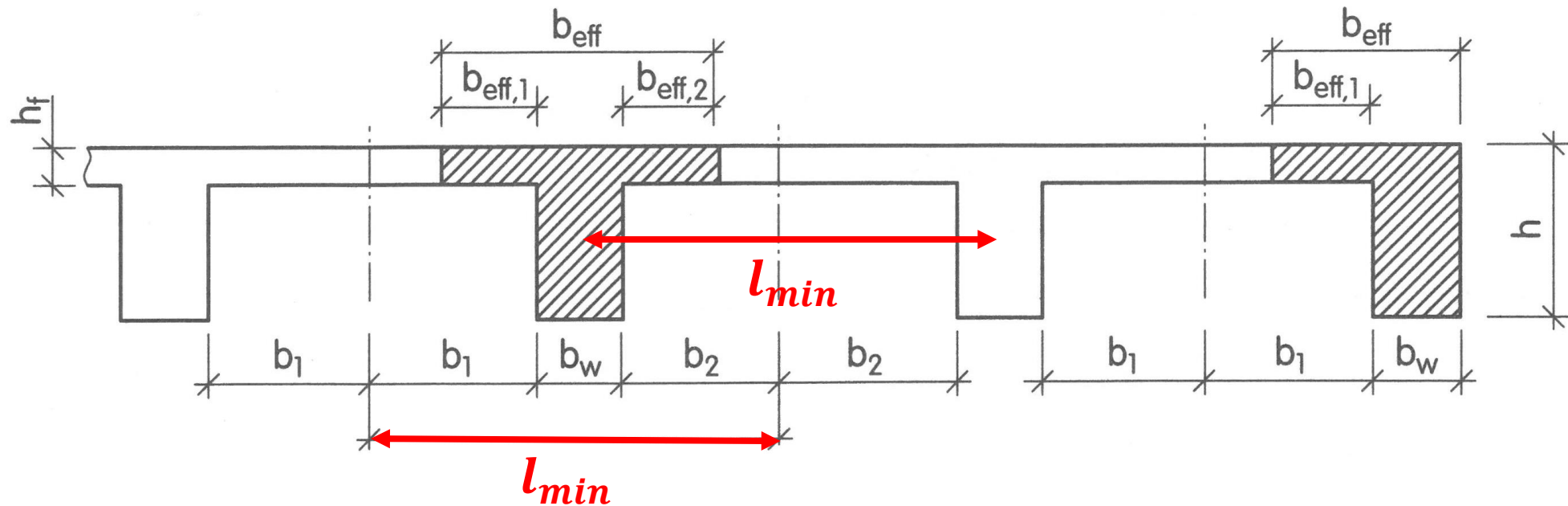


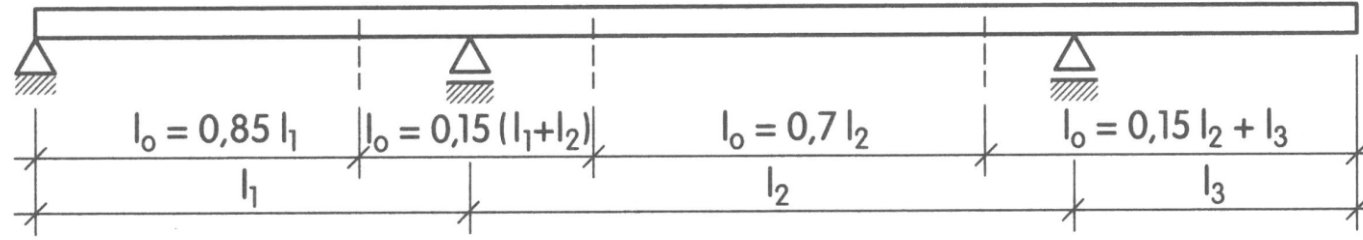
- w przekrojach z półkami po obu stronach łożyska

$$b_{eff} = b_{eff,1} + b_{eff,2} + b_w \leq b_1 + b_2 + b_w$$

- w przekrojach z półką po jednej stronie łożyska

$$b_{eff} = b_{eff,1} + b_w \leq b_1 + b_w$$





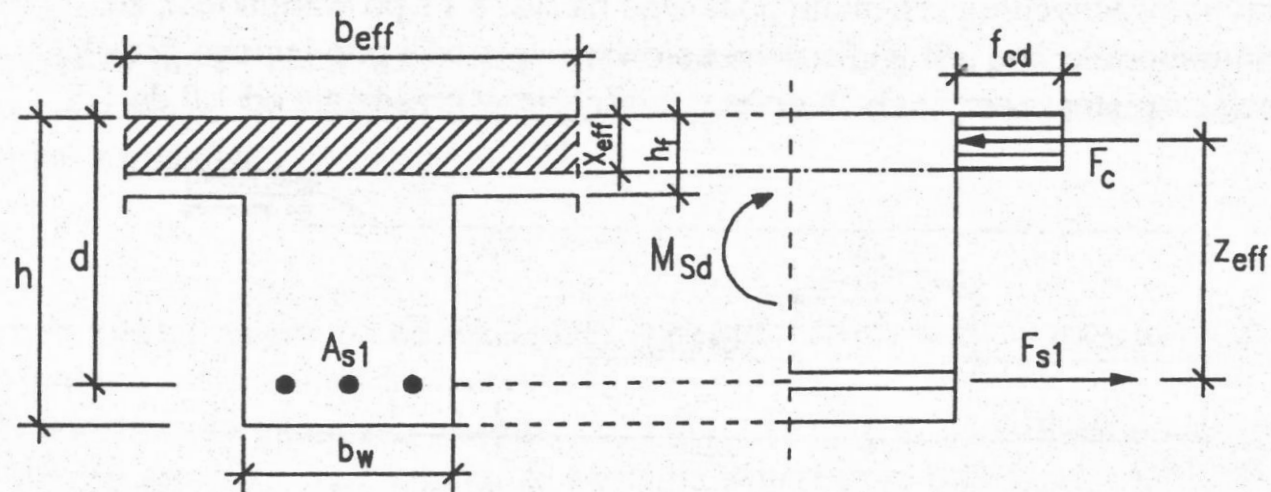
$$b_{eff,1} = 0,2b_1 + 0,1l_o \leq 0,2l_o \text{ oraz } \leq b_1$$

$$b_{eff,2} = 0,2b_2 + 0,1l_o \leq 0,2l_o \text{ oraz } \leq b_2$$

Oś obojętna x_{eff} znajduje się w półce o grubości h_f , czyli

$$x_{\text{eff}} \leq h_f$$

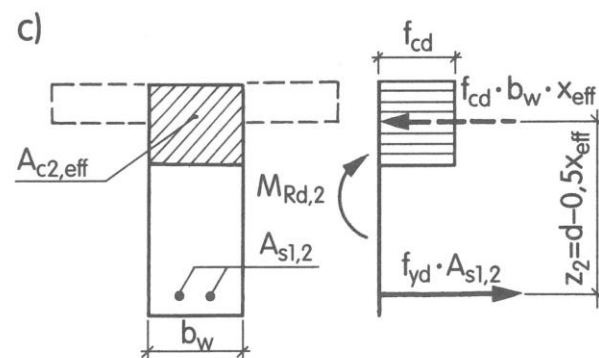
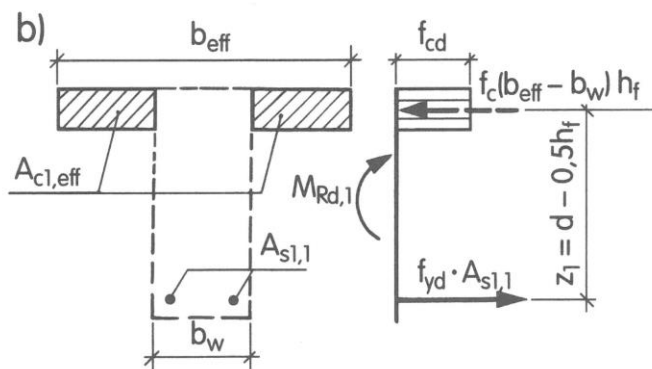
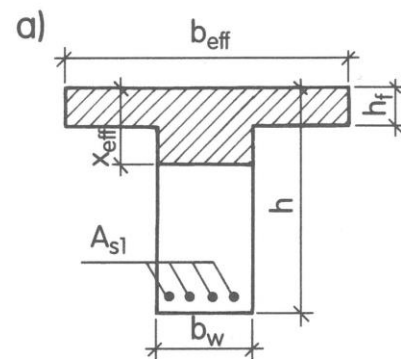
Przekrój nazywa się pozornie teowy, ponieważ jest rozpatrywany jako prostokątny.



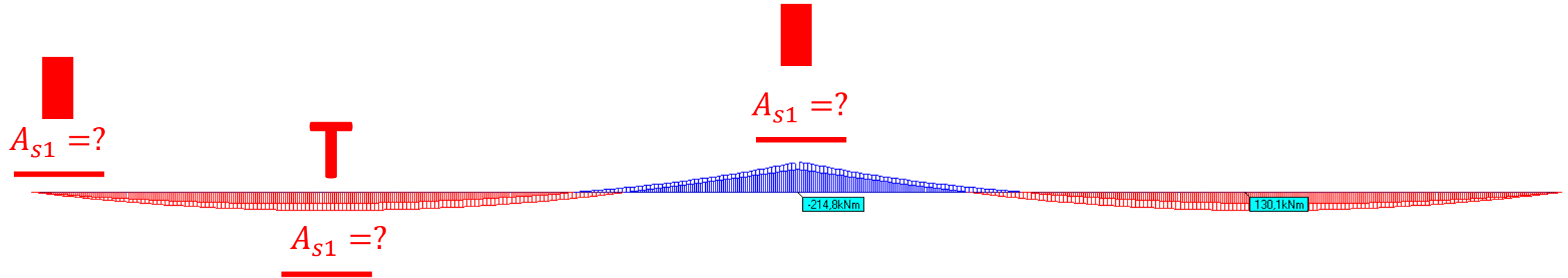
Przypadek 2. Przekrój rzeczywiście teowy
Oś obojętna znajduje się w środku, czyli

$$x_{\text{eff}} > h_f$$

a więc strefa ściskana ma kształt teowy.



Obliczanie zbrojenia żebra - zginanie

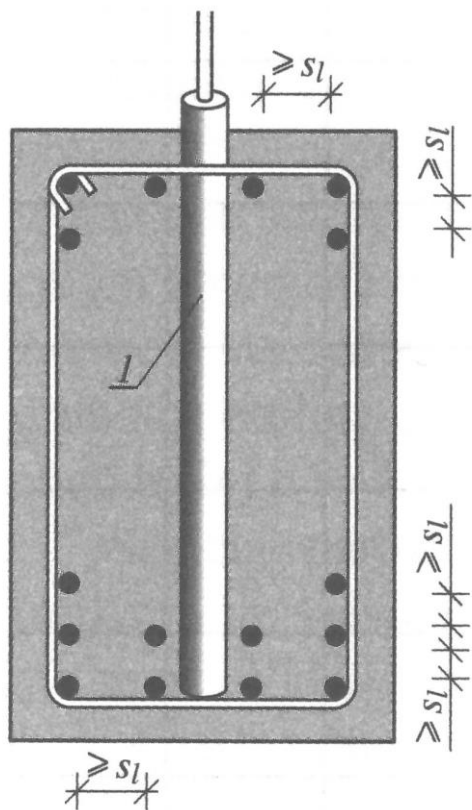


Obliczenie zbrojenie wykonujemy dla przekroji zgodnie z obwiednią momentów zginających - **rozciąganie**

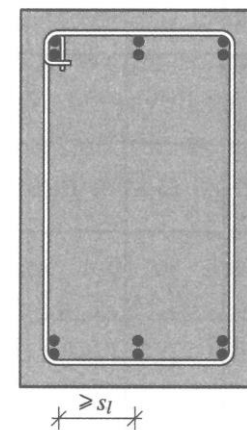
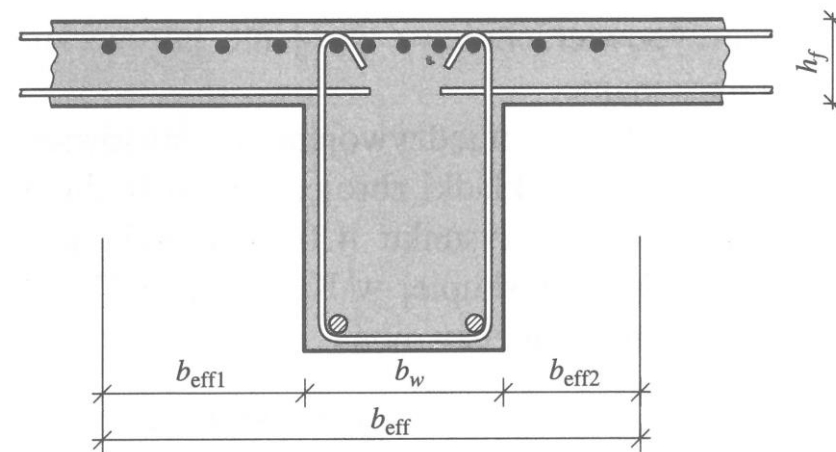
Masa i pole przekroju zbrojenia

Średnica $\phi^{*)}$ [mm]	Masa [kg/m]	Pole przekroju w cm ² zależnie od liczby prętów									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	0,055	0,07	0,14	0,21	0,28	0,36	0,43	0,50	0,57	0,64	0,71
3,5	0,075	0,10	0,19	0,29	0,38	0,48	0,58	0,67	0,77	0,86	0,96
4	0,098	0,13	0,25	0,38	0,50	0,63	0,76	0,88	1,01	1,13	1,26
4,5	0,125	0,16	0,32	0,48	0,64	0,80	0,95	1,11	1,27	1,43	1,59
5	0,154	0,20	0,39	0,59	0,78	0,98	1,18	1,37	1,57	1,76	1,96
5,5	0,187	0,24	0,48	0,71	0,95	1,19	1,43	1,66	1,90	2,14	2,38
6	0,222	0,28	0,57	0,85	1,13	1,41	1,70	1,98	2,26	2,54	2,83
8	0,395	0,50	1,01	1,51	2,01	2,51	3,02	3,52	4,02	4,52	5,03
10	0,617	0,79	1,57	2,36	3,14	3,93	4,71	5,50	6,28	7,07	7,85
12	0,888	1,13	2,26	3,39	4,52	5,65	6,79	7,92	9,05	10,18	11,31
14	1,21	1,54	3,08	4,62	6,16	7,70	9,24	10,78	12,32	13,85	15,39
16	1,58	2,01	4,02	6,03	8,04	10,05	12,06	14,07	16,08	18,09	20,10
18	2,00	2,54	5,09	7,63	10,18	12,72	15,27	17,81	20,36	22,90	25,45
20	2,47	3,14	6,28	9,42	12,57	15,71	18,85	21,99	25,13	28,27	31,41
22	2,98	3,80	7,60	11,40	15,20	19,00	22,80	26,61	30,41	34,21	38,01
25	3,85	4,91	9,82	14,73	19,64	24,55	29,46	34,37	39,27	44,18	49,09
28	4,83	6,16	12,32	18,47	24,63	30,79	36,94	43,10	49,26	55,42	61,58
32	6,31	8,04	16,08	24,13	32,17	40,21	48,25	56,30	64,34	72,38	80,42
36	7,99	10,18	20,36	30,54	40,72	50,90	61,07	71,25	81,43	91,61	101,79
40	9,87	12,57	25,13	37,70	50,26	62,83	75,40	87,96	100,53	113,09	125,66

Obliczanie zbrojenia żebra - zginanie



$$s_l \leq \begin{cases} \phi, \\ 20 \text{ mm}, \\ d_g + 5 \text{ mm}, \end{cases}$$

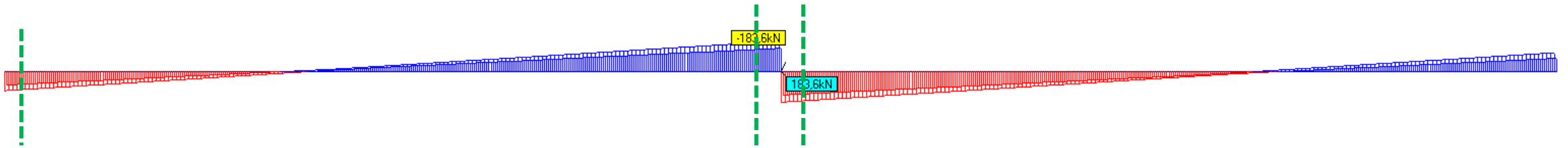


$$s_l \leq \begin{cases} 1,5\phi, \\ 30 \text{ mm}, \\ d_g + 5 \text{ mm}. \end{cases}$$

Sprawdzenie strefy przypodporowej - ścinanie

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$$

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$$



W tych częściach elementu żelbetowego, w których obliczeniowa wartość siły poprzecznej V_{Ed} nie przekracza obliczeniowej wartości nośności na ścinanie $V_{Rd,c}$, nazywanych często odcinkami pierwszego rodzaju, **nie oblicza się zbrojenia poprzecznego**, ale stosuje się tego rodzaju zbrojenie minimalne, spełniające warunki konstrukcyjne

Sprawdzenie strefy przypodporowej - ścinanie

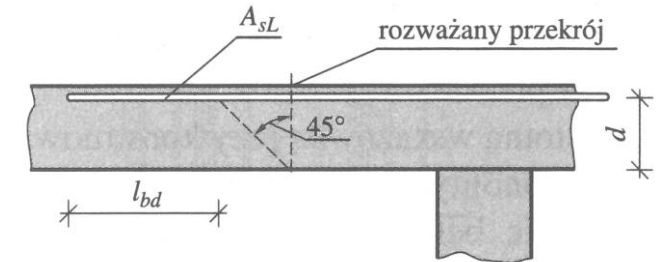
$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \sigma_{cp} \right] b_w d \quad \text{lecz nie mniej niż} \quad V_{Rd,c} = (v_{\min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d$$

$$v_{\min} = 0,035 k^{\frac{3}{2}} f_{ck}^{\frac{1}{2}}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}}, \text{ lecz nie więcej niż } 2,0,$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d}, \text{ lecz nie więcej niż } 0,02,$$

b_w jest najmniejszą szerokością strefy rozciąganej przekroju



$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c},$$

Uwaga: Wartości $C_{Rd,c}$, v_{\min} i k_1 do stosowania w kraju mogą być podane w Załączniku krajowym. Wartościami zalecanymi są $C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_C$, $k_1 = 0,15$,

Sprawdzenie strefy przypodporowej - ścinanie

Jeżeli $V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$ to musi być spełniony warunek :

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max} = 0,5b_w d v f_{cd},$$

w którym: v – współczynnik redukcji wytrzymałości betonu zarysowanego przy ścinaniu określony wzorem

$$v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) \quad (f_{ck} \text{ w MPa}),$$

d – wysokość użyteczna (mm),

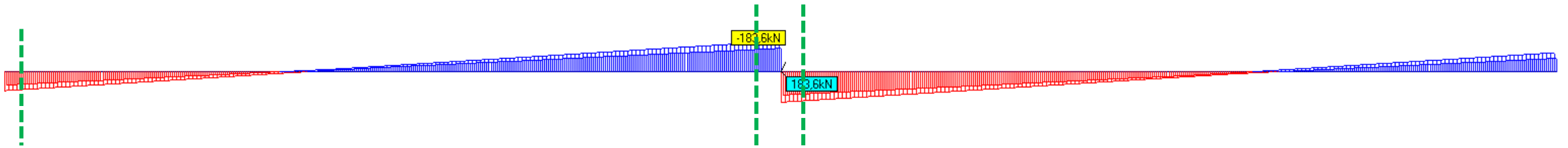
b_w – najmniejsza szerokość strefy rozciąganej przekroju (mm).

Sprawdzenie strefy przypodporowej - ścinanie

$$V_{Ed} > V_{Rd,c}$$

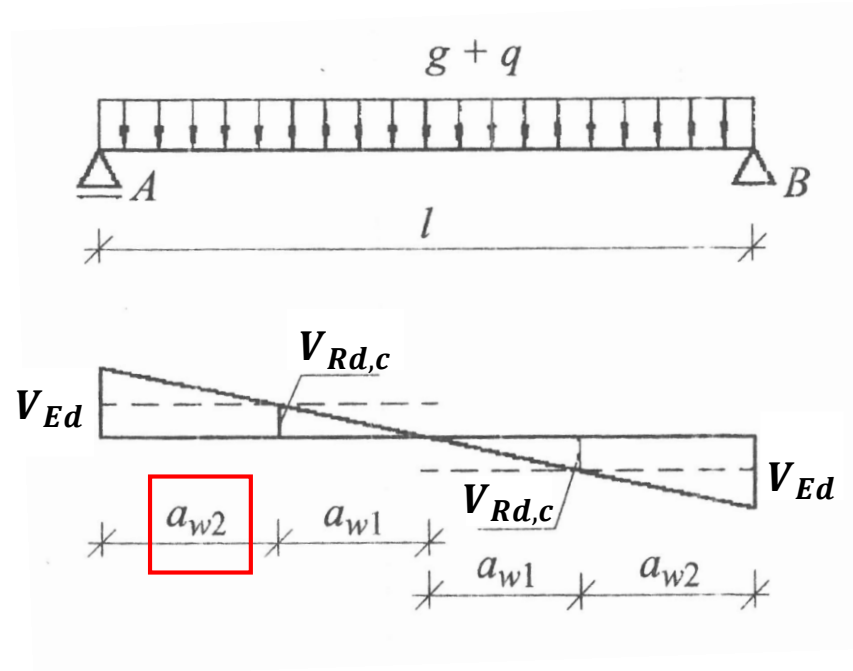
$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s}$$

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$$



Na odcinkach elementów zginanych, na których $V_{Ed} > V_{Rd,c}$, nazywanych często odcinkami drugiego rodzaju, **jest wymagane obliczenie i zastosowanie odpowiedniego zbrojenia poprzecznego** (strzemion lub strzemion i prętów odgiętych).

Sprawdzenie strefy przypodporowej - ścinanie



Jeżeli belka jest poddana działaniu obciążeń rozłożonych równomiernie, to długość odcinka a_w , na którym oblicza się zbrojenie poprzeczne (tzw. odcinka drugiego rodzaju — odcinka ścinania) określa się z zależności

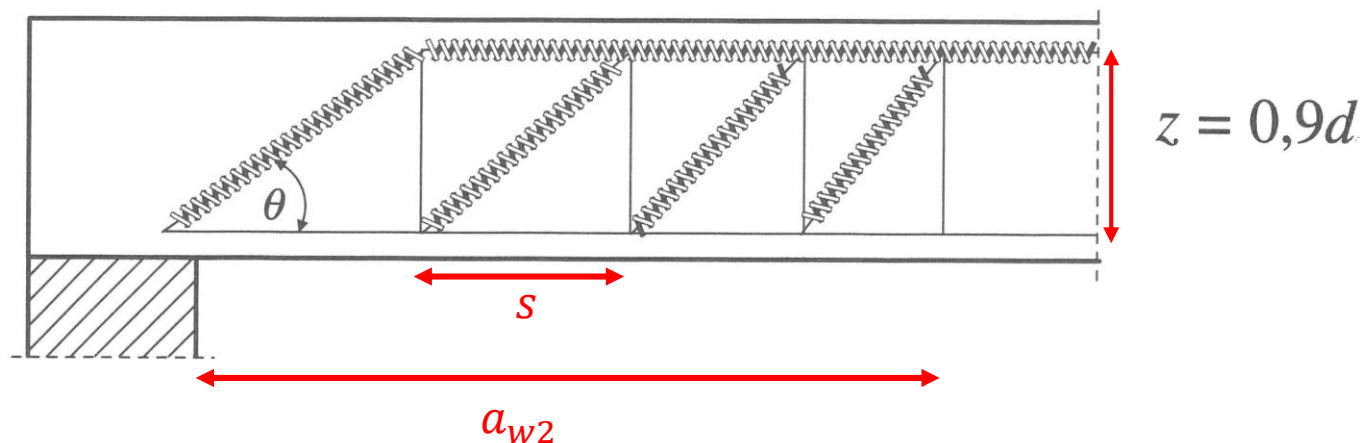
$$a_w = \frac{V_{Ed} - V_{Rd,c}}{g + q}$$

Sprawdzenie strefy przypodporowej - ścinanie

Strefa ścinania składa się ze ściskanych betonowych krzyżulców nachylnych pod kątem Θ do osi elementu i z rozciąganego zbrojenia poprzecznego, rozmieszczonego w płaszczyznach o rozstawie s , nachylonego pod kątem α do tej osi. Kąt α zbrojenia poprzecznego uwzględnianego w obliczeniach nie może być mniejszy niż 45° (do 90°), a kąt Θ można dobrać dowolnie z przedziału określonego nierównością

$$1,0 \leq \operatorname{ctg} \Theta \leq 2,0$$

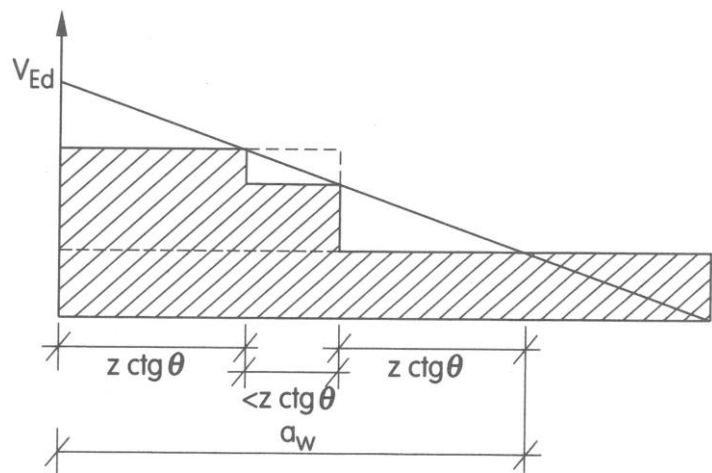
$$\alpha = 45^\circ$$
$$\alpha = 90^\circ$$



Sprawdzenie strefy przypodporowej - ścinanie

Na ogół odcinki a_w są dłuższe niż $z \cdot \operatorname{ctg} \Theta$, tzn. dłuższe niż $z \cdot \operatorname{ctg} \Theta = 0,9d \cdot 2,0 = 1,8d$. Takie odcinki trzeba podzielić na krótsze (nie większe niż $z \cdot \operatorname{ctg} \Theta$) i na każdym z nich obliczyć zbrojenie poprzeczne, uwzględniając najmniejszą wartość V_{Ed} na przyjętym odcinku

$$1,0 \leq \operatorname{ctg} \Theta \leq 2,0$$



Najmniejsze wymagane obliczeniowo pole przekroju zbrojenia poprzecznego otrzymuje się, przyjmując najmniejszą dopuszczalną wartość tego kąta, równą $\Theta = 26,5^\circ$ (wtedy $\operatorname{ctg} \Theta = 2,0$). Tę wartość zazwyczaj stosuje się w praktyce inżynierskiej.

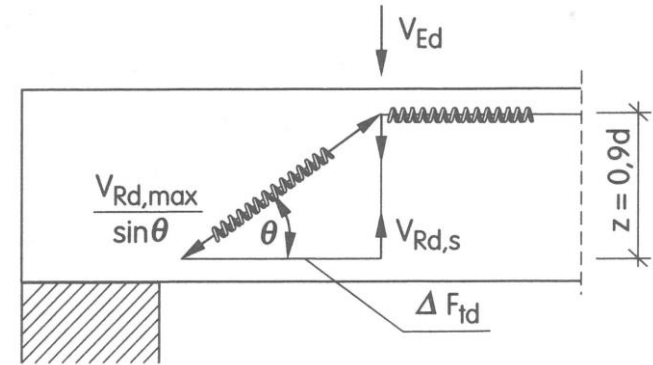
$$\operatorname{ctg} \theta = \frac{a_{w2}}{0,9d}$$

Sprawdzenie strefy przypodporowej - ścinanie

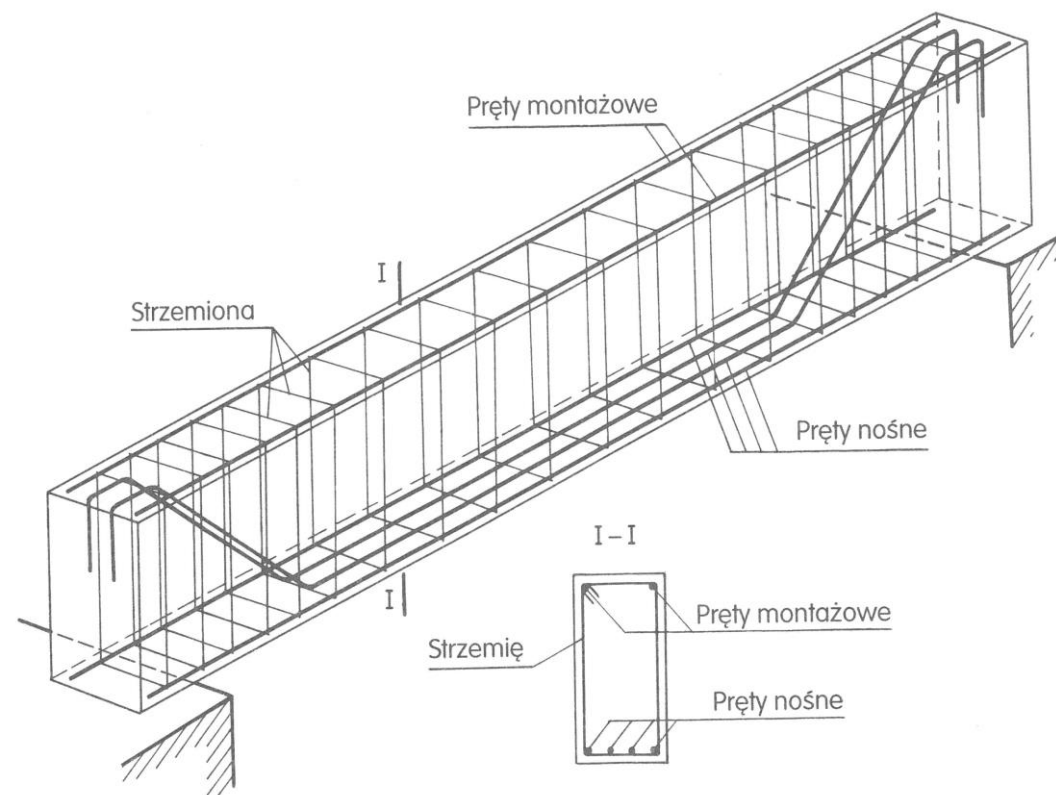
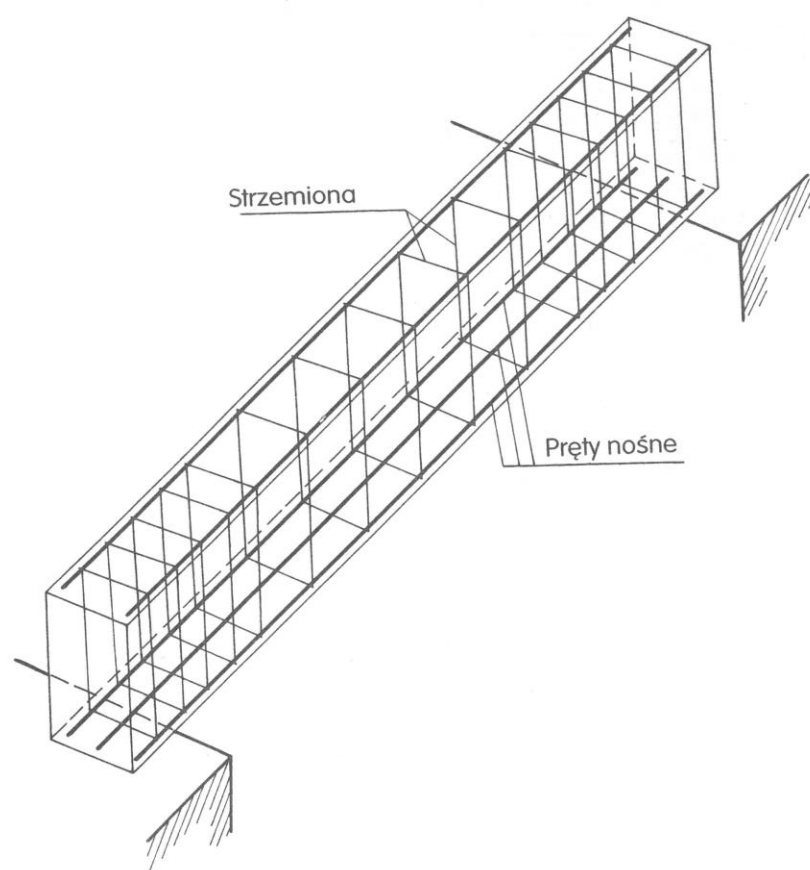
Maksymalną nośność krzyżulców ściskanych $V_{Rd,max}$, która uwzględnia zredukowaną wytrzymałość betonu na ściskanie po uplastycznieniu w dwuosio-
wym stanie naprężenia, określa się (w przypadku zbrojenia strzemionami piono-
wymi) ze wzoru

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{sw} \cdot b_w \cdot z}{\operatorname{ctg} \Theta + \operatorname{tg} \Theta} \nu \cdot f_{cd}$$

- $\alpha_{cw} = 1,0$ — w przypadku elementów niesprężonych,
- b_w — szerokość środka belki
- $\nu = 0,6 (1 - f_{ck}/250)$, gdzie f_{ck} w MPa,
- f_{cd} — wytrzymałość obliczeniowa betonu na ściskanie
- f_{ck} — wytrzymałość charakterystyczna betonu na ściskanie



Sprawdzenie strefy przypodporowej - ścinanie



Sprawdzenie strefy przypodporowej - ścinanie

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s} = \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{s} z \cdot \operatorname{ctg} \Theta \longrightarrow s \leq \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} z \cdot \operatorname{ctg} \Theta$$

$$s \leq 0,75d$$

$$s \leq 600 \text{ mm}$$

A_{sw} — pole przekroju strzemion pionowych umieszczonych w jednej płaszczyźnie; np. w przypadku strzemion dwuramiennych ($m = 2$) średnicy 6 mm $A_{sw} = 2 \cdot 0,28 = 0,56 \text{ cm}^2$, a strzemion czteroramiennych ($m = 4$) tej średnicy $A_{sw} = 4 \cdot 0,28 = 1,12 \text{ cm}^2$,

f_{ywd} — obliczeniowa granica plastyczności stali strzemion,

s — rozstaw strzemion pionowych wzdłuż osi elementu,

z — ramię sił wewnętrznych; przyjmuje się $z = 0,9d$.

Sprawdzenie strefy przypodporowej - ścinanie

$$\rho_w \geq \rho_{w,min}$$

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s b_w \sin \alpha}$$

$$\rho_{w,min} = 0,08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$$

Minimalne i maksymalne pole przekroju strzemion pionowych stanowiących zbrojenie na ścinanie oblicza się ze wzorów:

— minimalne

$$A_{sw,min} = 0,08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} s \cdot b_w$$

— maksymalne

$$A_{sw,max} = 0,5 \nu \cdot f_{cd} \frac{b_w \cdot s}{f_{ywd}}$$

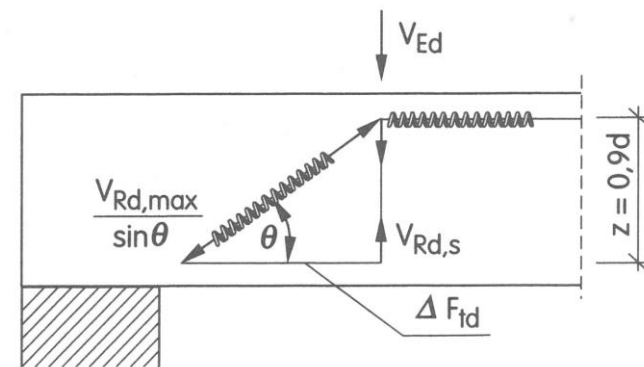
Sprawdzenie strefy przypodporowej - ścinanie

Nośność zbrojenia rozciąganego (z uwzględnieniem dodatkowej siły ΔF_{td} w zbrojeniu na zginanie, spowodowanej przez siłę poprzeczną V_{Ed} , sprawdza się z warunku

$$\frac{M_{Ed}}{z} + \Delta F_{td} \leq \frac{M_{Ed,max}}{z}$$

$$\Delta F_{td} = 0,5 V_{Ed} (\operatorname{ctg} \theta - \operatorname{ctg} \alpha)$$

$$T_d \geq \frac{M_{Sd}}{z} + 0,5 |V_{Sd}| \operatorname{ctg} \theta,$$

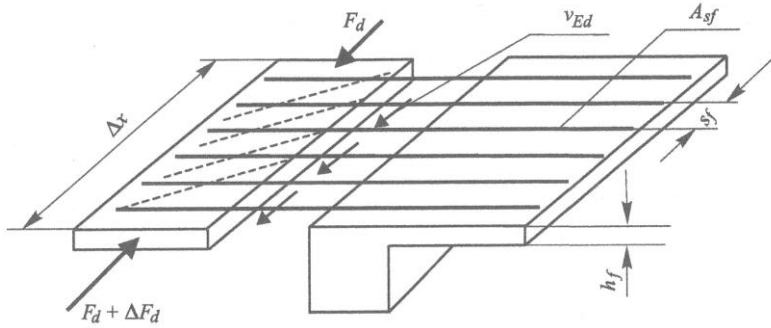


M_{Ed} — moment zginający od obliczeniowej wartości obciążeń (oddziaływań) w rozpatrywanym przekroju,

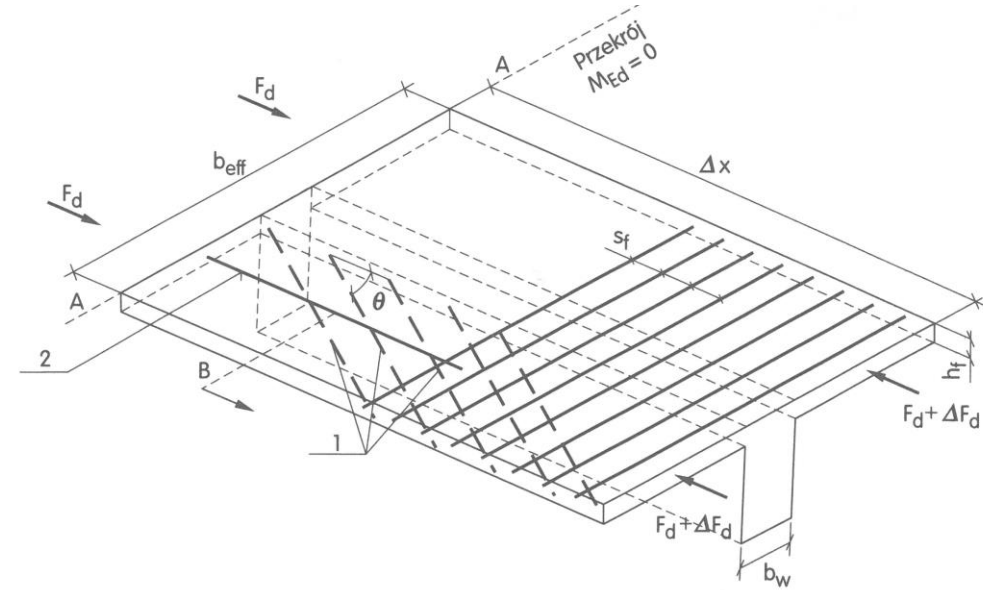
$M_{Ed,max}$ — maksymalna wartość M_{Ed} na długości elementu

$z = 0,9 d$ — ramię sił wewnętrznych,

Ścinanie – połączenie żebro płyta



$$v_{Ed} = \frac{\Delta F_d}{h_f \cdot \Delta x}$$

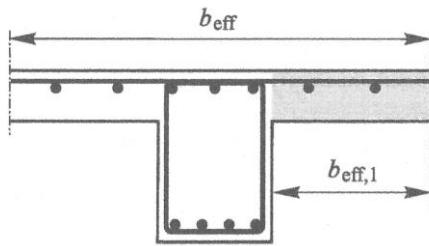


ΔF_d — zmiana siły podłużnej w płacie po jednej stronie środka na długości Δx ,

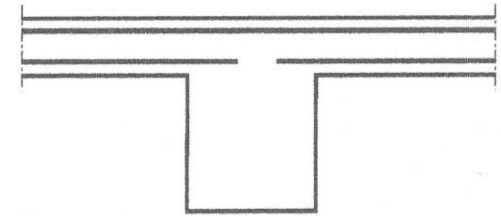
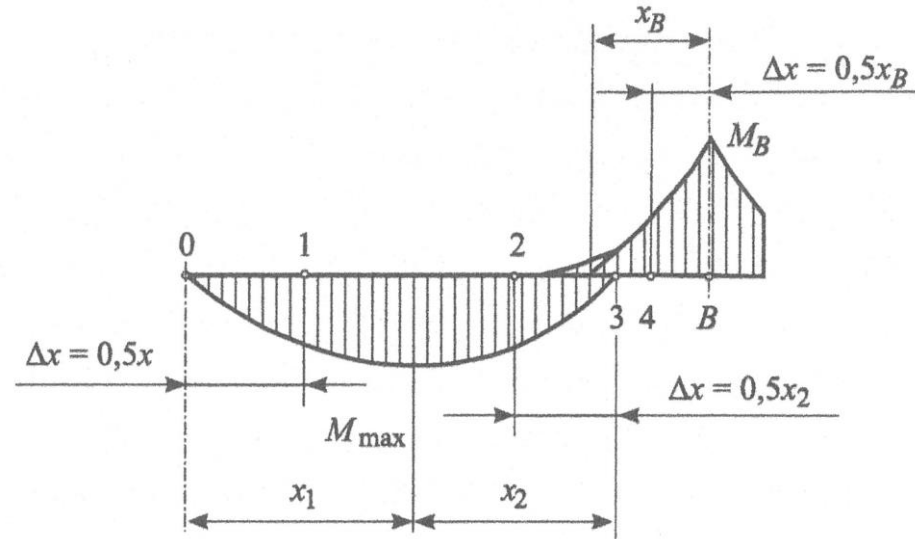
Długość odcinka Δx przyjmuje się nie większą niż:

- połowa odległości między przekrojem, w którym moment zginający M_{Ed} jest równy zero i przekrojem, w którym ten moment osiąga wartość maksymalną,
- odległość między siłami skupionymi.

Ścinanie – połączenie żebro płyta



$$\beta = b_{\text{eff},1} / b_{\text{eff}}$$



$$v_{Ed} = \frac{\Delta F_d}{h_f \Delta x} = \beta \frac{\Delta M}{z h_f \Delta x}$$

Jeżeli $v_{Ed} \leq 0,4 f_{ctd}$, to zbrojenie na ścinanie nie jest potrzebne,

Ścinanie – połączenie żebro płyta

$$\frac{A_{sf}}{s} \geq \frac{\nu_{Ed} \cdot h_f}{f_{yd} \cdot \operatorname{ctg} \theta_f}$$

Wartość $\operatorname{ctg} \theta_f$ przyjmuje się:

- w przypadku pól ściskanych $1,0 \leq \operatorname{ctg} \theta_f \leq 2,0$ (tj. $45^\circ \leq \theta_f \leq 26,5^\circ$),
- w przypadku pól rozciąganych $1,0 \leq \operatorname{ctg} \theta_f \leq 1,25$ (tj. $45^\circ \leq \theta_f \leq 38,6^\circ$).

Jeżeli ścinanie między półką i środkiem występuje jednocześnie z poprzecznym zginaniem, to za pole zbrojenia poprzecznego należy przyjąć pole większe niż:

pole według wzoru

pole wymagane ze względu na zginanie plus połowa pola według wzoru

Ścinanie – połączenie żebro płyta

Zmiazdzeniu ściskanych krzyżulców w półce zapobiega się, spełniając warunek

$$\nu_{Ed} \leq \nu \cdot f_{cd} \cdot \sin \Theta_f \cdot \cos \Theta_f$$

w którym

f_{cd} — wytrzymałość obliczeniowa betonu na ściskanie

Wartość $\operatorname{ctg} \theta_f$ przyjmuje się:

- w przypadku półek ściskanych $1,0 \leq \operatorname{ctg} \Theta_f \leq 2,0$ (tj. $45^\circ \leq \Theta_f \leq 26,5^\circ$),
- w przypadku półek rozciąganych $1,0 \leq \operatorname{ctg} \Theta_f \leq 1,25$ (tj. $45^\circ \leq \Theta_f \leq 38,6^\circ$).

RYSUNEK ZBROJENIA ŻEBRA

przekrój poprzeczny

SKALA 1:20

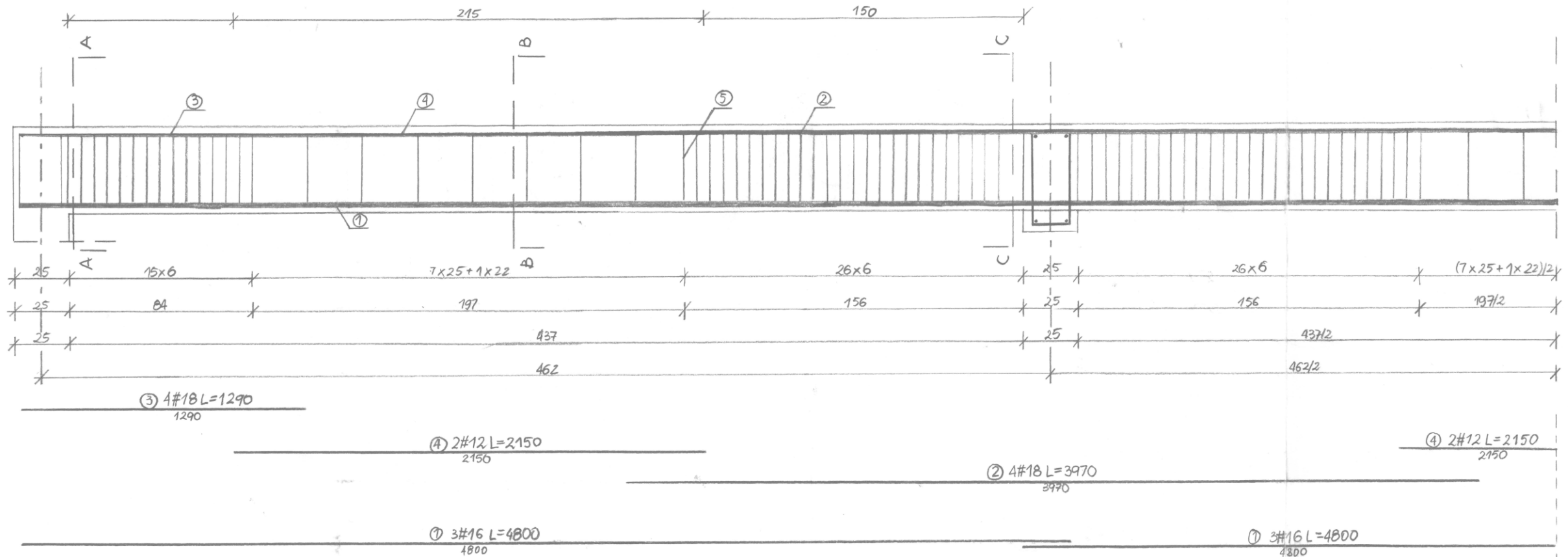
beton B20

stal: A-I St3SX-b ϕ

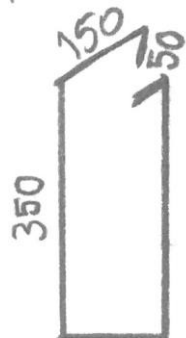
A-III 34GS #

otulina: 25mm

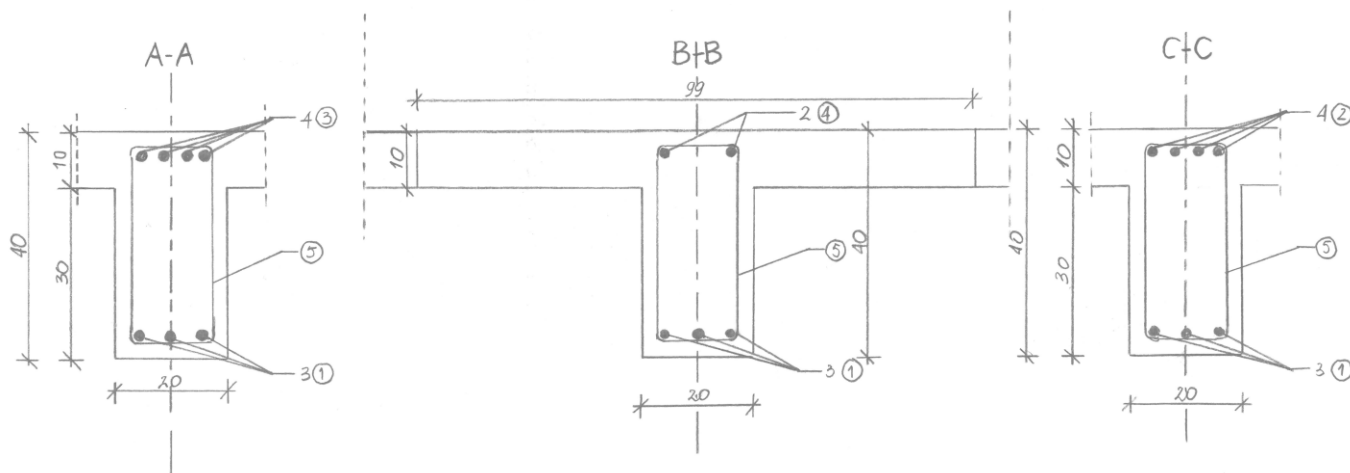
środkowisko: XC1



⑤ $\phi 6$ L=1100



przekroje poprzeczne
SKALA 1:10



beton B20

stal: A-I St35X-b ϕ

A-III 34GS #

otulina: 25mm

ściskanie: XC1

ZESTAWIENIE STALI ZBROJENIOWEJ								
ELEMENT	PRĘTY ZBROJENIOWE							
Nazwa	Nr pręta	Średnica	Długość	Liczba w 1 elem.	Długość łączna			
		mm	m	szt.	St35X-b	34GS	1B	
Żebro	①	16	4,800	6				
	②	18	3,970	8			31,76	
	③	18	1,290	8			10,32	
	④	12	2,150	4		8,6		
	⑤	6	1,100	98	107,8			
		Długość łączna		m	107,8	8,6	22,8	42,08
		Masa jednostkowa		kg/m	0,222	0,888	1,578	1,995
		Masa		kg	23,93	7,64	45,45	84,12
		Masa razem		kg	161,14			

Żebro, sztuk 13

Stan graniczny

Nośności (SGN)

Użytkowości (SGU)

Zginanie

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

Ścinanie

$$V_{Rd} \geq V_{Ed}$$

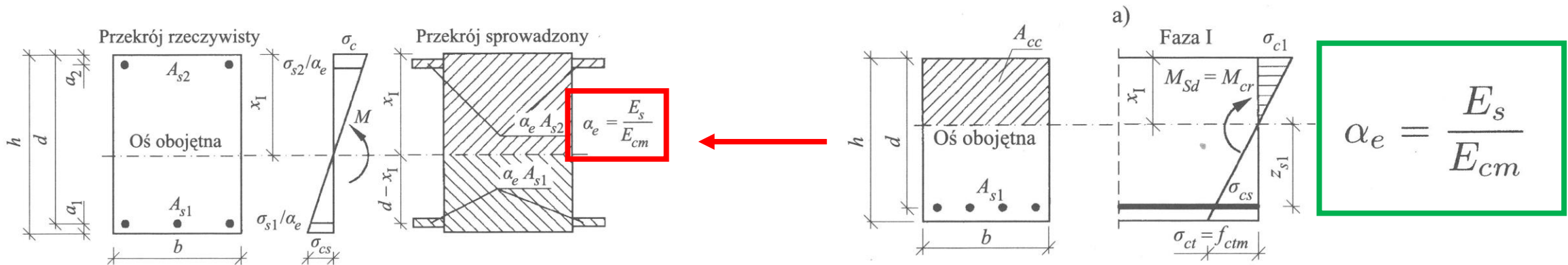
Ugięcie

$$a \leq a_{max}$$

Zarysowanie

$$w_k \leq w_{max}$$

Stany graniczne użytkowości sprawdzamy dla wartości charakterystycznych !!



$$x_I = \frac{0,5bh^2 + \alpha_e(A_{s1}d + A_{s2}a_2)}{bh + \alpha_e(A_{s1} + A_{s2})}$$

$$J_I = \frac{1}{12}bh^3 + bh \left(x_I - \frac{h}{2} \right)^2 + \alpha_e A_{s2}(x_I - a_2)^2 + \alpha_e A_{s1}(d - x_I)^2$$

$$M_{cr} = f_{ct, eff} \frac{J_I}{h - x}$$

$M_{cr} \geq M_{ed}$ – I faza, przekrój niezarysowany

$M_{cr} < M_{ed}$ – II faza, przekrój zarysowany

Pole zbrojenia z uwagi na zarysowanie – Odkształcenia wymuszone

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

$$k_c = 0,4 \left(1 - \frac{\sigma_c}{k_1 \frac{h}{h^*} f_{ct,eff}} \right), \text{ lecz nie więcej niż } 1,0$$

k_1 jest współczynnikiem zależnym od wpływu siły podłużnej na rozkład naprężeń:

$k_1 = 1,5$ jeśli N_{Ed} jest siłą ściskającą,

$k_1 = \frac{2h^*}{3h}$ jeśli N_{Ed} jest siłą rozciągającą,

$$h^* = \begin{cases} h & \text{dla } h < 1,0 \text{ m} \\ 1,0 \text{ m} & \text{dla } h \geq 1,0 \text{ m} \end{cases}$$

σ_c jest średnim naprężeniem w betonie w rozpatrywanej części przekroju:

$$\sigma_c = \frac{N_{Ed}}{bh}$$

Pole zbrojenia z uwagi na zarysowanie – Odkształcenia wymuszone

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

A_{ct} jest polem przekroju strefy rozciąganej betonu; za strefę rozciąganą uważa się tu tę część przekroju, która – według obliczeń – jest rozciągana tuż przed pojawieniem się pierwszej rysy,

$$A_{ct} = 0,5(b * h) \quad A_{ct} = b * (h - x_I)$$

k jest współczynnikiem zależnym od wpływu nierównomiernych, samorównoważących się naprężeń, które prowadzą do zmniejszenia sił od odkształceń wymuszonych:

$k = 1,0$ dla środników o wysokości $h \leq 300$ mm i pótek o szerokości mniejszej niż 300 mm,

$k = 0,65$ dla środników o wysokości $h \geq 800$ mm i pótek o szerokości większej niż 800 mm; wartości pośrednie można interpolować,



???

Pole zbrojenia z uwagi na zarysowanie – Odkształcenia wymuszone

Tablica 7.1N: Zalecane wartości w_{max} (mm)

Klasa ekspozycji	Elementy zbrojone i sprężone z cięgnami bez przyczepności	Elementy sprężone cięgnami z przyczepnością
	Prawie stała kombinacja obciążeń	Częsta kombinacja obciążeń
XO, XC1	0,4 ¹⁾	0,2
XC2, XC3, XC4	0,3	0,2 ²⁾
XD1,XD2, XS1, XS2, XS3		Dekompresja

Uwaga 1: Dla klas ekspozycji XO i XC1 szerokość rys nie wpływa na trwałość, a ograniczenia nałożono w celu zapewnienia akceptowalnego wyglądu. Jeżeli nie stawia się wymagań dotyczących wyglądu, to ograniczenia te można złagodzić.

Uwaga 2: Dla tych klas ekspozycji dodatkowo należy sprawdzić warunek dekompresji przy quasi-stałej kombinacji obciążeń.

Pole zbrojenia z uwagi na zarysowanie – Odkształcenia wymuszone

σ_s jest wartością bezwzględną maksymalnego dozwolonego naprężenia w zbrojeniu, które powstaje natychmiast po pojawieniu się rysy – ~~może być ono równe granicy plastyczności zbrojenia f_{yk}~~ – ale jeżeli wymaga się, żeby nie były przekroczone graniczne szerokości rys, to może być potrzebne przyjęcie mniejszej wartości dozwolonego naprężenia, zależnej od największej średnicy lub rozstawu zbrojenia

Tablica 7.2N: Ograniczenie rys¹ – maksymalne średnice prętów ϕ_s^*

Naprężenie w stali ² [MPa]	Maksymalna średnica prętów [mm]		
	$w_k = 0,4 \text{ mm}$	$w_k = 0,3 \text{ mm}$	$w_k = 0,2 \text{ mm}$
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	6	5	–

$$\sigma_s = \frac{M_{cr}}{A_{s1} * \left(d - \frac{x_I}{3}\right)}$$

SGU – Zarysowanie – rysa prostopadła

$$w_k \leq w_{\max}$$

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}}$$

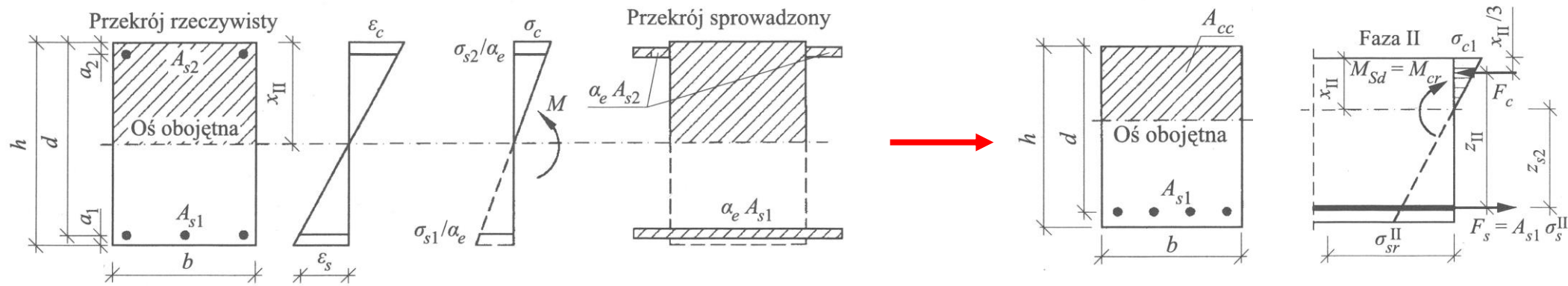
Tablica 7.1N: Zalecane wartości w_{\max} (mm)

Klasa ekspozycji	Elementy zbrojone i sprężone z ciągnami bez przyczepności	Elementy sprężone ciągnami z przyczepnością
	Prawie stała kombinacja obciążeń	Częsta kombinacja obciążeń
XO, XC1	0,4 ¹⁾	0,2
XC2, XC3, XC4	0,3	0,2 ²⁾
XD1, XD2, XS1, XS2, XS3		Dekompresja

Uwaga 1: Dla klas ekspozycji XO i XC1 szerokość rys nie wpływa na trwałość, a ograniczenia nałożono w celu zapewnienia akceptowalnego wyglądu. Jeżeli nie stawia się wymagań dotyczących wyglądu, to ograniczenia te można złagodzić.

Uwaga 2: Dla tych klas ekspozycji dodatkowo należy sprawdzić warunek dekompresji przy quasi-stałej kombinacji obciążeń.

Stany graniczne użytkowości sprawdzamy dla wartości charakterystycznych !!`



$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{bd}, \quad \rho_2 = \frac{A_{s2}}{bd}$$

$$x_{II} = d \left[\sqrt{\alpha_e^2 (\rho_1 + \rho_2)^2 + 2\alpha_e \left(\rho_1 + \frac{a_2}{d} \rho_2 \right)} - \alpha_e (\rho_1 + \rho_2) \right]$$

$$J_{II} = \frac{bx_{II}^3}{3} + \alpha_e \rho_1 bd (d - x_{II})^2 + \alpha_e \rho_2 bd (x_{II} - a_2)^2$$

$M_{cr} < M_{ed}$ – II faza, przekrój zarysowany

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{A_{s1} \left(d - \frac{x_{II}}{3} \right)}$$

SGU – Zarysowanie – metoda uproszczona

$$\phi \leq \phi_s = \phi_s^* \frac{f_{ct,eff}}{2,9} \frac{k_c \cdot h_{cr}}{2(h-d)}$$

$$\phi \leq \phi_s \rightarrow W_k \leq W_{max}$$

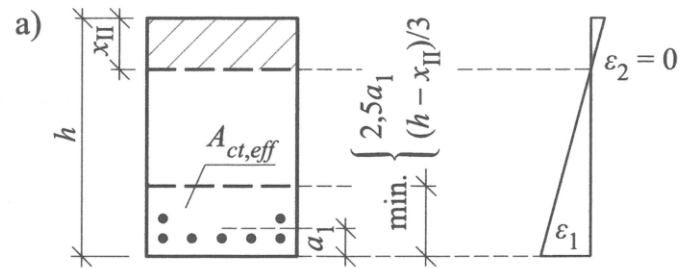
Tablica 7.2N: Ograniczenie rys¹ – maksymalne średnice prętów ϕ_s^*

Napężenie w stali ² [MPa]	Maksymalna średnica prętów [mm]		
	$w_k = 0,4$ mm	$w_k = 0,3$ mm	$w_k = 0,2$ mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	6	5	–

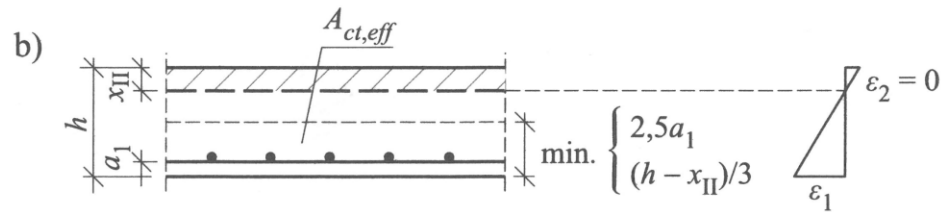
$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{A_{s1} \left(d - \frac{x_{II}}{3} \right)}$$

$$k_c = 0,4$$

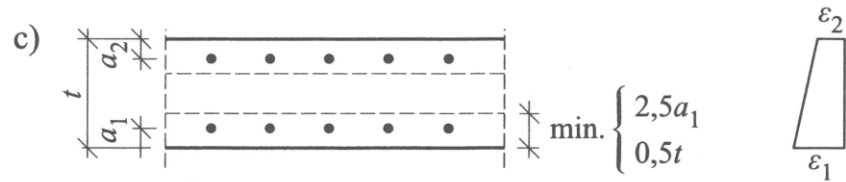
h_{cr} – wysokość strefy rozciąganej w elemencie tuż przed zarysowaniem,



$$h_w = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,5 (h - d) \\ (h - x_{II})/3 \end{array} \right.$$



$$A_{c,eff} = b * h_w$$



$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}}$$

$$w_k = s_{r,\max} \left(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} \right)$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_1 \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$k_1 = 0,6$ – przy obciążeniach krótkotrwałych,
 $k_1 = 0,4$ – przy obciążeniach długotrwałych.

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{A_{sl} \left(d - \frac{x_{\Pi}}{3} \right)}$$

$$s_{r,\max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \frac{\emptyset}{\rho_{p, \text{eff}}}$$

k_1 – współczynnik zależny od warunków przyczepności zbrojenia do betonu; dla prętów żebrowanych $k_1 = 0,8$,

$k_2 = 0,5$ – przy zginaniu,

$k_2 = 1,0$ – przy osiowym rozciąganiu,

$k_3 = 3,4$,

$k_4 = 0,425$.

$$\phi = \frac{\sum n_i \phi_i}{\sum n_i}$$

$$s_{r,\max} = 3,4 c + 0,17 \frac{\emptyset}{\rho_{p, \text{eff}}}$$

(PN 03264)

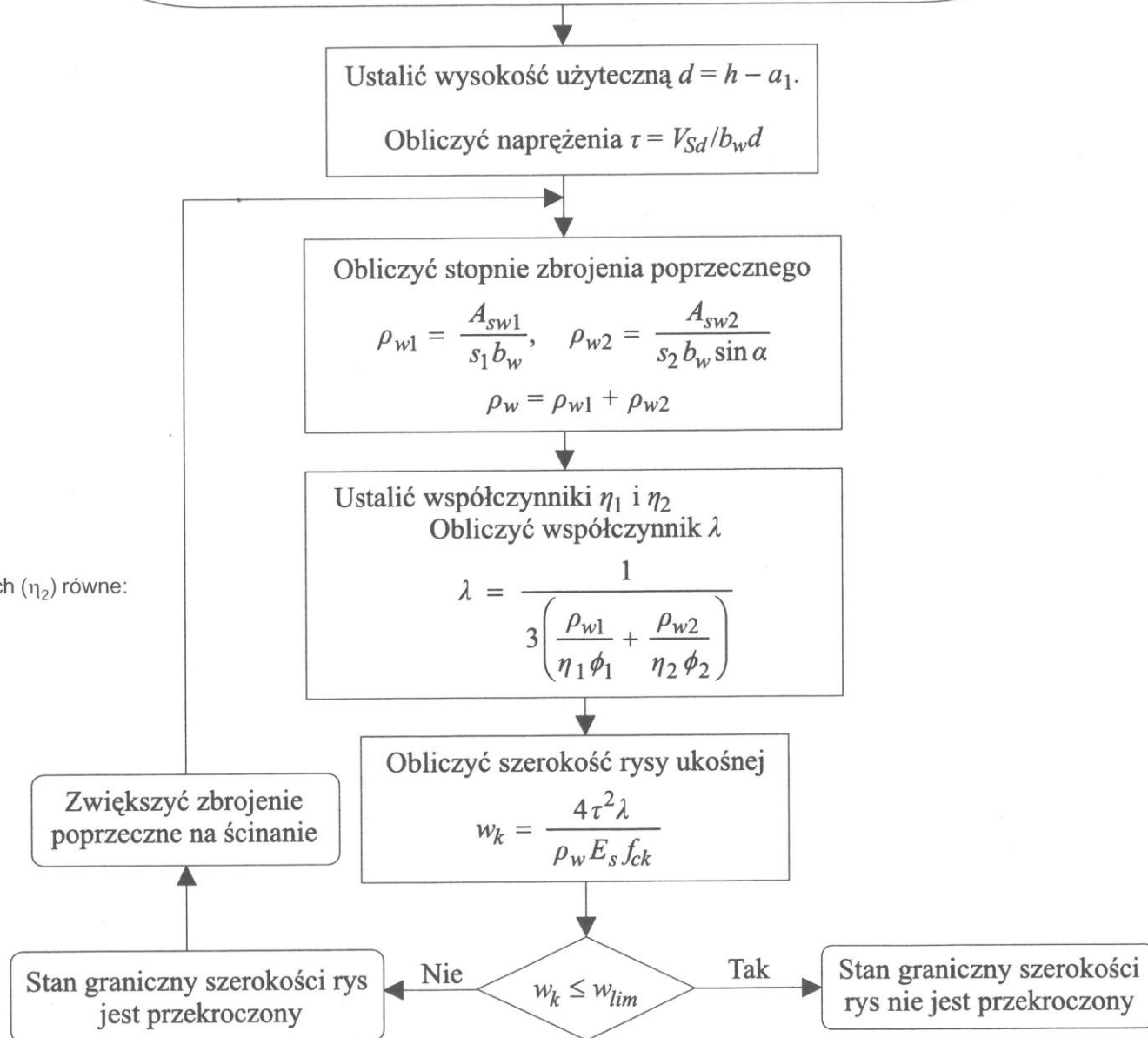
Zarysowanie ukośne

$$V_{ed} > V_{rd,c}$$

ϕ_1, ϕ_2 – odpowiednio: średnica (w milimetrach) strzemion pionowych i prętów ukośnych,
 η_1, η_2 – współczynniki zależne od przyczepności strzemion pionowych (η_1) i prętów ukośnych (η_2) równe:
1,0 – dla prętów gładkich,
0,7 – dla prętów żebrowanych.

$$\rho_w \geq \rho_{w,min}$$

Dane: V_{Sd} ($\gamma_f = 1,0$), b_w , h ; beton: f_{ck} , E_{cm} , klasa ekspozycji;
stal: strzemiona prostopadłe: A_{sw1} , s_1 , ϕ_1 ; pręty ukośne: A_{sw2} , s_2 , ϕ_2 , kąt α



(EC 2)

SGU – Ugięcie

$$a \leq a_{max} \longrightarrow a_{max} = \frac{l_{eff}}{250}$$

W budynkach mieszkalnych, biurowych użyteczności publicznej na ogół wystarczy ograniczenie ugięcia do wartości:

- dla obciążeń quasi-stałych $L_{eff}/250$,
- dla obciążeń quasi-stałych, po zakończeniu wznoszenia, jeżeli ugięcie elementu może spowodować uszkodzenia innych części konstrukcji $L_{eff}/500$.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Stany graniczne użyteczności sprawdzamy dla wartości charakterystycznych !!

(EC 2)

SGU – Ugięcie

$$M_{cr} \geq M_{ed} \longrightarrow a = \zeta a_{II} + (1 - \zeta) a_I \quad \zeta = 0 \longrightarrow a = a_I$$

$$M_{cr} < M_{ed} \longrightarrow a = \zeta a_{II} + (1 - \zeta) a_I$$

$$\zeta = 1 - \beta \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2$$

$$\zeta = 1 - \beta \left(\frac{M_{cr}}{M_{Ed}} \right)^2$$

$\beta = 1,0$ – dla obciążeń jednokrotnych, krótkotrwałych,
 $\beta = 0,5$ – dla obciążeń długotrwałych lub wielokrotnie

Stany graniczne użytkowalności sprawdzamy dla wartości charakterystycznych !!

Obciążenie krótkotrwałe

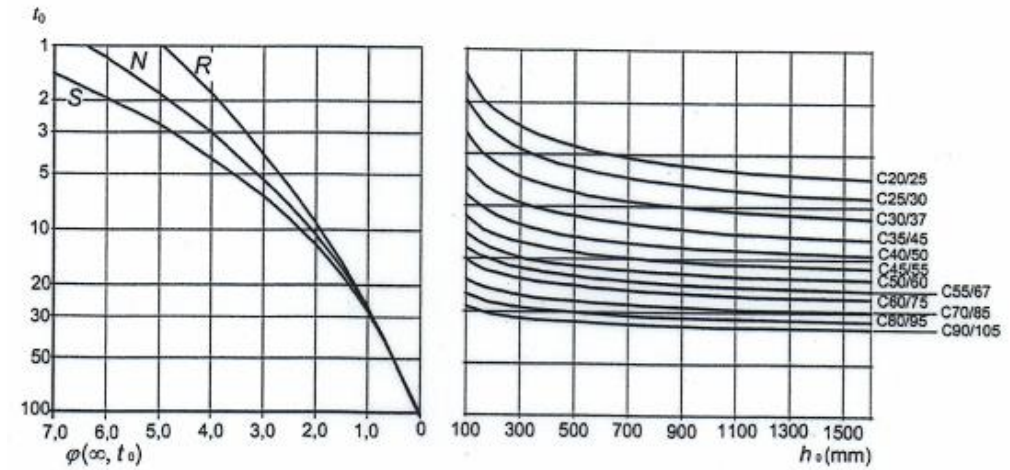
$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}}$$

Obciążenie długotrwałe

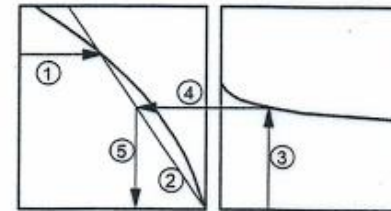
$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \phi(t, t_0)}$$

$$\alpha_{e,t} = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{E_s}{E_{cm}} (1 + \phi_{\infty, t_0})$$



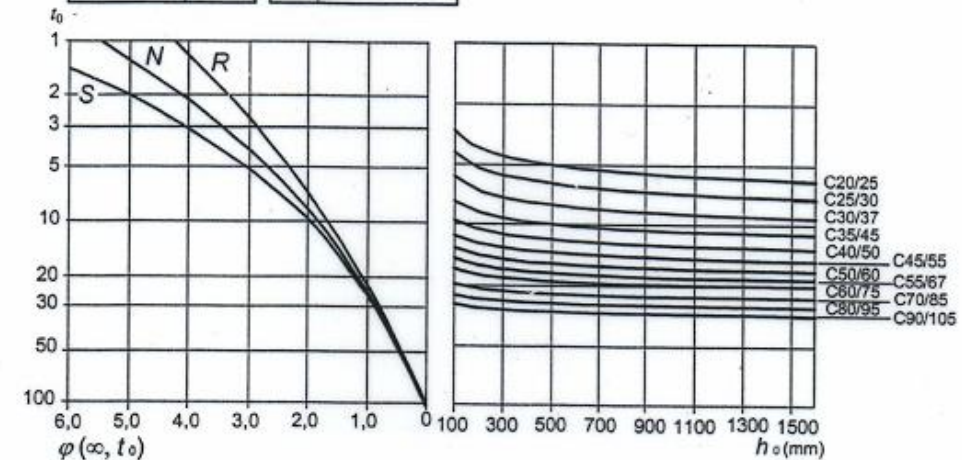
a) środowisko we wnętrzach RH = 50 %



Uwaga:

- punkt przecięcia linii 4 i 5 może leżeć także ponad punktem 1
- dla $t_0 > 100$ z dostateczną dokładnością można przyjąć $t_0 = 100$ (i stosować linię styczną)

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



b) środowisko na zewnątrz – RH = 80 %

SGU (SLS)

Kombinacja charakterystyczna stosowana jest zwykle dla nieodwracalnych stanów granicznych.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Kombinacja częsta stosowana jest zwykle dla odwracalnych stanów granicznych.

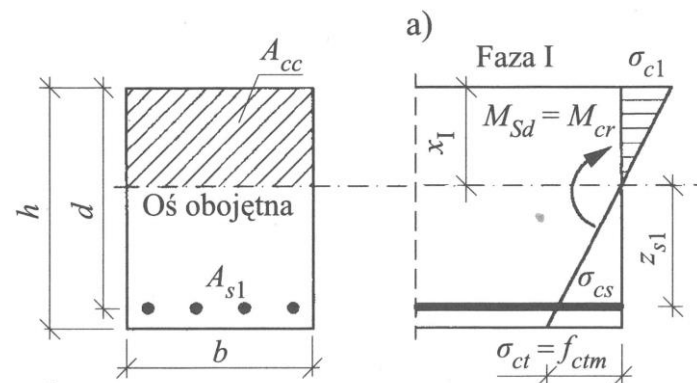
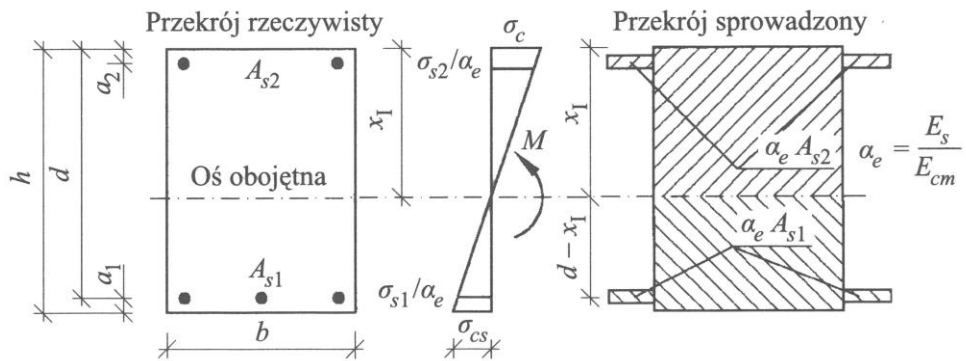
$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Kombinacja quasi-stała stosowana jest zwykle dla oceny efektów długotrwałych i wyglądu konstrukcji.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Tablica A 1.1 – Zalecane wartości współczynników ψ dla budynków

Oddziaływania	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Obciążenie zmienne w budynkach, kategoria (patrz EN 1991-1-1)			
Kategoria A: powierzchnie mieszkalne	0,7	0,5	0,3
Kategoria B: powierzchnie biurowe	0,7	0,5	0,3
Kategoria C: miejsca zebrań	0,7	0,7	0,6
Kategoria D: powierzchnie handlowe	0,7	0,7	0,6
Kategoria E: powierzchnie magazynowe	1,0	0,9	0,8
Kategoria F: powierzchnie ruchu pojazdów pojazdy ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Kategoria G: powierzchnie ruchu pojazdów $30 \text{ kN} < \text{ciężar pojazdu} \leq 160 \text{ kN}$	0,7	0,5	0,3
Kategoria H: dachy	0	0	0,0
Obciążenie budynków śniegiem (patrz EN 1991-1-3) *)			
Finlandia, Islandia, Norwegia, Szwecja	0,70	0,50	0,20
Pozostałe kraje CEN, miejscowości położone na wysokości $H > 1000$ m ponad poziom morza	0,70	0,50	0,20
Pozostałe kraje CEN, miejscowości położone na wysokości $H \leq 1000$ m ponad poziom morza	0,50	0,20	0,20
Obciążenie wiatrem (patrz EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Temperatura (nie pożarowa) w budynku (patrz EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
<p>UWAGA: Wartości ψ mogą być określone w załączniku krajowym</p> <p>*) Dotyczy krajów nie wymienionych poniżej – patrz miarodajne warunki miejscowe.</p>			

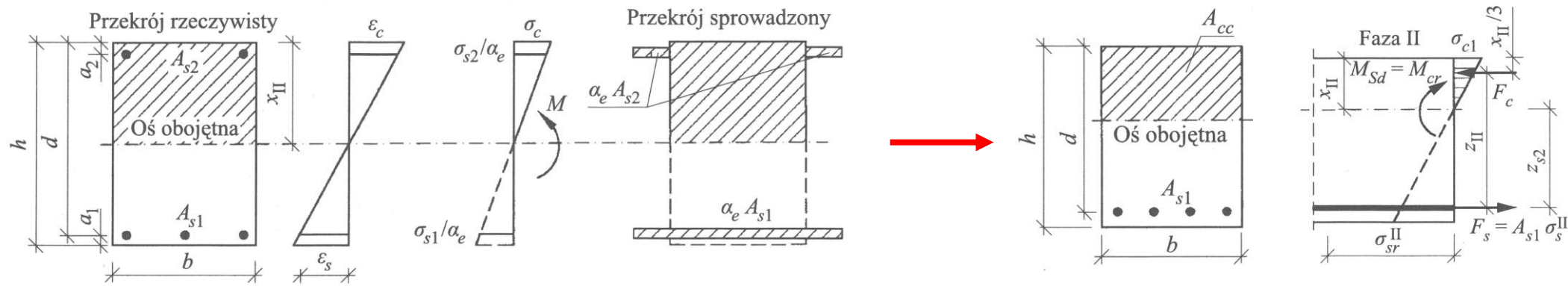


$$x_I = \frac{0,5bh^2 + \alpha_e(A_{s1}d + A_{s2}a_2)}{bh + \alpha_e(A_{s1} + A_{s2})}$$

$$J_I = \frac{1}{12}bh^3 + bh \left(x_I - \frac{h}{2} \right)^2 + \alpha_e A_{s2}(x_I - a_2)^2 + \alpha_e A_{s1}(d - x_I)^2$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}}$$

$$\alpha_{e,t} = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{E_s}{E_{cm}}(1 + \phi_{\infty,t_0})$$



$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{bd}, \quad \rho_2 = \frac{A_{s2}}{bd}$$

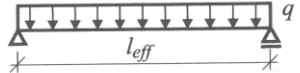
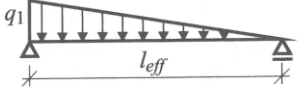
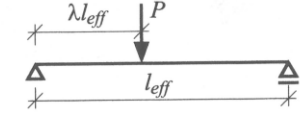
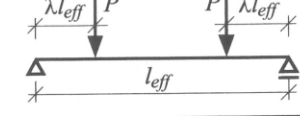
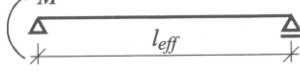
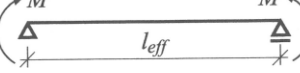
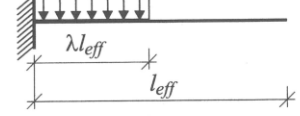
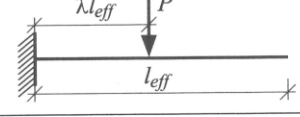
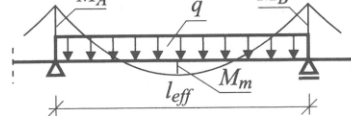
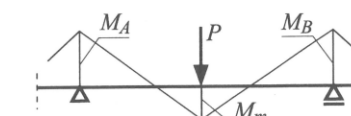
$$x_{II} = d \left[\sqrt{\alpha_e^2 (\rho_1 + \rho_2)^2 + 2\alpha_e \left(\rho_1 + \frac{a_2}{d} \rho_2 \right)} - \alpha_e (\rho_1 + \rho_2) \right]$$

$$J_{II} = \frac{bx_{II}^3}{3} + \alpha_e \rho_1 bd (d - x_{II})^2 + \alpha_e \rho_2 bd (x_{II} - a_2)^2$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}}$$

$$\alpha_{e,t} = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{E_s}{E_{cm}} (1 + \phi_{\infty, t_0})$$

$$a_n = \alpha_k \frac{M_{ed} l_{eff}^2}{B}$$

Układ obciążenia i schemat statyczny elementu	Współczynnik α_k
	$\frac{5}{48}$
	0,102
	$\frac{3 - 4\lambda^2}{48(1 - \lambda)}$ dla $\lambda = 0,5$ $\alpha_k = 1/12$
	$\frac{1}{8} - \frac{\lambda^2}{6}$
	0,0625
	$\frac{1}{8}$
	$\frac{\lambda(4 - \lambda)}{12}$ dla $\lambda = 1$ $\alpha_k = 1/4$
	$\frac{\lambda(3 - \lambda)}{6}$ dla $\lambda = 1$ $\alpha_k = 1/3$
	$\frac{5}{48} \left(1 - \frac{M_A + M_B}{10M_m} \right)$
	$\frac{1}{12} \left(1 - \frac{M_A + M_B}{10M_m} \right)$

Przekrój w I fazie

$$a_I = \alpha_k \frac{M_{ed} l_{eff}^2}{B}$$

— przy obciążeniach krótkotrwałych

$$B_0 = E_{cm} J_I \longrightarrow J_I \longrightarrow \alpha_e$$

— przy obciążeniach długotrwałych

$$B_\infty = E_{c,eff} J_I \longrightarrow J_I \longrightarrow \alpha_{et}$$

Przekrój w II fazie

$$a_{II} = \alpha_k \frac{M_{ed} l_{eff}^2}{B}$$

Obciążenie długotrwałe

$$B_{\infty} = \frac{E_{c,eff} J_{II}}{1 - \beta \left(\frac{M_{cr}}{M_{Ed}} \right)^2 \left(1 - \frac{J_{II}}{J_I} \right)}$$

Obciążenie krótkotrwałe - B_o

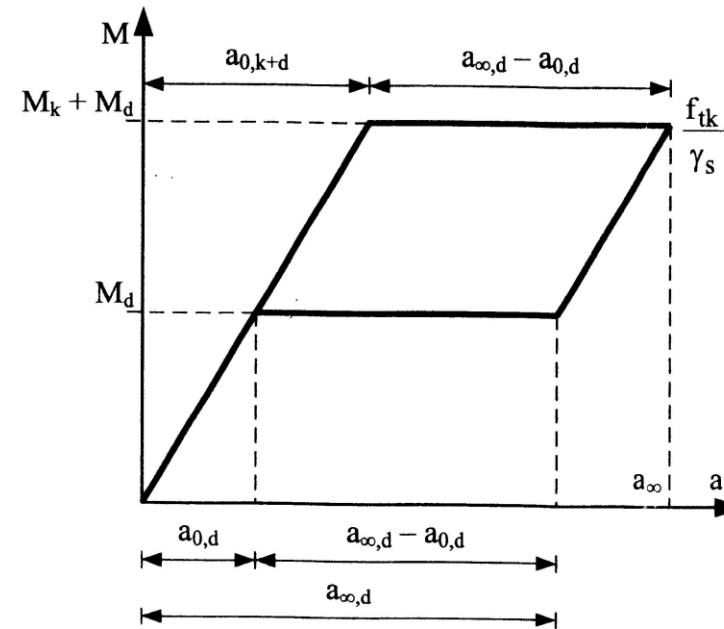
Dla B_o podstawiamy :

$$E_{cm}, J_I, J_{II} \rightarrow \alpha_e$$

$\beta = 1,0$ – dla obciążeń jednokrotnych, krótkotrwałych,
 $\beta = 0,5$ – dla obciążeń długotrwałych lub wielokrotnie

(PN 03264)

$$a = a_{0,k+d} - a_{0,d} + a_{\infty,d}$$



$a_{0,k+d}$ – ugięcie, które powstałoby natychmiast po jednoczesnym przyłożeniu obciążeń krótko- i długotrwałych ← sztywność B_0

$a_{0,d}$ – ugięcie, które powstałoby natychmiast po przyłożeniu obciążeń długotrwałych ← sztywność B_0

$a_{\infty,d}$ – ugięcie długotrwałe, wywołane obciążeniami długotrwałymi ← sztywność B_{∞}

Uwaga !!! Wzór na sztywność B zależy od fazy pracy przekroju

(PN 03264)

Ugięcie w I fazie

$$a = a_{0,k+d} - a_{0,d} + a_{\infty,d} \leq a_{\text{lim}}$$

$$a_{0,k+d} = \alpha_k \cdot \frac{M_{\text{Ed},k+d} \cdot L_{\text{eff}}^2}{B_{0,\text{I}}}; \quad a_{0,d} = \alpha_k \cdot \frac{M_{\text{Ed},d} \cdot L_{\text{eff}}^2}{B_{0,\text{I}}}; \quad a_{\infty,d} = \alpha_k \cdot \frac{M_{\text{Ed},d} \cdot L_{\text{eff}}^2}{B_{t,\text{I}}}$$

Ugięcie w II fazie

$$a = a_{0,k+d} - a_{0,d} + a_{\infty,d} \leq a_{\text{lim}}$$

$$a_{0,k+d} = \alpha_k \cdot \frac{M_{\text{Ed},k+d} \cdot L_{\text{eff}}^2}{B_{0,\text{II}}}; \quad a_{0,d} = \alpha_k \cdot \frac{M_{\text{Ed},d} \cdot L_{\text{eff}}^2}{B_{0,\text{II}}}; \quad a_{\infty,d} = \alpha_k \cdot \frac{M_{\text{Ed},d} \cdot L_{\text{eff}}^2}{B_{t,\text{II}}}$$