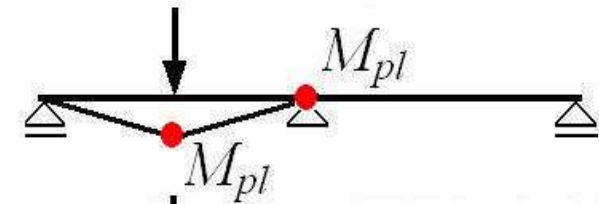
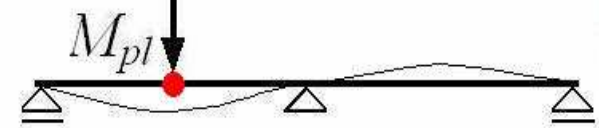


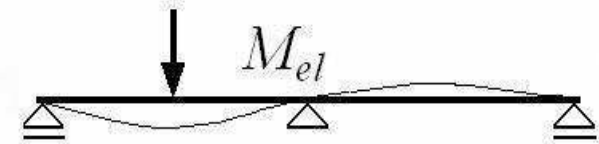
klasa 1



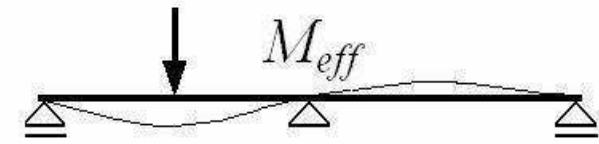
klasa 2



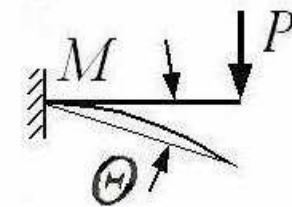
klasa 3



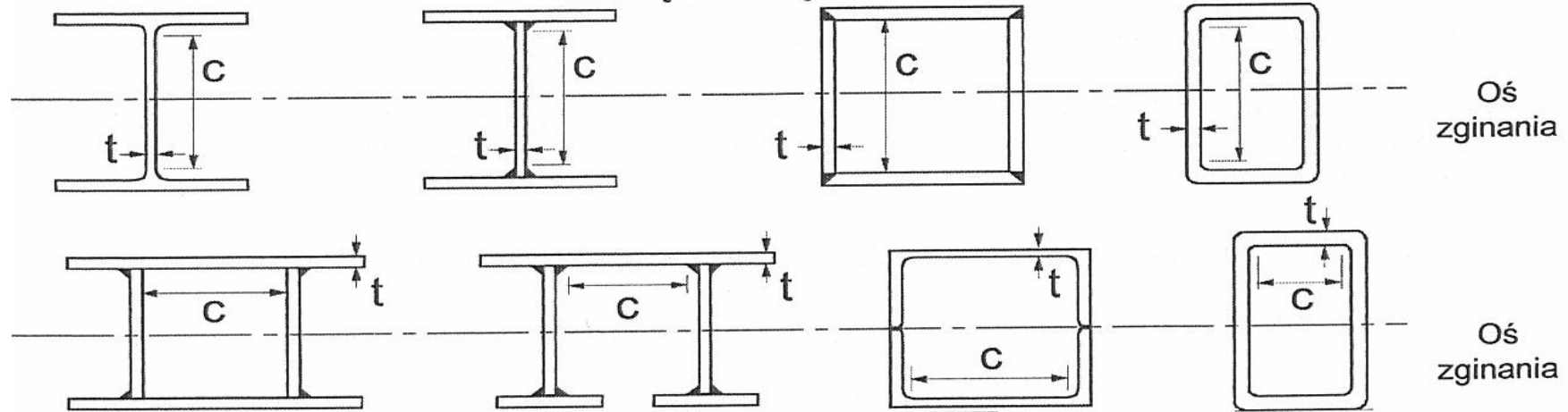
klasa 4



● - przegub plastyczny

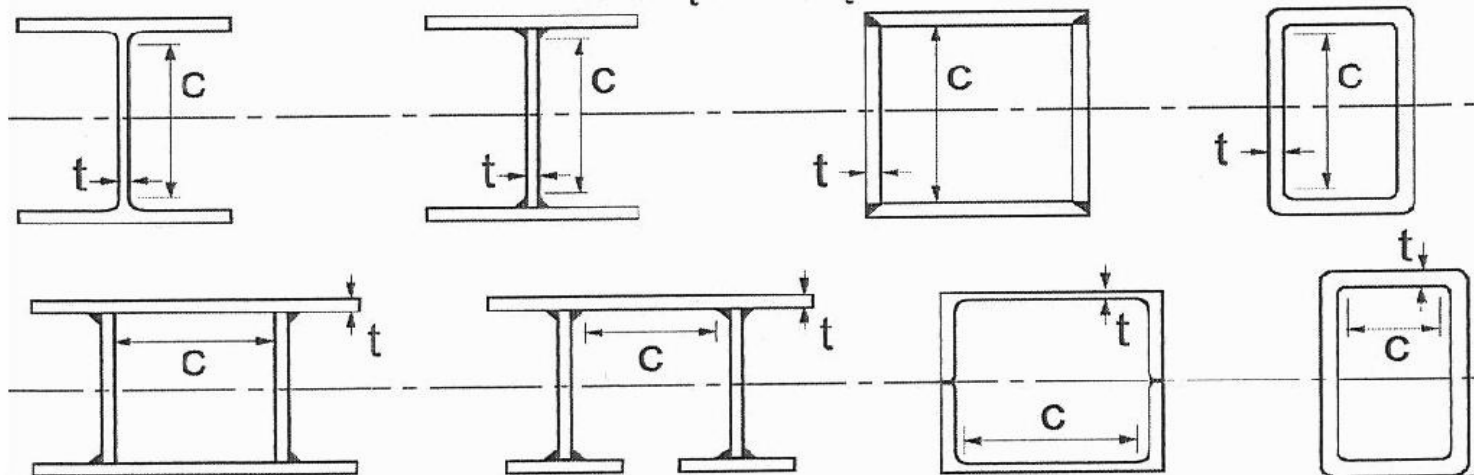


Wewnętrzne części ściskane



Klasa	Część zginana	Część ściskana	Część zginana i ściskana
Rozkład naprężeń w części (ściskanie – dodatnie)			
1	$c / t \leq 72\varepsilon$	$c / t \leq 33\varepsilon$	gdy $\alpha > 0,5 : c / t \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$ gdy $\alpha \leq 0,5 : c / t \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$
2	$c / t \leq 83\varepsilon$	$c / t \leq 38\varepsilon$	gdy $\alpha > 0,5 : c / t \leq \frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1}$ gdy $\alpha \leq 0,5 : c / t \leq \frac{41,5\varepsilon}{\alpha}$

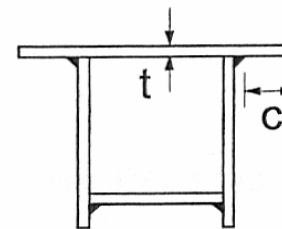
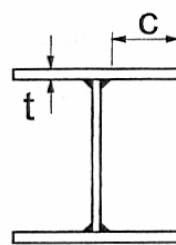
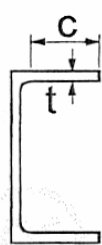
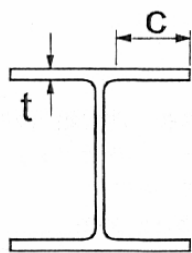
Wewnętrzne części ściskane



Klasa	Część zginana	Część ściskana	Część zginana i ściskana
Rozkład naprężeń w części (ściskanie – dodatnie)			
3	$c/t \leq 124\varepsilon$	$c/t \leq 42$	gdy $\psi > -1$: $c/t \leq \frac{42\varepsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ gdy $\psi \leq -1^{*)}$: $c/t \leq 62\varepsilon(1 - \psi)\sqrt{-\psi}$

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$$

f_y	235	275	355	420	460
ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

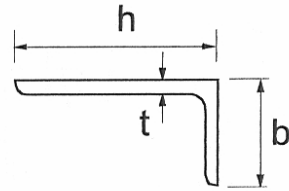


Kształtowniki walcowane

Kształtowniki spawane

Klasa	Część ściskana	Część zginana i ściskana				
		Brzeg ściskany	Brzeg rozciągany			
Rozkład naprężeń w części (ściskanie – dodatnie)						
1	$c/t \leq 9\varepsilon$	$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
2	$c/t \leq 10\varepsilon$	$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
Rozkład naprężeń w części (ściskanie – dodatnie)						
3	$c/t \leq 14\varepsilon$	$c/t \leq 21\varepsilon\sqrt{k_\sigma}$ k_σ – patrz EN 1993-1-5				
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

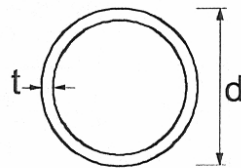
(patrz także arkusz 2)



z wyjątkiem sytuacji, gdy ramiona kątownika mają zapewniony ciągły kontakt z innym elementem

Klasa	Przekrój ściskany
Rozkład naprężeń w przekroju (ściskanie – dodatnie)	
3	$h/t \leq 15\varepsilon : \frac{b+h}{2t} \leq 11,5\varepsilon$

Rury okrągłe



Klasa	Przekrój zginany i/lub ściskany
1	$d/t \leq 50\varepsilon^2$
2	$d/t \leq 70\varepsilon^2$
3	$d/t \leq 90\varepsilon^2$ UWAGA Gdy $d/t \geq 90\varepsilon^2$ patrz EN 1993-1-6.

$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
	ε^2	1,00	0,85	0,66	0,56	0,51

Wartości graniczne ε w EC3 takie same jak PN gdyż

wg PN-90/B-03200

$$\varepsilon_{PN} = (215/f_d)^{0.5}$$

wg PN-EN 1993

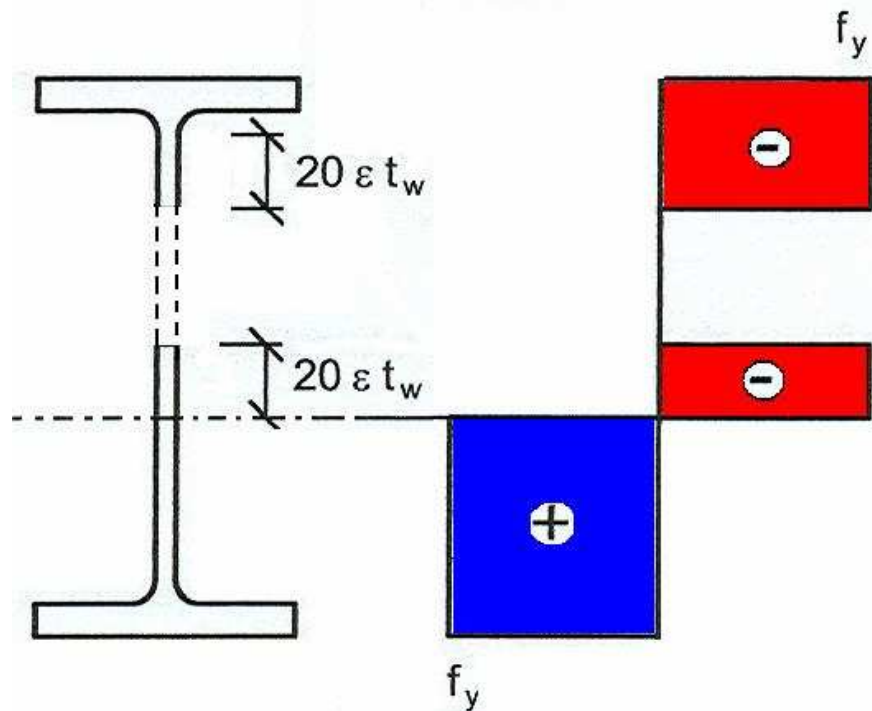
$$\varepsilon_{EN} = (235/f_y)^{0.5}$$

Skutki niestateczności miejscowej przekrojów klasy 4 i związaną z nią redukcją nośności można uwzględnić metoda szerokości współpracującej.

Klasyfikacja przekroju jest uzależniona od stosunku szerokości do grubości tylko tych ścianek, które są ściskane – całkowicie lub częściowo. Różne części przekroju mogą być różnych klas.

Przekrój jest klasyfikowany **wedle najwyższej klasy** jego ścianki ściskanej.

Przekroje ze środnikiem klasy 3 i pasami klasy 1 lub 2 można klasyfikować jako przekroje klasy 2 ze środnikiem współpracującym wg procedury podanej w pkt. 6.2.2.4 EC3.



WSPÓŁCZYNNIKI CZĘŚCIOWE γ_M W KRYTERIACH NOŚNOŚCI

$$R = \chi C f_y / \gamma_M$$

KRYTERIA NOŚNOŚCI	WSPÓŁCZYNNIK CZĘŚCIOWY γ_M	WYTRZYMAŁOŚĆ OBLICZENIOWA
NOŚNOŚĆ PRZEKROJU POPRZECZNEGO	γ_{M0}	f_y / γ_{M0}
STATECZNOŚĆ ELEMENTU	γ_{M1}	f_y / γ_{M1}
NOŚNOŚĆ PRZEKROJU NETTO	γ_{M2}	f_u / γ_{M2}

Wartości zalecane w przypadku budynków*

$$\gamma_{M0} = \gamma_{M1} = \gamma_M = 1,00 \quad \text{oraz} \quad \gamma_{M2} = \min [1.1; 0.9f_u/f_y]$$

STANY GRANICZNA NOŚNOŚCI

Nośność przekroju poprzecznego niezależnie od klasy

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

Nośność elementów w ocenie nośności

$$\gamma_{M1} = 1,00$$

Nośność na rozerwanie przekrojów w otworami

$$\gamma_{M2} = \min [1.1; 0.9f_u/f_y]$$

Nośność węzłów wg PN-EN 1993-1-8 (np. $\gamma_{M2} = 1,25$)

CECHY PRZEKROJU

Przekrój brutto – wyznacza się na podstawie wymiarów nominalnych (bez otworów)

Przekrój netto – wyznacza się na podstawie wymiarów nominalnych przez odpowiednie potrąceniem z przekroju brutto wszelkich otworów.

Przekrój efektywny – wyznacza się na podstawie szerokości „współpracujących” jego części ściskanych ścianek przekroju według **EN-1993-1-5**

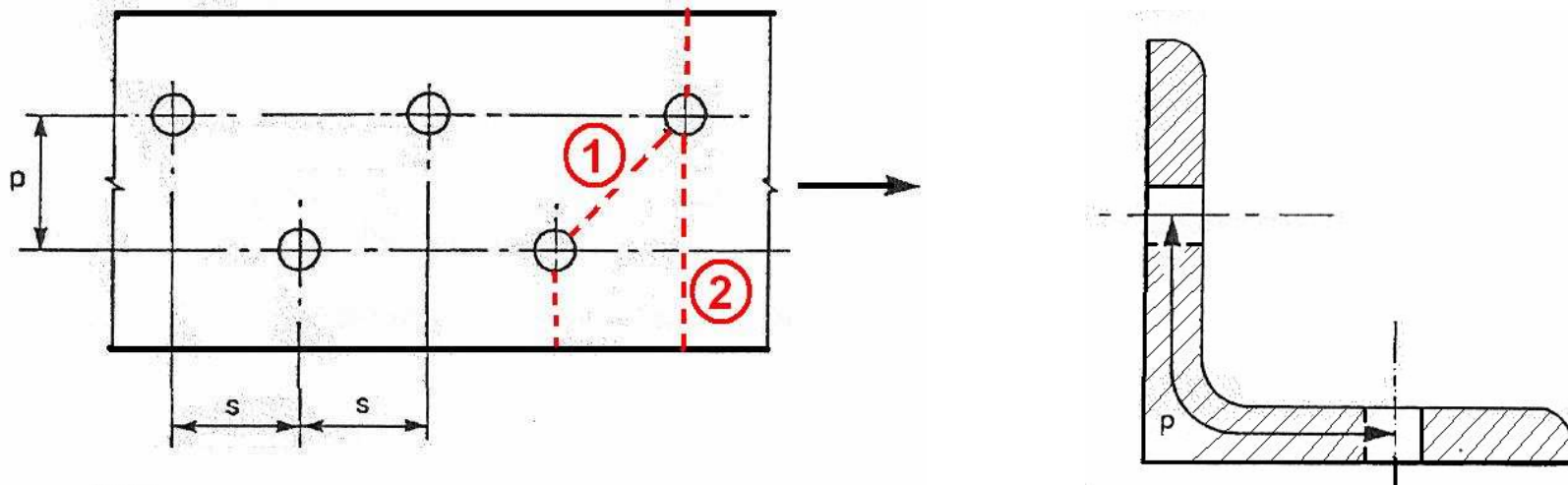
CECHY PRZEKROJU NETTO

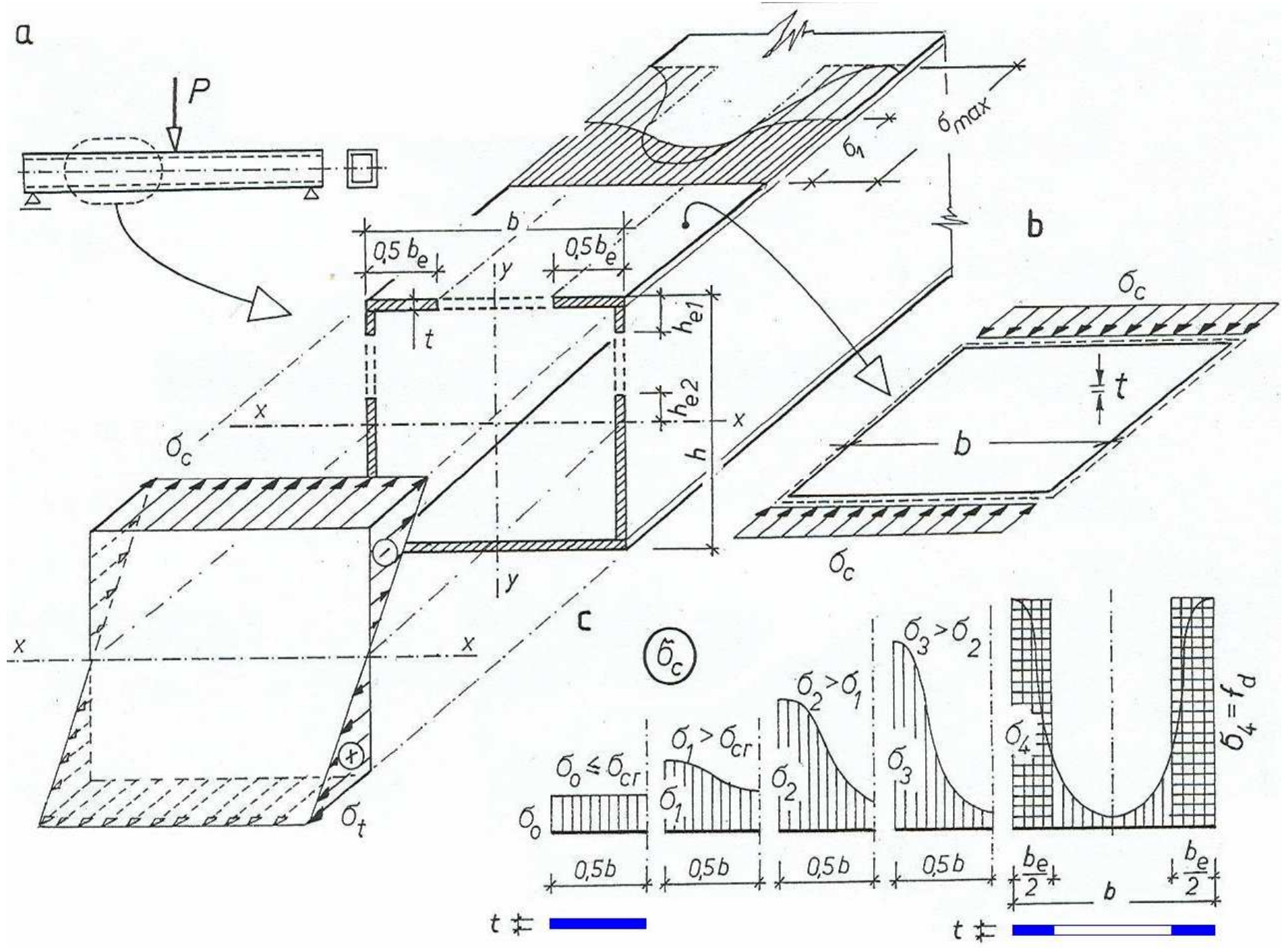
(3) W przypadku otworów nieprzestawionych sumaryczne pole przekroju po potrąceniu otworów definiuje się jako sumę pól występujących w dowolnym przekroju poprzecznym, prostopadłym do osi elementu (płaszczyzna zniszczenia 2). Maksymalna suma wyznacza położenie linii krytycznej ze względu na rozerwanie przekroju.

(4) W przypadku otworów przestawionych jako sumaryczne pole przekroju do potrącenia przyjmuje się większa z wartości:

a) według - (3)

b) $t\{nd_0 - \Sigma 0.25 s^2 / p\}$





Zmodyfikowany wzór Wintera na szerokość efektywną ścianki

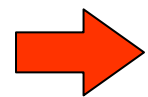
$$\frac{b_e}{b} = \sqrt{\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_{max}}} \left(1 - 0,22 \sqrt{\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_{max}}} \right) \quad \longrightarrow \quad \rho = \left(1 - 0,22 / \bar{\lambda}_p \right) / \bar{\lambda}_p$$



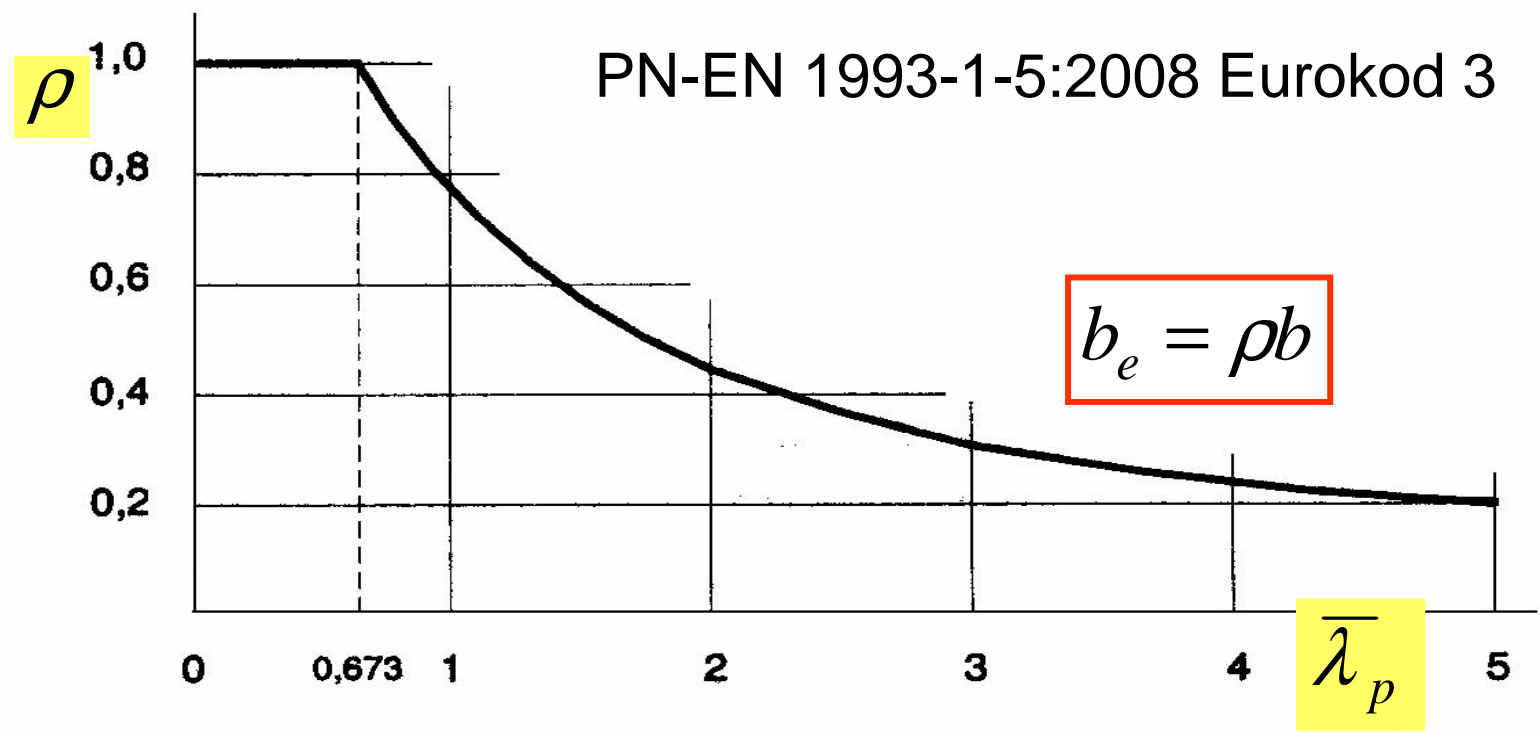
$$\rho = \frac{b_e}{b}$$



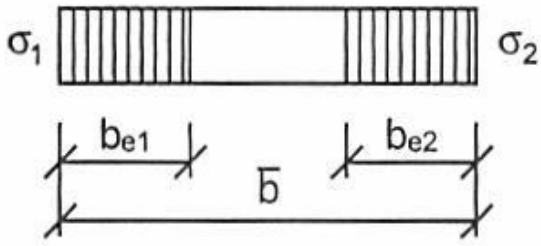
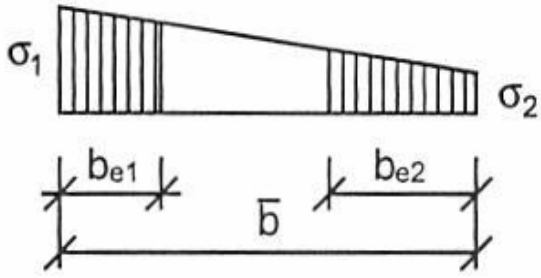
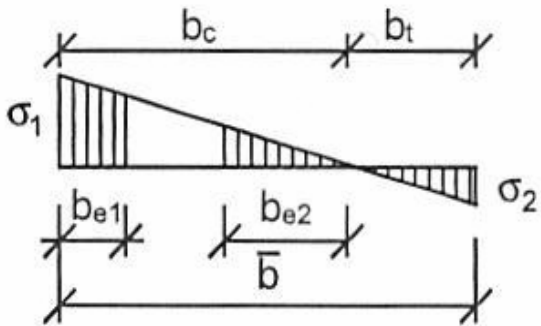
$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{\sigma_{max}}{\sigma_{cr}}}$$



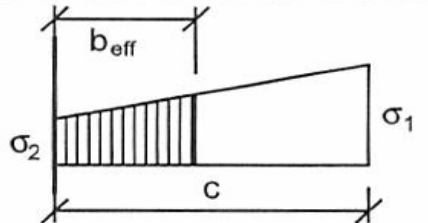
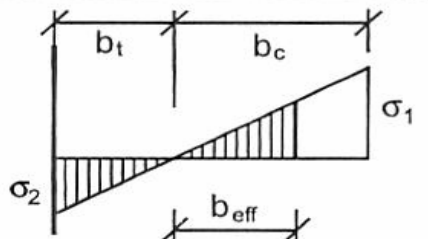
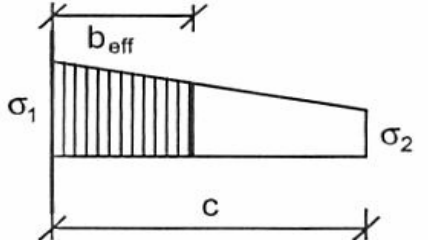
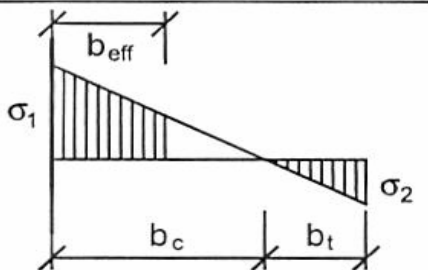
$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}}$$



Ścianki podparte obustronnie

ROZKŁAD NAPRĘŻEŃ				SZEROKOŚĆ EFEKTYWNA b_{eff}		
				$\psi = 1:$ $b_{eff} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = 0,5 b_{eff} \quad b_{e2} = 0,5 b_{eff}$		
				$1 > \psi \geq 0:$ $b_{eff} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = \frac{2}{5 - \psi} b_{eff} \quad b_{e2} = b_{eff} - b_{e1}$		
				$\psi < 0:$ $b_{eff} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi)$ $b_{e1} = 0,4 b_{eff} \quad b_{e2} = 0,6 b_{eff}$		
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -2$
k_σ	4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$	23,9	$5,98 (1 - \psi)^2$

ŚCIANKI PODPARTE JEDNOSTRONNIE

ROZKŁAD NAPRĘŻEŃ		SZEROKOŚĆ EFEKTYWNA b_{eff}			
		$1 > \psi \geq 0:$ $b_{eff} = \rho c$			
		$\psi < 0:$ $b_{eff} = \rho b_c = \rho c / (1 - \psi)$			
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	0	-1	$1 \geq \psi \geq -3$	
Buckling factor k_σ	0,43	0,57	0,85	$0,57 - 0,21\psi + 0,07\psi^2$	
		$1 > \psi \geq 0:$ $b_{eff} = \rho c$			
		$\psi < 0:$ $b_{eff} = \rho b_c = \rho c / (1 - \psi)$			
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1
Buckling factor k_σ	0,43	$0,578 / (\psi + 0,34)$	1,70	$1,7 - 5\psi + 17,1\psi^2$	23,8

R O Z C I A Ğ A N I E

Warunek nośności przekroju rozciąganego siłą N_{Ed}

$$N_{Ed} / N_{t,Rd} \leq 1.0$$

Obliczeniową nośność przekroju $N_{t,Rd}$ oblicza się:

- w przypadku przekrojów brutto – jako nośność plastyczną

$$N_{t,Rd} = A f_y / \gamma_{M0}$$

- w przypadku przekrojów netto z otworami na łączniki – jako obliczeniową nośność graniczną

$$N_{t,Rd} = 0.9 A_{net} f_u / \gamma_{M2} \quad \gamma_{M2} = 1.25$$

W przypadku połączeń kategorii C obliczeniową nośność przekroju na rozciąganie przyjmuje się równą

$$N_{t,Rd} = A_{net} f_y / \gamma_{M0}$$

ŚCISKANIE

Warunek nośności przekroju ściskanego siłą podłużną N_{Ed}

$$\boxed{N_{Ed} / N_{c,Rd} \leq 1.0}$$

Obliczeniową nośność przekroju $N_{t,Rd}$ oblicza się:

- w przypadku przekrojów klasy 1, 2 i 3

$$N_{c,Rd} = A f_y / \gamma_{M0}$$

- w przypadku przekrojów klasy 4

$$N_{c,Rd} = A_{\text{eff}} f_y / \gamma_{M0}$$

Nie uwzględnia się w obliczeniach otworów zwykłych (w odróżnieniu od powiększonych i owalnych) jeśli mają wypełnienie łącznikami.

ZGINANIE

Warunek nośności przekroju zginanego momentem M_{Ed}

$$\mathbf{M_{Ed} / M_{c,Rd} \leq 1.0}$$

Obliczeniową nośność przekroju zginanego oblicza się:

- w przypadku przekrojów klasy 1 i 2

$$\mathbf{M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl} f_y / \gamma_{M0}}$$

- w przypadku przekrojów klasy 3

$$\mathbf{M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = W_{el,min} f_y / \gamma_{M0}}$$

- w przypadku przekroju klasy 4

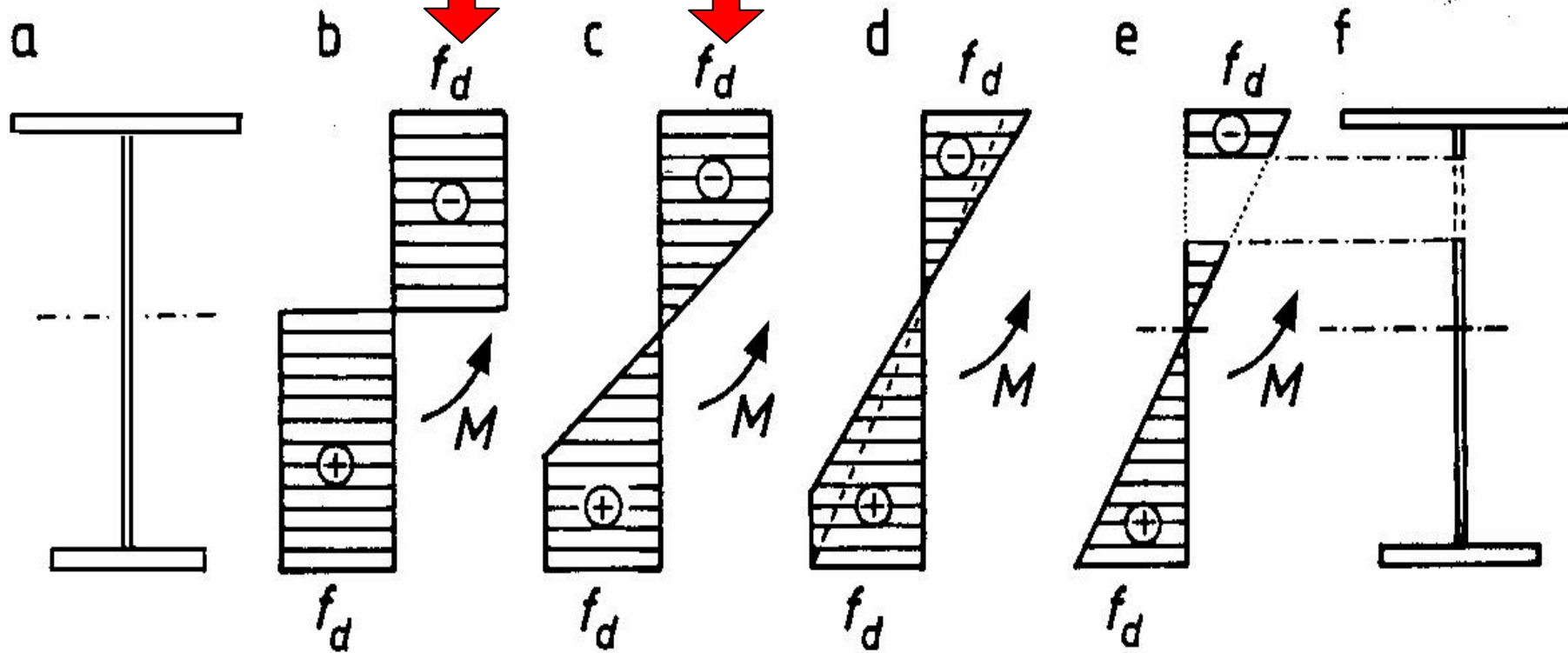
$$\mathbf{M_{c,Rd} = M_{eff,Rd} = W_{eff,min} f_y / \gamma_{M0}}$$

Otwory na łączniki w elementach rozciąganych pomija się, gdy

$$\mathbf{0.9 A_{eff} f_u / \gamma_{M2} > A f_y / \gamma_{M0}}$$

Według PN-EC 1993

Według PN-90/B-03200



przekroje klasy: (1,2)

(3)

(4)

ŚCINANIE

Warunek nośności przekroju ścinanego siłą poprzeczną V_{Ed}

$$V_{Ed} / V_{c,Rd} \leq 1.0$$

Przy braku skręcania obliczeniową nośność plastyczną przekroju oblicza się ze wzoru:

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = 0.577 A_v f_y / \gamma_{M0}$$

Pole przekroju czynne przy ścinaniu A_v można przyjmować:

- dwuteowniki walcowane, ścinane prostopadle do osi y-y

$$A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f$$

- ceowniki walcowane, ścinane prostopadle do osi y-y

$$A_v = A - 2bt_f + (t_w + r)t_f$$

Według **PN-EN 1993-1-5** środniki nie uźebrowane o smukłości $h_w/t > 72\varepsilon/\eta$ oraz uźebrowane o smukłości $h_w/t > 31\varepsilon/\eta \cdot k_\tau^{0.5}$ (gdzie $\varepsilon = (235/f_y)^{0.5}$, $\eta = 1,2$), usztywnia się żebrami poprzecznymi na podporach i **sprawdza się na niestateczność przy ścinaniu**

Nośność obliczeniową przekroju przy ścinaniu blachownicy z żebrami i bez żeber jest określona wzorem

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} \quad (5.1)$$

gdzie:

udział środnika i pasów w nośności obliczeniowej wynosi

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}}$$

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f t_f^2 f_{yf}}{c \gamma_{M1}} \left\{ 1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right\}$$

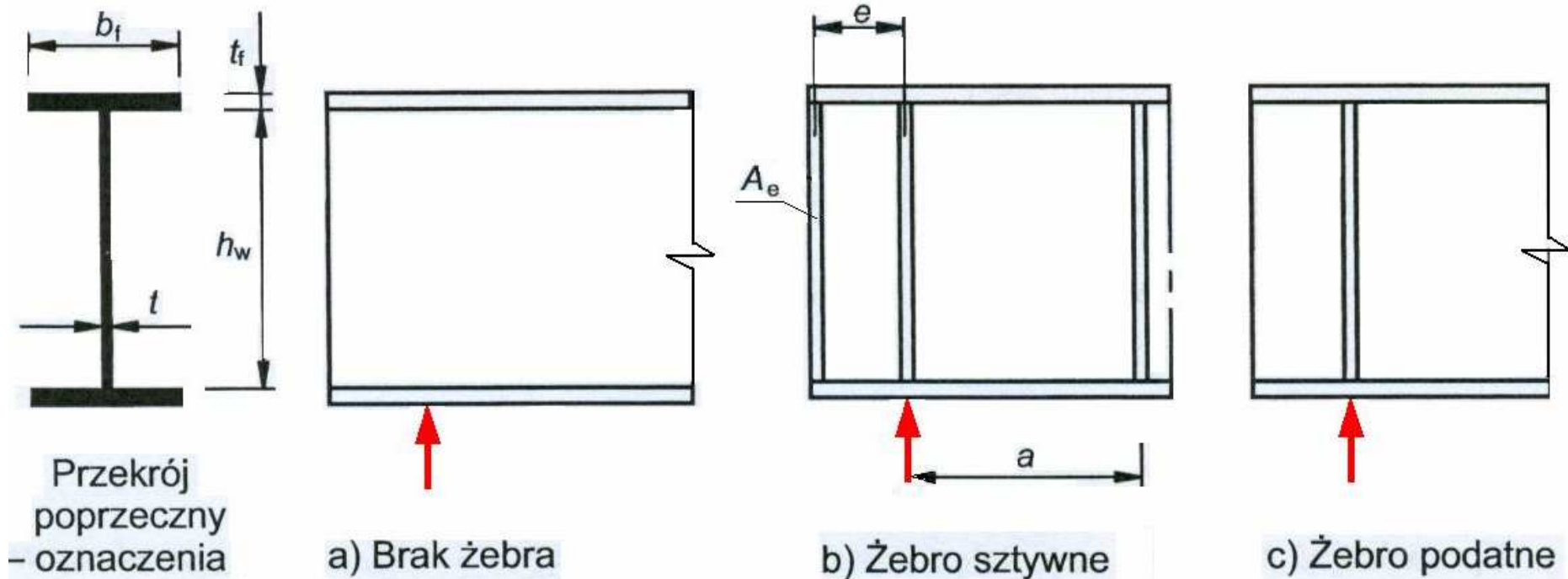
Nośność obliczeniowa środka blachownicy na ścinanie z uwzględnieniem jej niestateczności oblicza się ze wzoru

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} \quad (5.2)$$

Współczynnik redukcyjny χ_w ze względu na niestateczność przy ścinaniu przyjmuje się wg tablicy 5.1



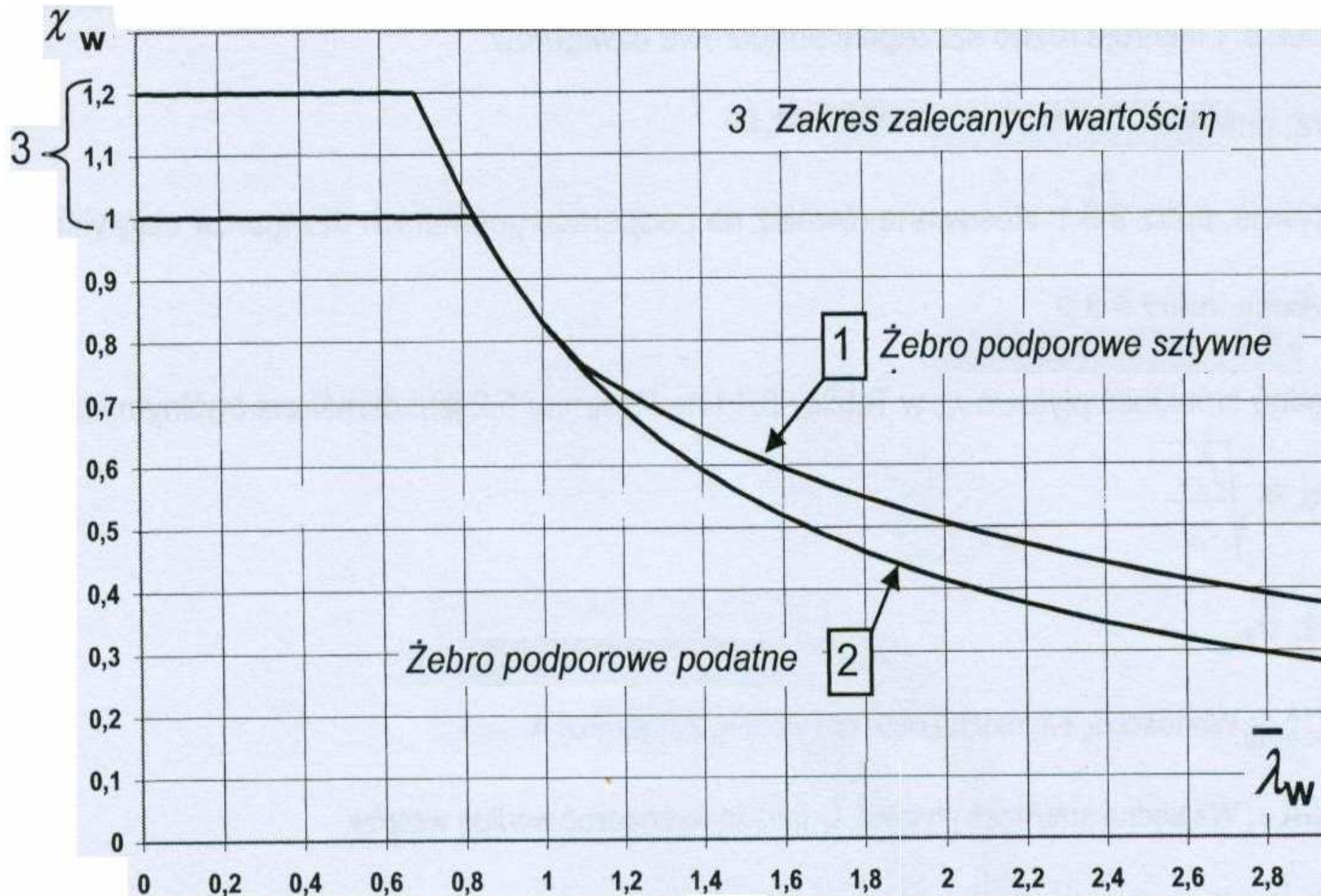
	Żebro podporowe sztywne	Żebro podporowe podatne
$\bar{\lambda}_w < 0,83 / \eta$	η	η
$0,83 / \eta \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$1,37 / (0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$



Względną smukłość płytową $\bar{\lambda}_w$ przy ścinaniu w tabelicy 5.1 i na rys. 5.2 można wyznaczyć według wzorów

$$\bar{\lambda}_w = 0,76 \sqrt{\frac{f_{yw}}{\tau_{cr}}} \quad \text{gdzie} \quad \tau_{cr} = k_\tau \sigma_E$$

według załącznika A



Rys. 5.2. Krzywe niestateczności przy ścinaniu

ZGINANIE ZE ŚCINANIE

Należy brać pod uwagę wpływ siły podłużnej na nośność przekroju przy zginaniu.

Można go pominąć, jeśli nośność przekroju nie ulega redukcji wskutek wyboczenia przy ścinaniu – wg EN 1993-1-5, a siła podłużna nie przekracza 50% nośności plastycznej przekroju przy ścinaniu.

W przeciwnym razie przyjmuje się zredukowaną nośność obliczeniową przekroju, ustaloną przy założeniu, że w polu czynnym przy ścinaniu występuje zredukowana granica plastyczności

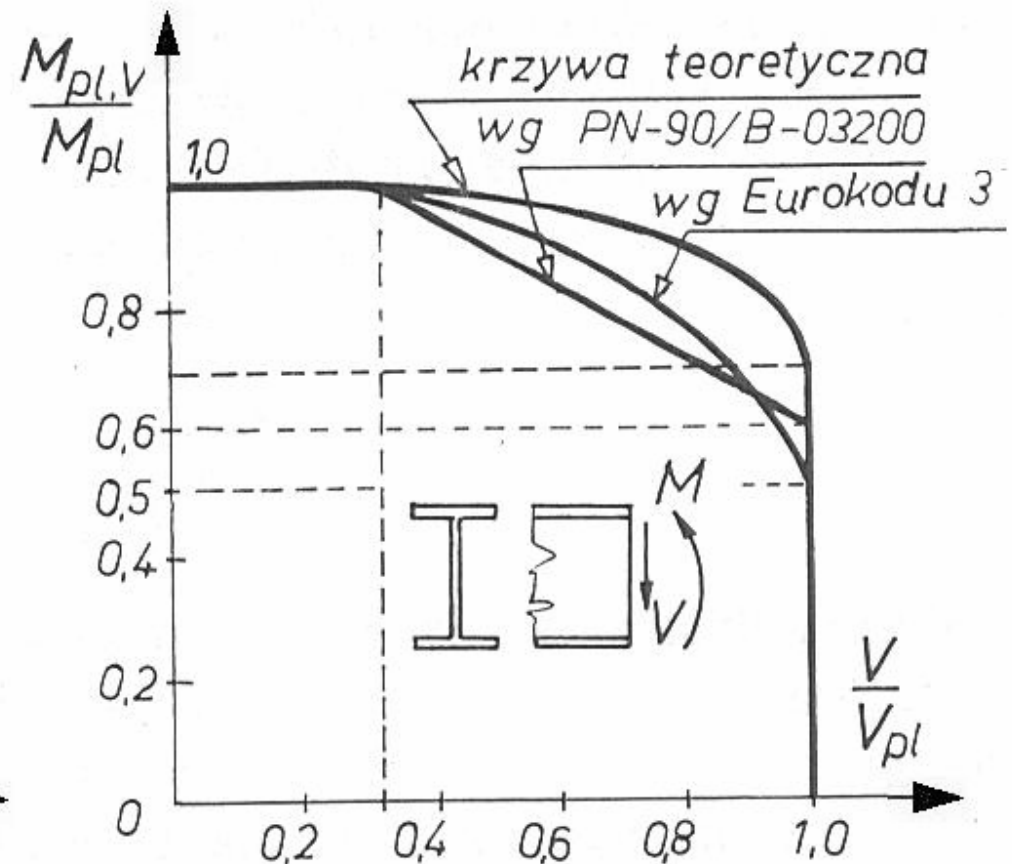
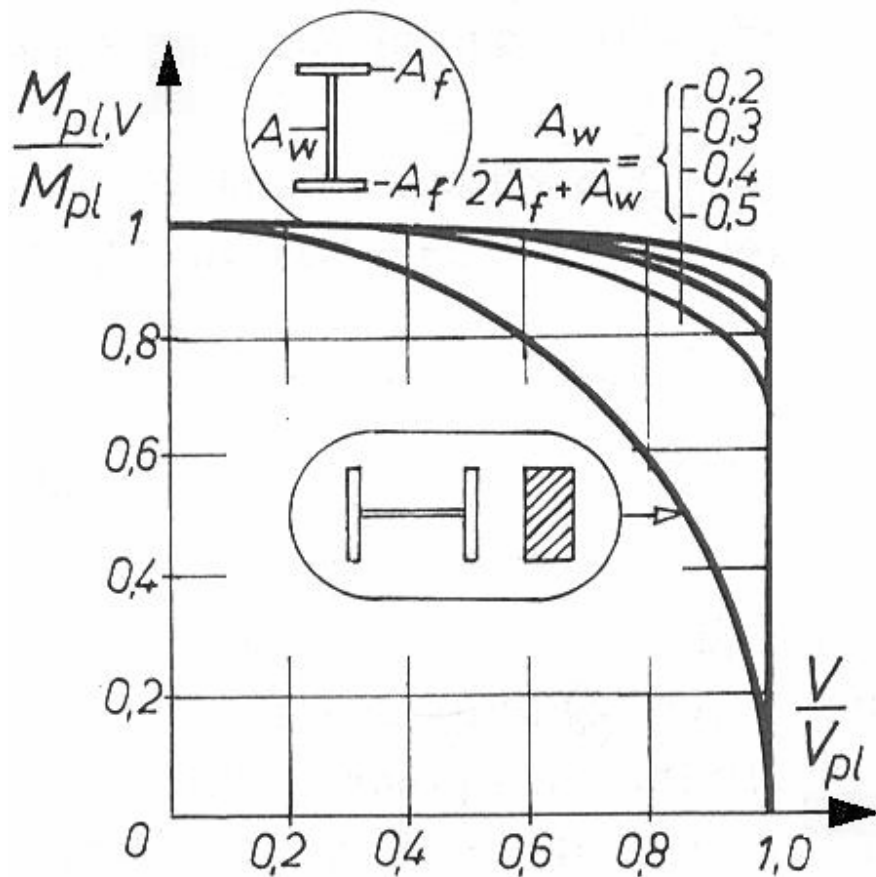
$$(1-\rho) f_y$$

gdzie

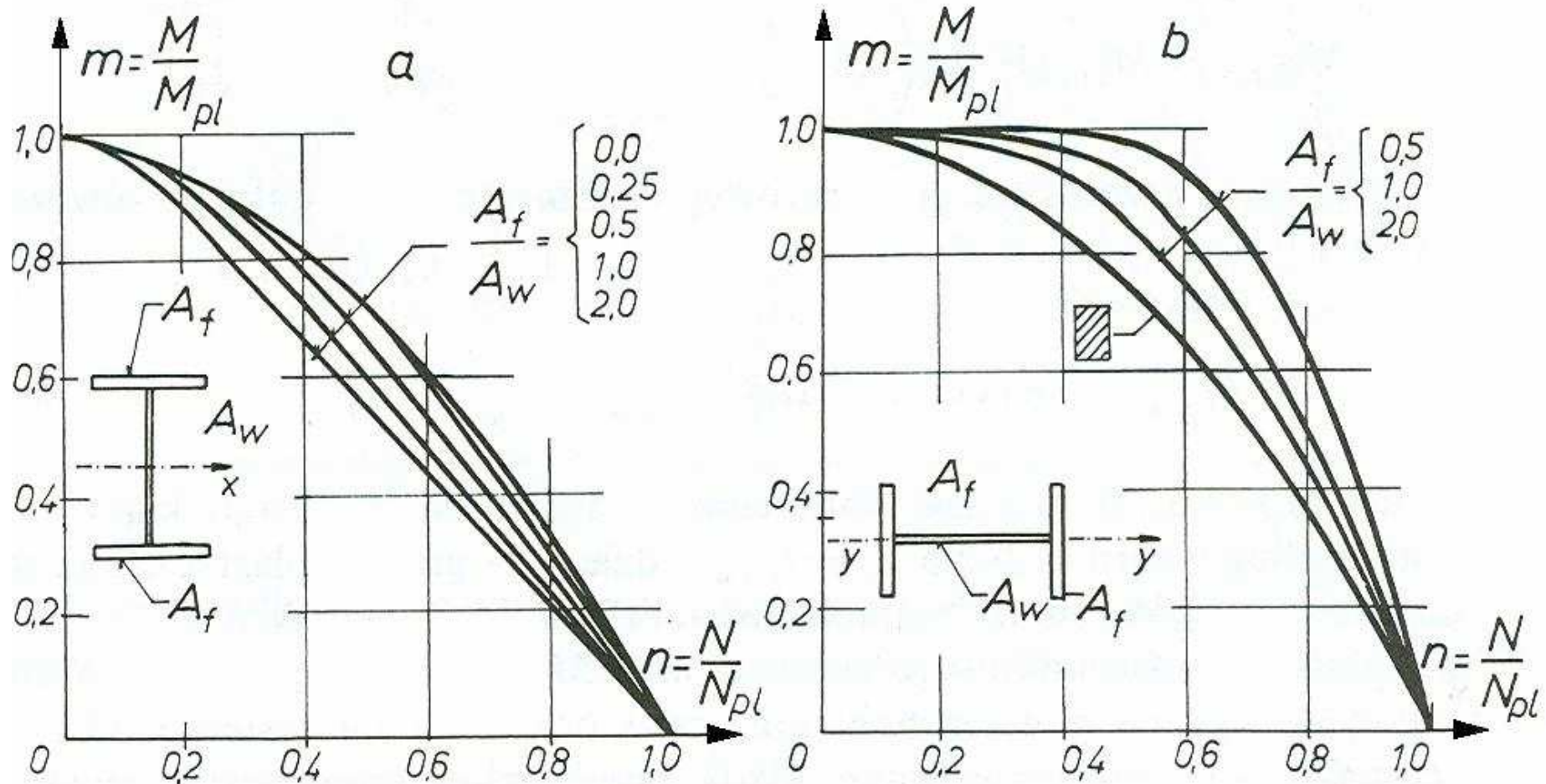
$$\rho = [(2V_{Ed} / V_{pl,Rd}) - 1]^2$$

W przypadku dwuteowników bisemytrycznych, zginanych względem osi największej bezwładności (y-y), zredukowaną nośność plastyczną przekroju przy zginaniu ze ścinaniem można obliczać ze wzoru

$$M_{y,V,Rd} = \{ W_{pl,y} - (\rho A_w^2 / 4t_w) \} f_y / \gamma_{M0}$$



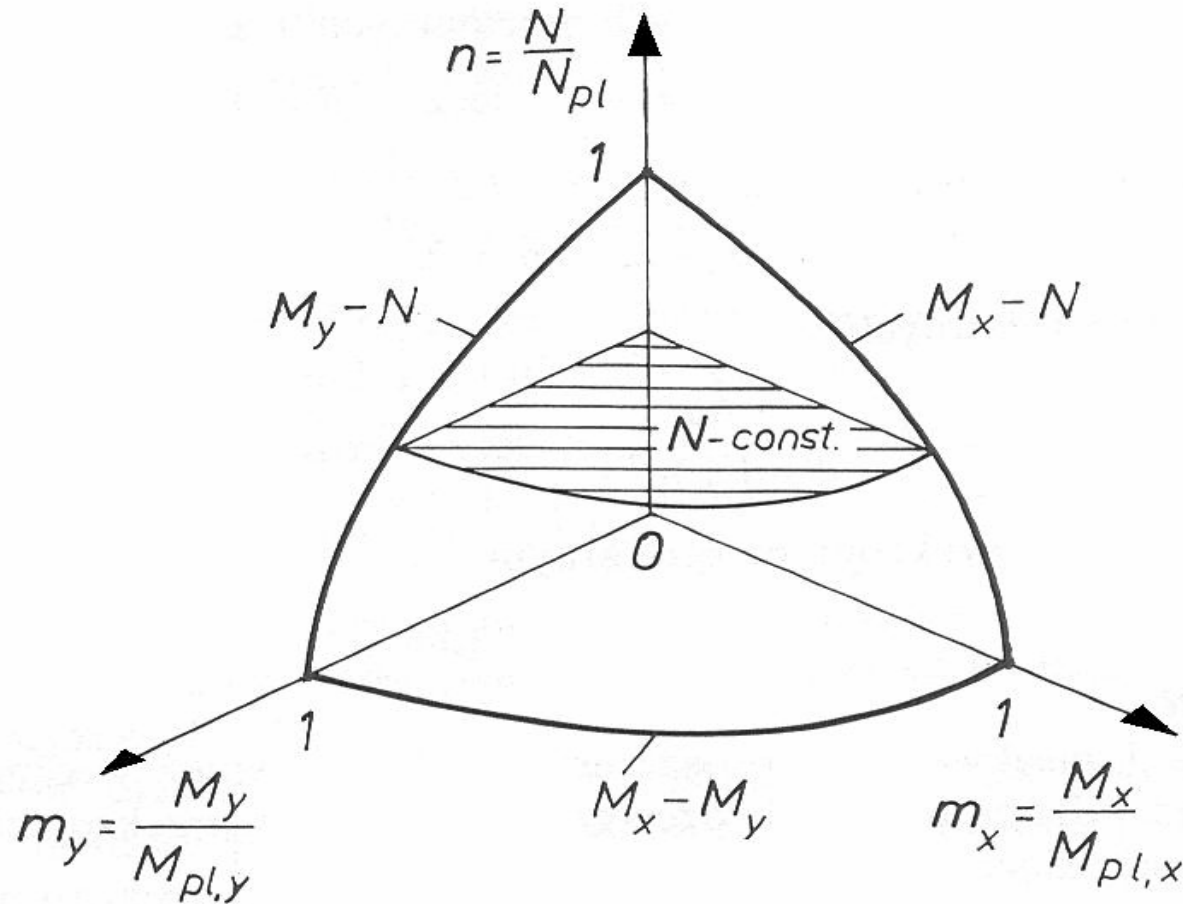
ZGINANIE Z SIŁĄ PODŁUŻNĄ



W pkt 6.2.9 – podano szczegółowe zasady obliczeń nośności M-N

Na przykład - przekroje klasy 1 i 2 $M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} [1 - (N_{Ed}/N_{pl,Rd})^2]$

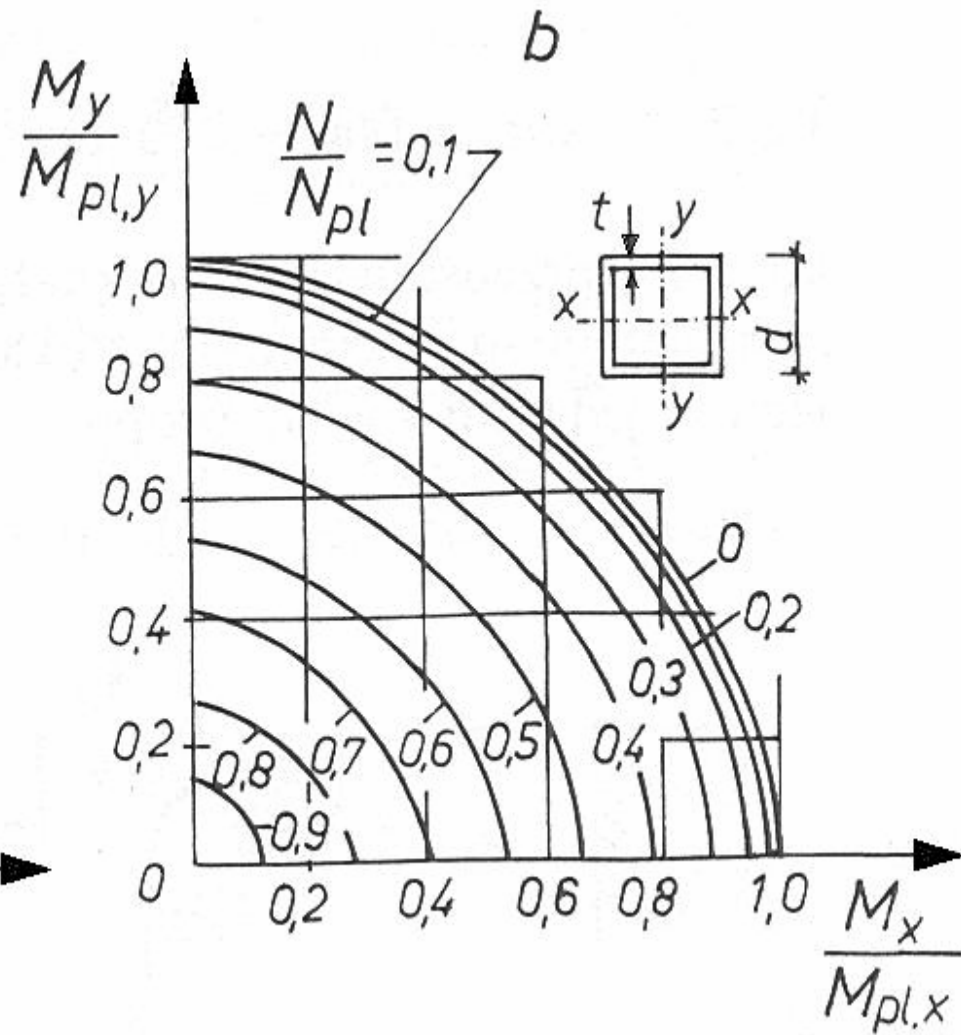
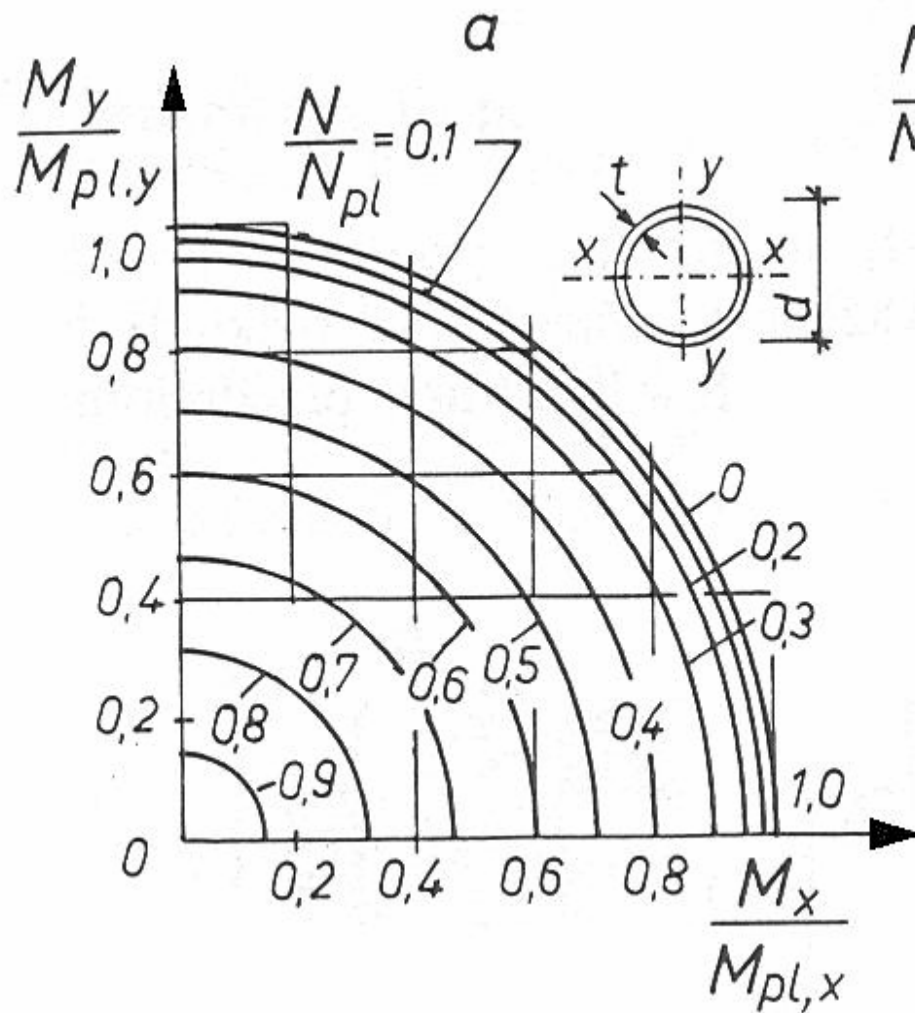
DWUKIERUNKOWE ZGINANIE Z SIŁĄ PODŁUŻNĄ

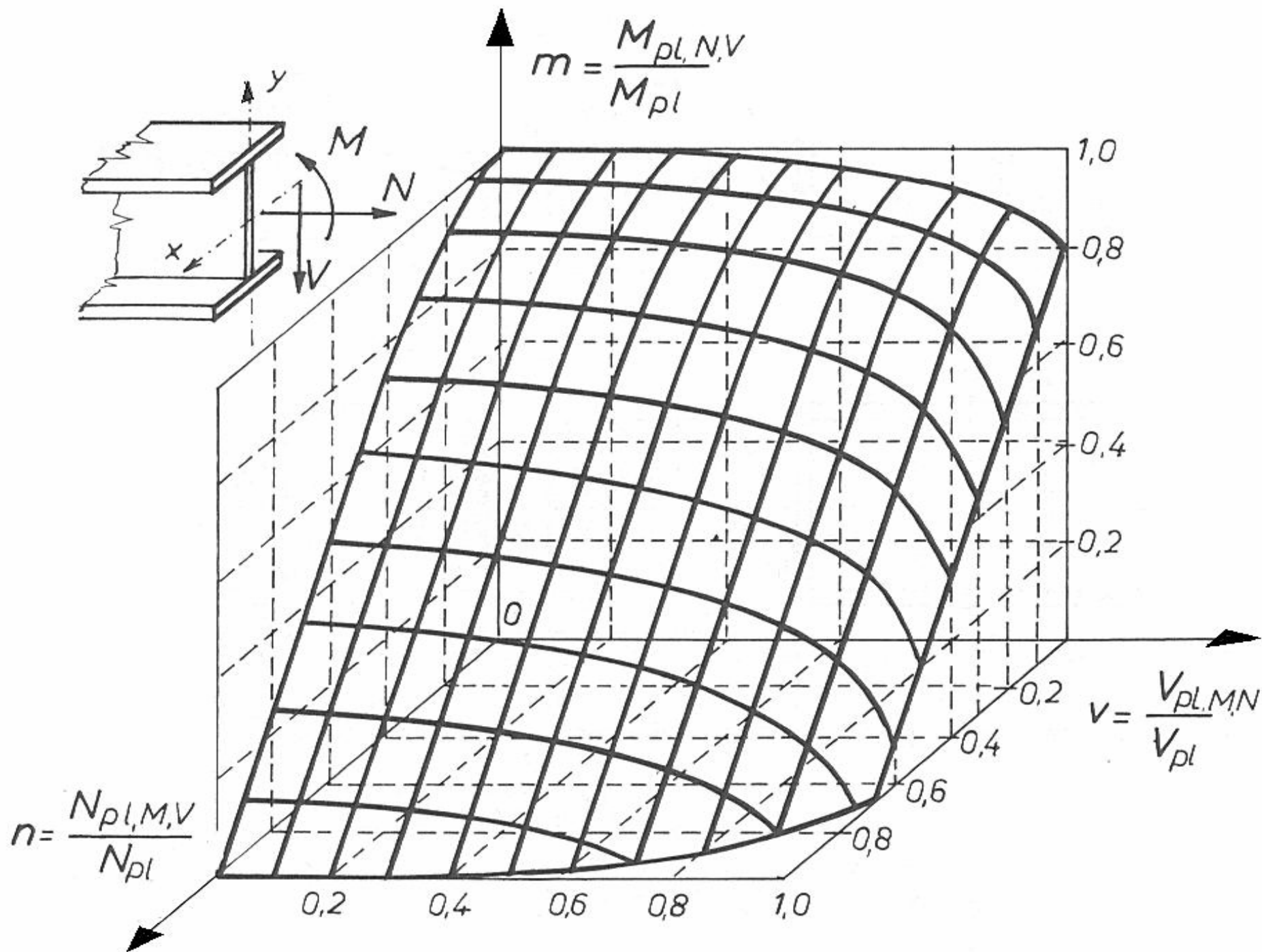


$$[M_{y,Ed} / M_{N,y,Rd}]^\alpha + [M_{z,Ed} / M_{N,z,Rd}]^\beta \leq 1$$

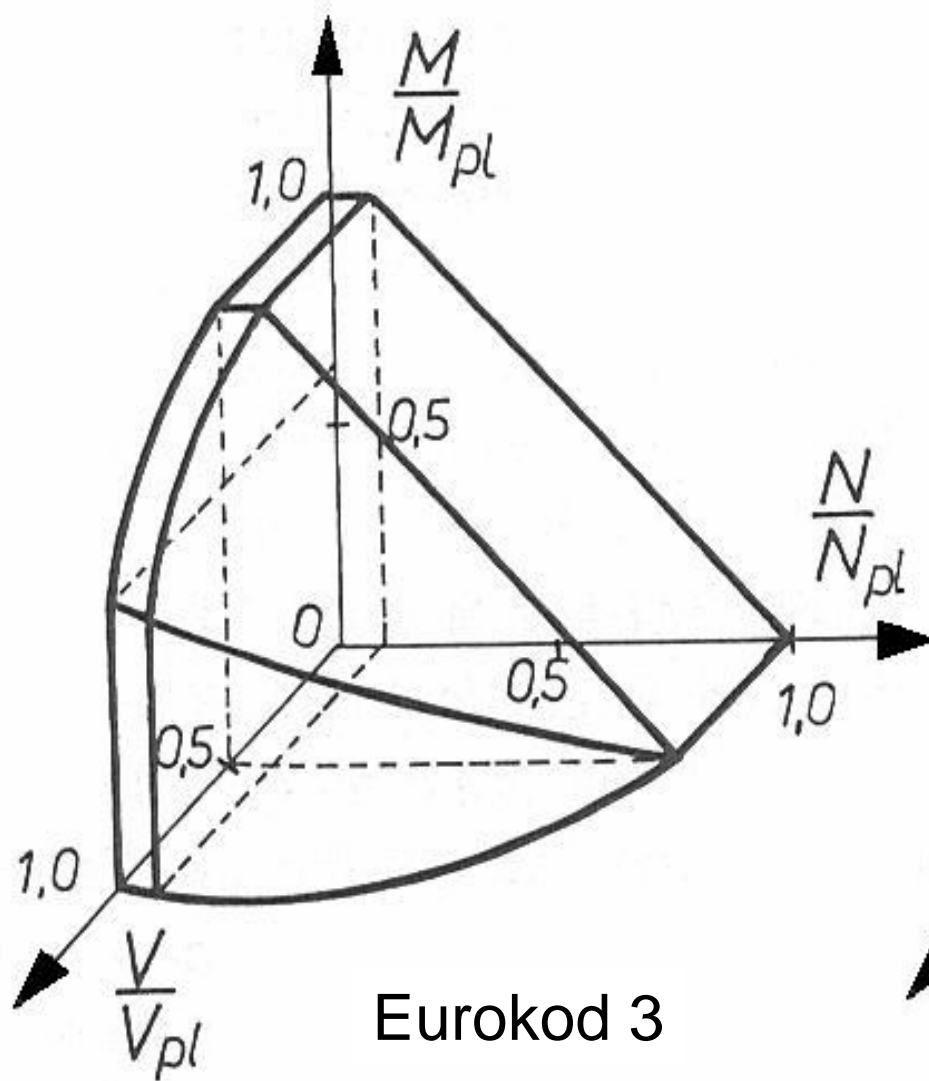
- dwuteowniki bisymetryczne $\alpha = 2$ $\beta = 5n$
- kształtowniki okrągłe rurowe $\alpha = 2$ $\beta = 2$

- kształtowniki okrągłe rurowe $\alpha = 2$ $\beta = 2$

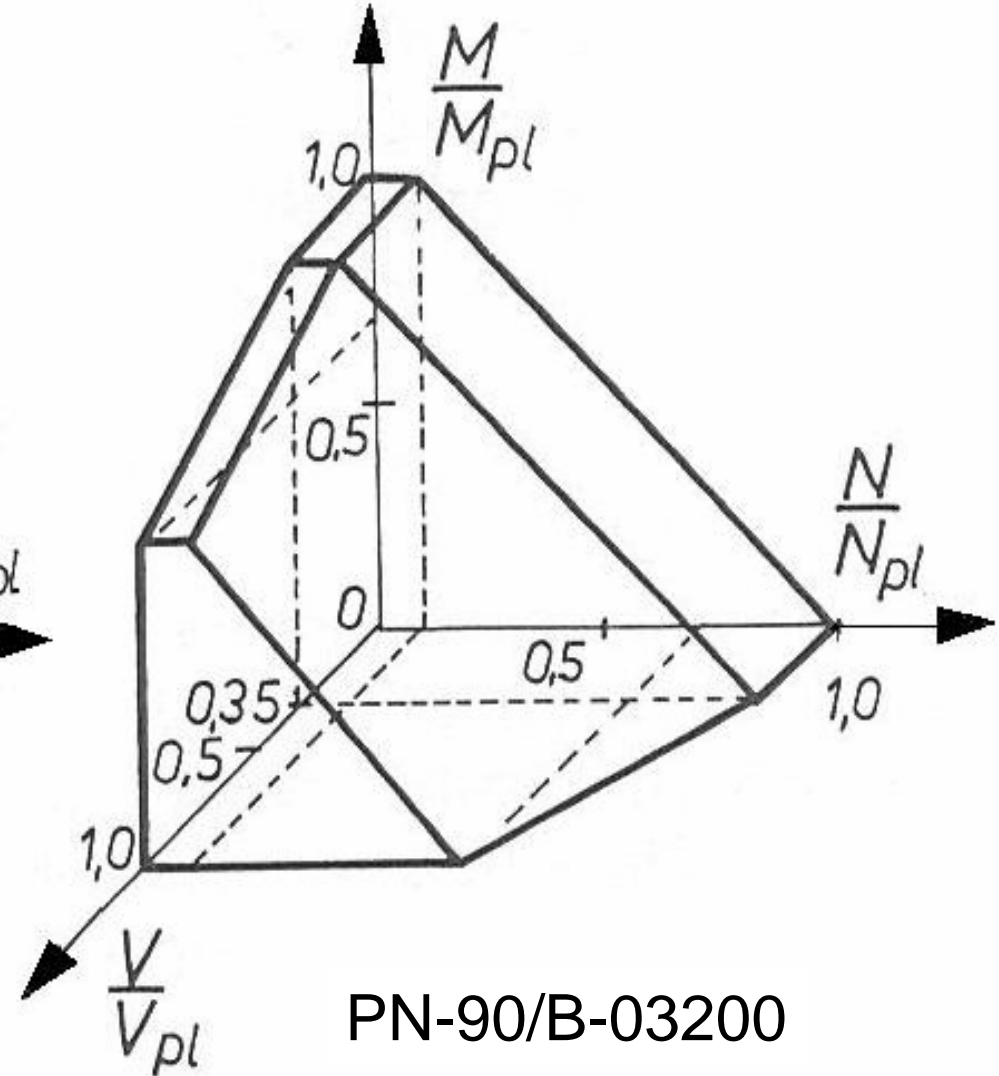




ZGINANIE ZE ŚCINANIE ORAZ SIŁĄ PODŁUŻNĄ



Eurokod 3



PN-90/B-03200