

KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA

TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

The background of the slide is a light gray gradient with several realistic water droplets of various sizes scattered across it. The droplets have highlights and shadows, giving them a three-dimensional appearance. The word "Uwaga" is centered in the upper half of the slide in a bold, red, sans-serif font.

Uwaga

Niniejsza prezentacja stanowi wyłącznie
materiał dydaktyczny dla studentów
realizujących moduł kształcenia
Konstrukcje cienkościenne

KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA
TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

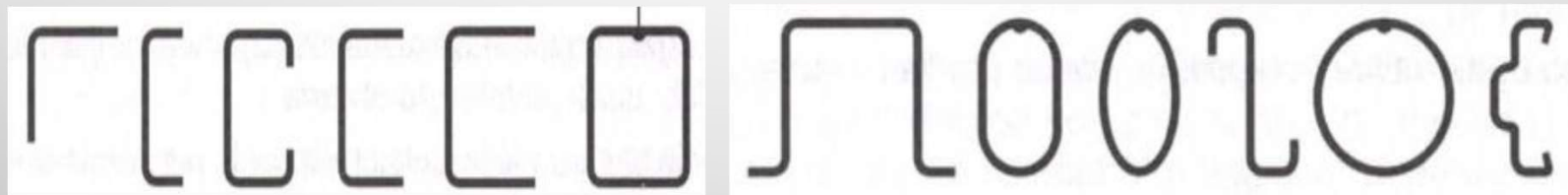


TYPOWE KSZTAŁTOWNIKI GIĘTE NA ZIMNO I ICH ZASTOSOWANIA

Kształtowniki formowane na zimno są elementami pryzmatycznymi o stałej grubości blachy, utworzonymi przez sekwencję płaskich ścianek i fałd w celu wykonywania określonych funkcji przenoszenia obciążeń przyłożonych elementów, a czasem także funkcji wydzielenia przestrzeni.

Kształtowniki o profilach pojedynczych:

- uniwersalnego przeznaczenia,



- specjalnego przeznaczenia.



KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

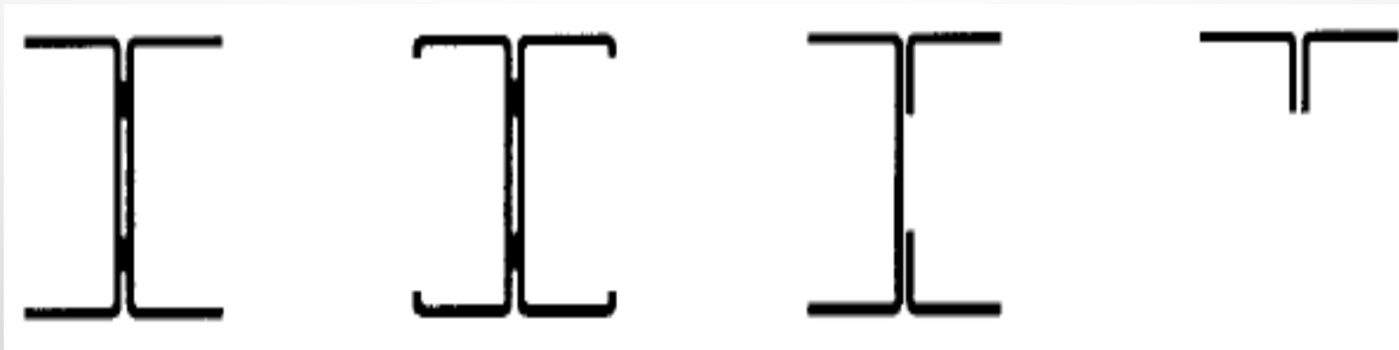
W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA
TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

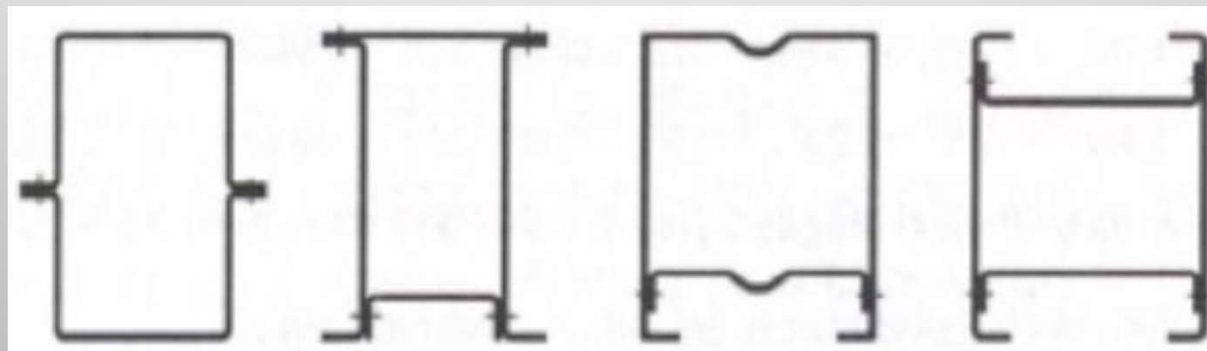
TYPOWE KSZTAŁTOWNIKI GIĘTE NA ZIMNO I ICH ZASTOSOWANIA

Kształtowniki o profilach złożonych:

- otwarte,



- zamknięte



KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

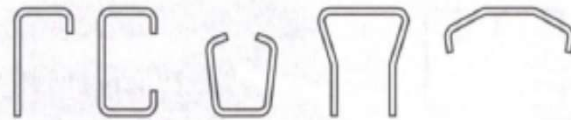
W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA
TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

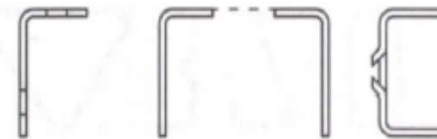
TYPOWE KSZTAŁTOWNIKI GIĘTE NA ZIMNO I ICH ZASTOSOWANIA

Kształtowniki o profilach:

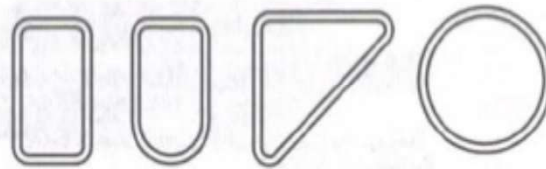
• otwartych,



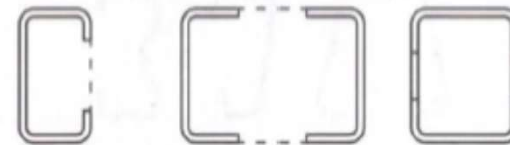
• quasi-otwartych,



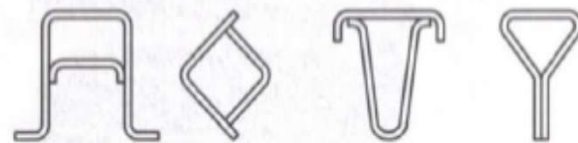
• zamkniętych,



• quasi-zamkniętych,



• zamknięto-otwartych,



• quasi-zamknięto-otwartych.



KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

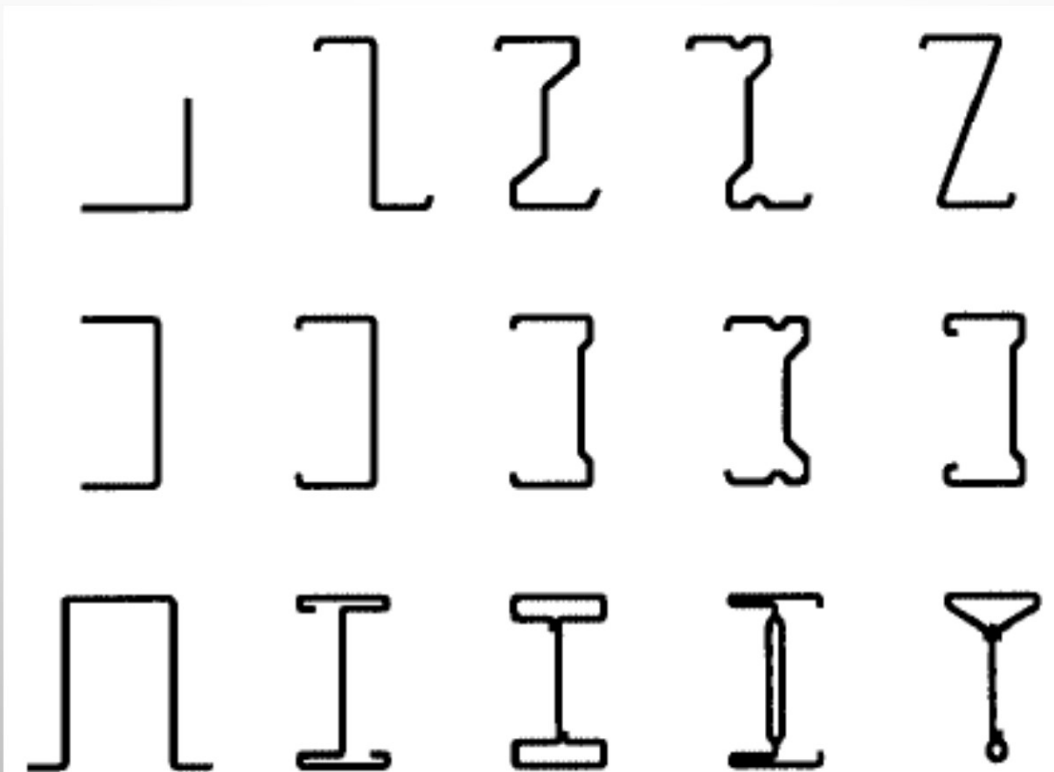
W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA

TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

TYPOWE KSZTAŁTY PRZEKROJÓW KSZTAŁTOWNIKÓW GIĘTYCH NA ZIMNO WEDŁUG PN-EN-1993-1-3

Pojedyncze kształtowniki otwarte:



KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA

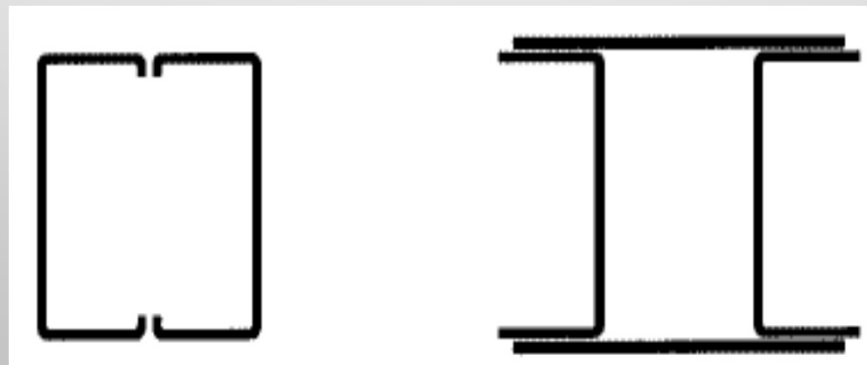
TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

TYPOWE KSZTAŁTY PRZEKROJÓW KSZTAŁTOWNIKÓW GIĘTYCH NA ZIMNO WEDŁUG PN-EN-1993-1-3

Złożone kształtowniki otwarte:



Złożone kształtowniki zamknięte:





WYDZIAŁ
BUDOWNICTWA,
INŻYNIERII ŚRODOWISKA
I ARCHITEKTURY
POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ

KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

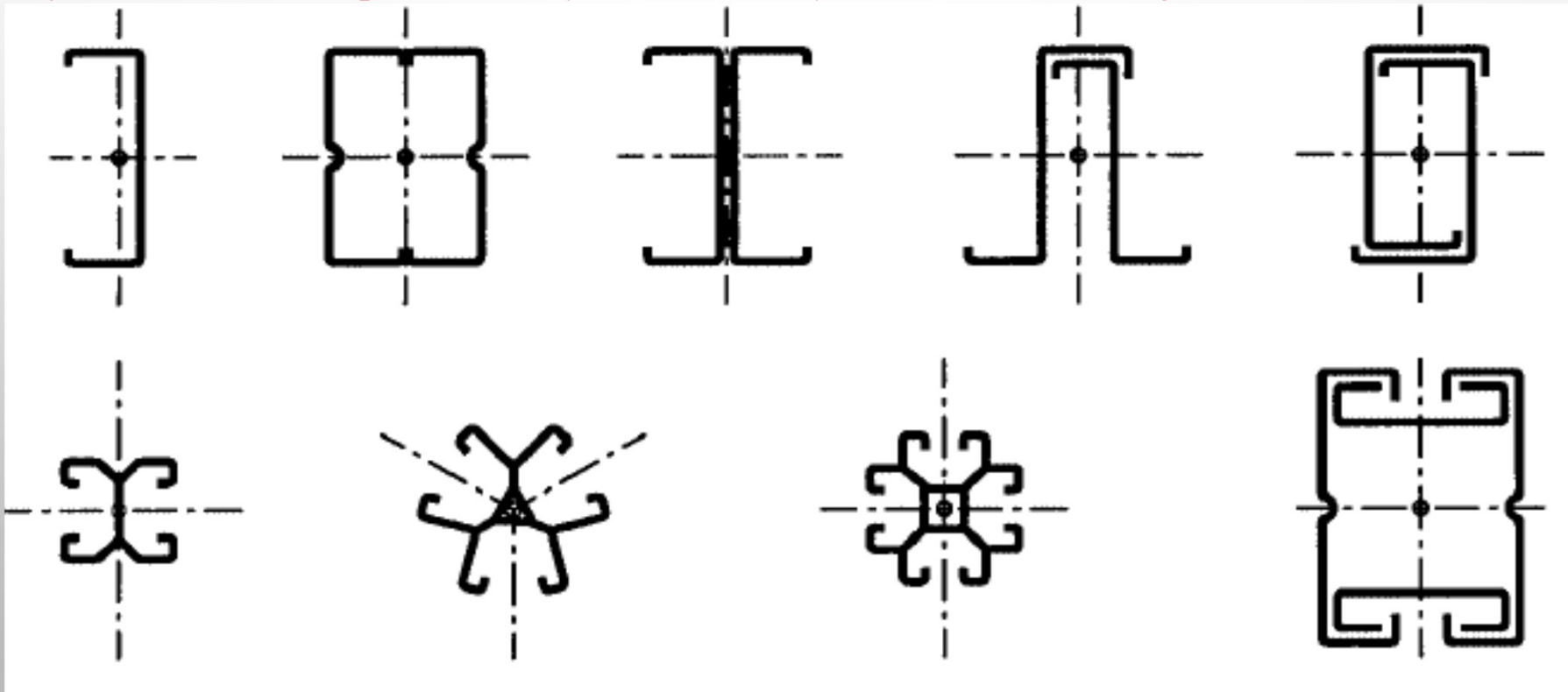
W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA

TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

TYPOWE KSZTAŁTY PRZEKROJÓW KSZTAŁTOWNIKÓW GIĘTYCH NA ZIMNO WEDŁUG PN-EN-1993-1-3

Przekroje kształtowników przeznaczonych na elementy ściskane lub rozciągane:



KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

W2

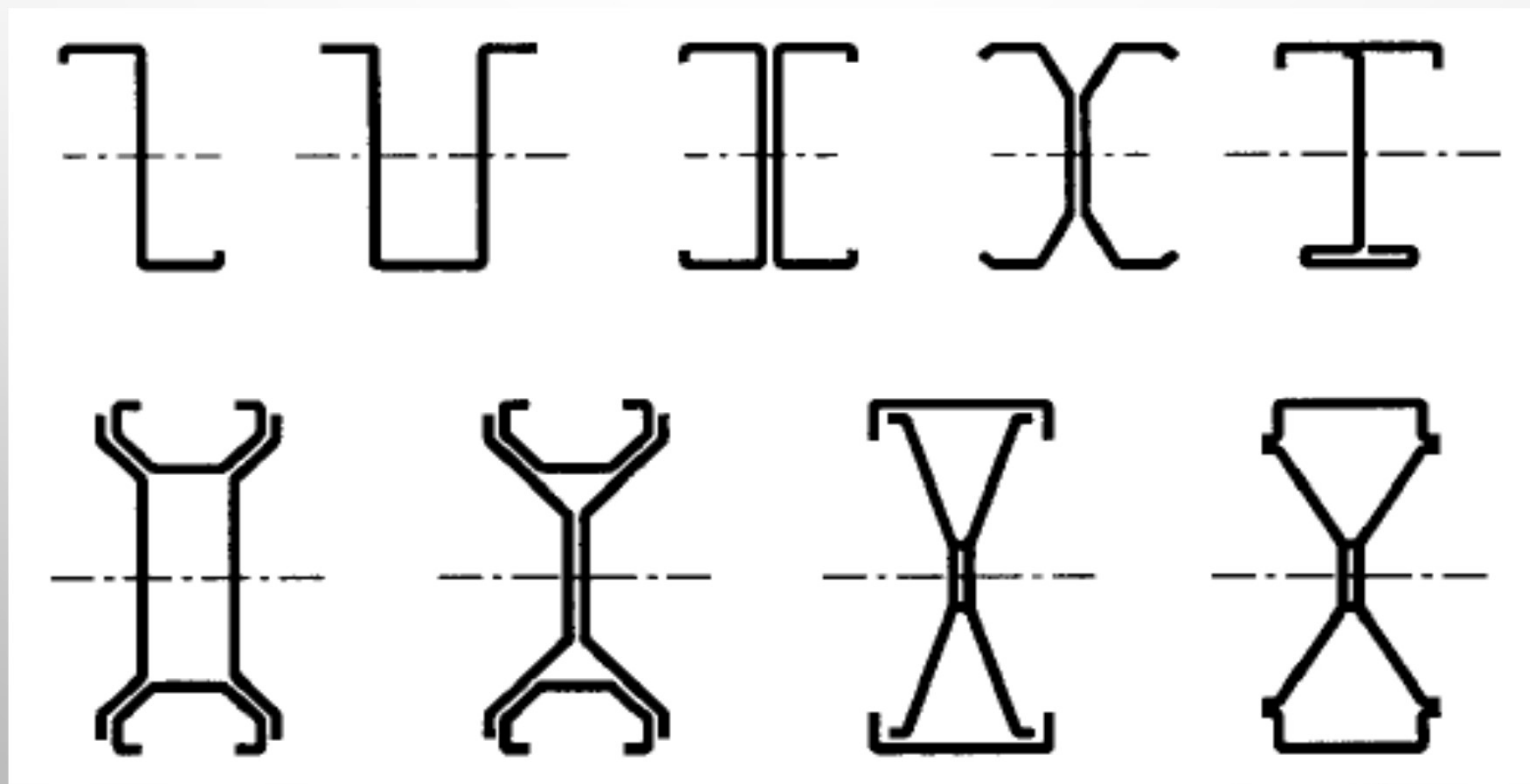
KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA

TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

WYDZIAŁ
BUDOWNICTWA,
INŻYNIERII ŚRODOWISKA
I ARCHITEKTURY
POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ

TYPOWE KSZTAŁTY PRZEKROJÓW KSZTAŁTOWNIKÓW GIĘTYCH NA ZIMNO WEDŁUG PN-EN-1993-1-3

Przekroje kształtowników przeznaczonych belki i inne elementy zginane:



KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

W2

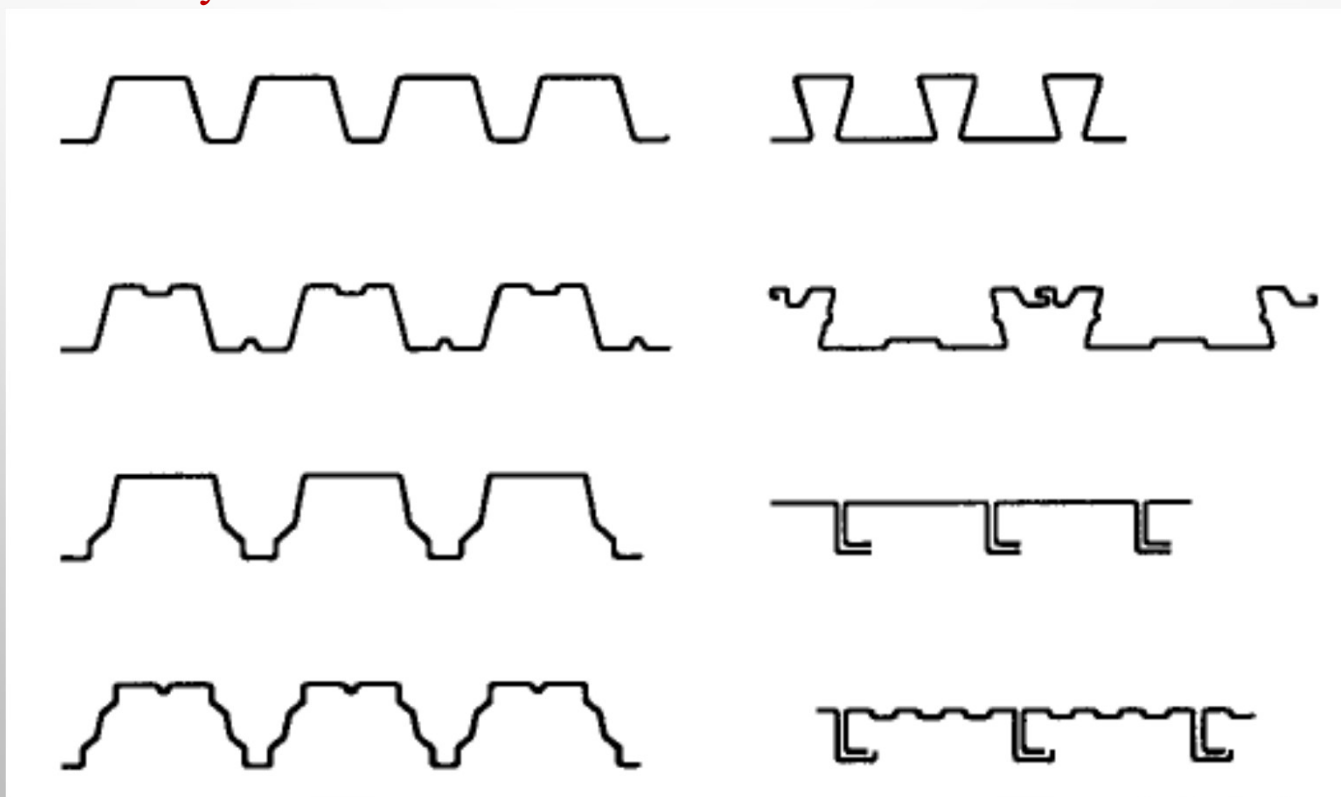
KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA

TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

WYDZIAŁ
BUDOWNICTWA,
INŻYNIERII ŚRODOWISKA
I ARCHITEKTURY
POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ

TYPOWE KSZTAŁTY PRZEKROJÓW KSZTAŁTOWNIKÓW GIĘTYCH NA ZIMNO WEDŁUG PN-EN-1993-1-3

Blachy profilowane i kasety:



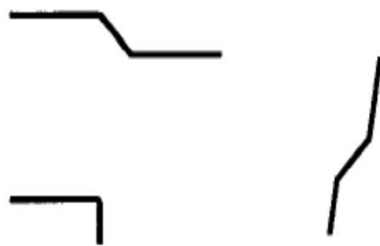
KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

W2

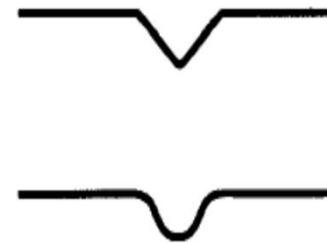
KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA
TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

TYPOWE KSZTAŁTY PRZEKROJÓW KSZTAŁTOWNIKÓW GIĘTYCH NA ZIMNO WEDŁUG PN-EN-1993-1-3

Charakterystyczną cechą kształtowników formowanych na zimno jest to, że smukłe części ściskane są usztywniane przez składanie (usztywnienia pośrednie i krawędziowe), co opóźnia lub zapobiega przedwczesnemu wyboczeniu stref ściskanych.



a) Fałdy i zagięcia



b) Bruzda fałdowa i bruzda zaokrąglona



c) Kształtownik połączony z blachą

PROJEKTOWANIE PRZEKROJÓW KSZTAŁTOWNIKÓW

Elementy z kształtowników giętych na zimno należy projektować o profilach dostosowanych do konkretnego przeznaczenia. Zazwyczaj tworzy się systemy konkretnego przeznaczenia: np. płatownie, więzary dachowe, szkielety domów jednorodzinnych.

Dobierając profil indywidualnie, należy uwzględnić:

- warunki profilowania na urządzeniach będących w dyspozycji,
- przeznaczenie i warunki użytkowania,
- ochronę przed korozją,
- statyczne uwarunkowania zachowania się pręta i jego połączenia w węzłach lub stykach z innymi częściami konstrukcji,
- możliwość wykonania w wytwórni na urządzeniach, które są w dyspozycji producenta konstrukcji i ewentualnie przedsiębiorstwa montażowego.

KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA
TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

ZALECENIA PROJEKTOWE

Na elementy ściskane stosować skrzynki z usztywnionymi ściankami wspornikowymi lub kształtowniki zamknięte. Usztywnienia pozwalają na lepsze rozwinięcie przestrzenne i zwiększają sztywność ścianek.

Na elementy rozciągane stosować kształtowniki o mniejszym rozwinięciu przestrzennym (brak wymagań co do stateczności elementu).

Należy unikać spoin między elementami o dużej różnicy grubości blach, stosunek grubości blach łączonych elementów powinien być mniejszy niż 3,

Należy unikać nadmiernego osłabienia przekroju pręta w obrębie połączeń lub nagłej zmiany kształtu, unikać koncentracji naprężeń i lokalnego przeciążenia w obrębie złącza przy działaniu dużych sił skupionych

Przy wymaganych dużych rozwinięciach należy projektować profile quasi zamknięte (łącząc je przewiązkami lub skratowaniem) albo przekroje zamknięto otwarte (zaleta – duża sztywność skrętna, wada -pracochłonność)

KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

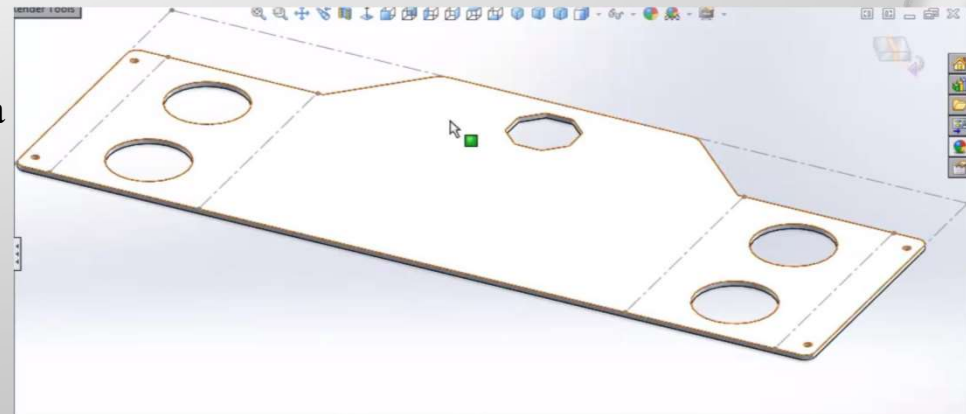
ZALECENIA TECHNOLOGICZNE

Pręt konstrukcji wykonane z jednego kształtownika ułatwiają montaż konstrukcji na placu budowy, jednak utrudniają lub wręcz uniemożliwiają wykonania kształtownika w wytwórni. Wtedy należy stosować pręty wielogłęziowe połączone przewiązkami lub skarotowaniem. Ze względu na niewielką masę elementu, jego montaż może być wykonany w wytwórni.

Unikać spawania metalowych konstrukcji cienkościennych poza wytwórnią.

Uwzględnić możliwość wykonywania połączeń w sposób możliwie najprostszy przy znanym parku maszynowym wytwórni.

Cięcie i wykonywanie otworów prostsze przed wykonaniem gięcia



KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

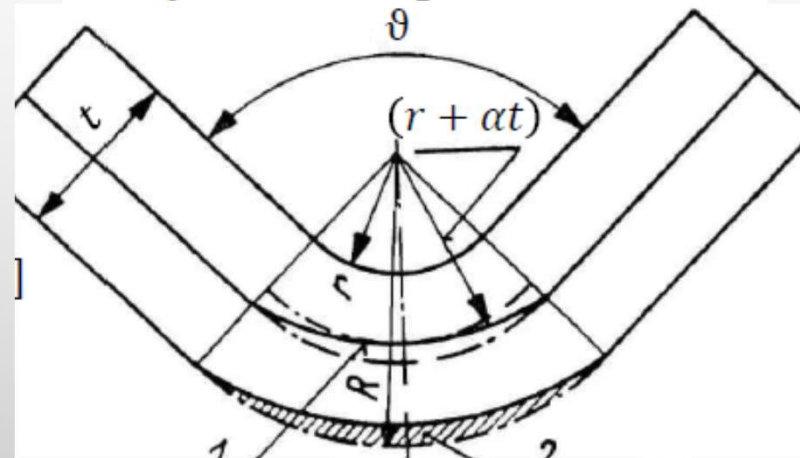
W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA
 TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

ZALECENIA TECHNOLOGICZNE

Określenie szerokości materiału wyjściowego

$$L = \sum_0^{i+1} l_n + \frac{\pi}{180^\circ} \sum_1^i \vartheta (r + \alpha t), [\text{mm}]$$



r/t	1	1,2	1,35	1,5	2	3	4	5	6	≥ 7
α	0,41	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47	0,48	0,49	0,5

KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

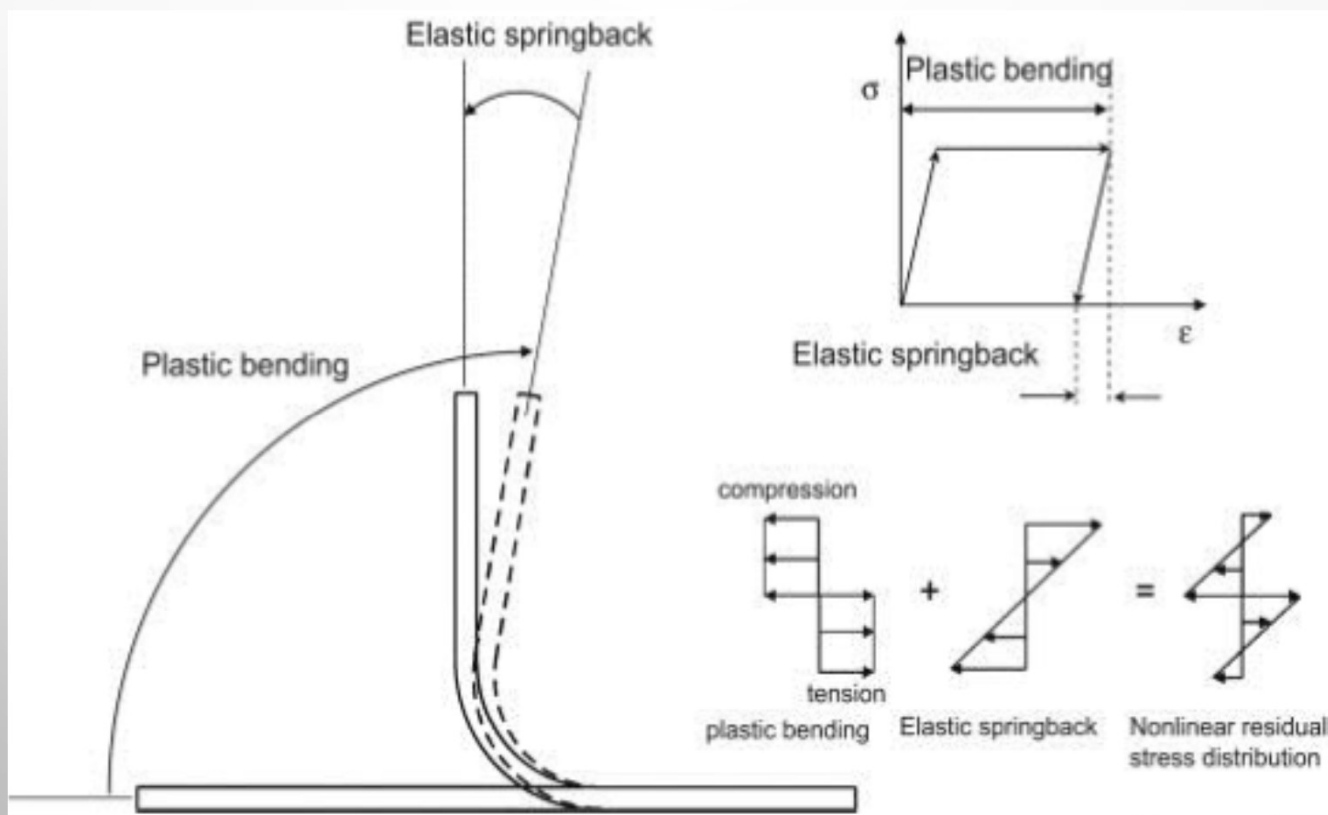
W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA
TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO



ZALECENIA TECHNOLOGICZNE

Kąt gięcia należy przyjąć z uwzględnieniem odkształceń sprężystych



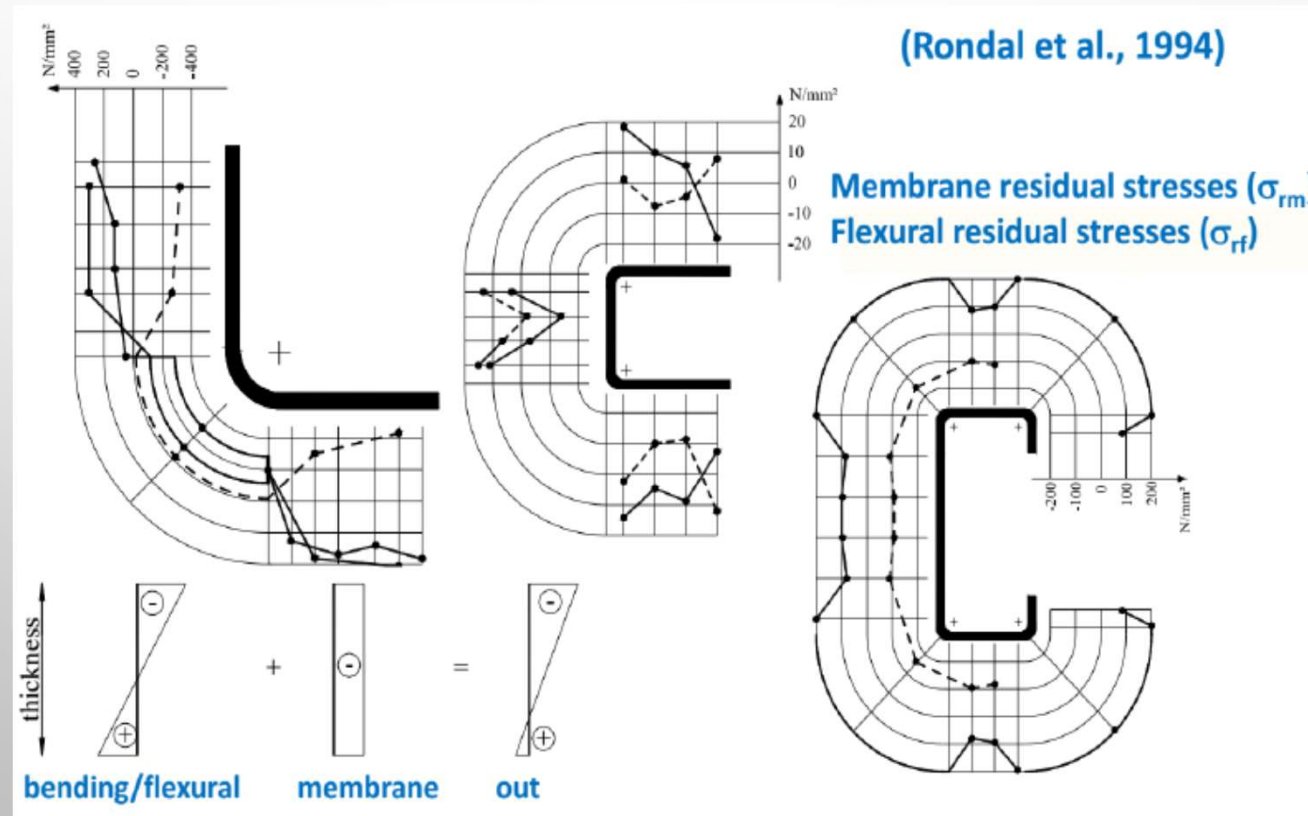
KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA
TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

ZALECENIA TECHNOLOGICZNE

Naprężenia rezydualne



KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA
TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

WYTWARZANIE KSZTAŁTOWNIKÓW

Spośród metod profilowania na zimno najczęściej stosuje się zaginanie taśm, wstęg lub blach na urządzeniach takich jak:

- walcarki rolkowe,
- prasy do gięcia
- krawędziarki,
- ciągarki oczkowe lub rolkowe,

Walcarki rolkowe



KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA
TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

WYDZIAŁ
BUDOWNICTWA,
INŻYNIERII ŚRODOWISKA
I ARCHITEKTURY
POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ

WYTWARZANIE KSZTAŁTOWNIKÓW

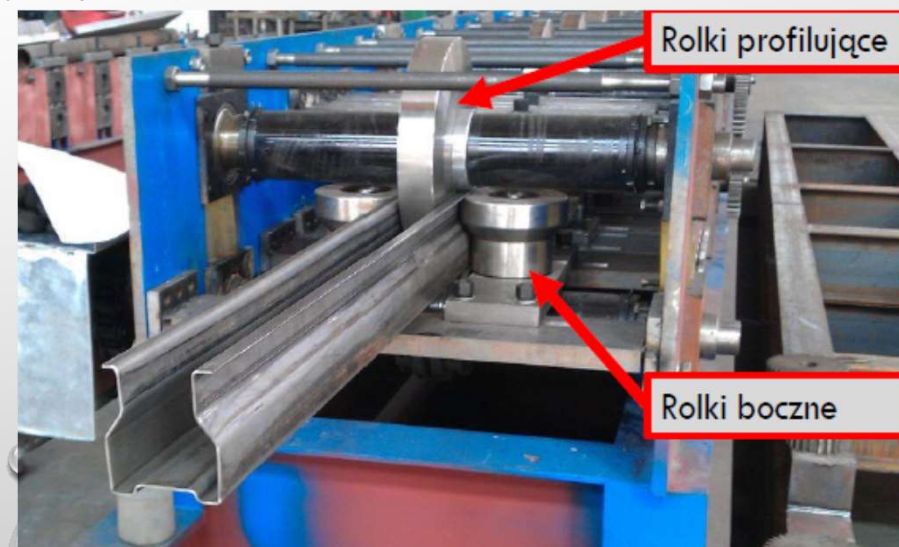
Walcarki rolkowe

Charakterystyka produkcji:

- Kształtowniki o grubości taśmy 0,3 - 18 mm (w budownictwie zazwyczaj do 6).
- Szerokość materiału wyjściowego 20 - 2000 mm.
- Wyroby o bardzo dokładnych wymiarach.
- Całkowita mechanizacja profilowania.
- Niskie koszty robocizny.

Wady:

- Wysoki koszt oprzyrządowania (zwłaszcza rolek).
- Wyższe koszty kształtowników w przeliczeniu na tonę.
- Zamawianie kształtowników projektowanych indywidualnie jest nieopłacalne.
- Profile ogólnego przeznaczenia lub stypizowane w ramach systemu konstrukcyjnego



KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

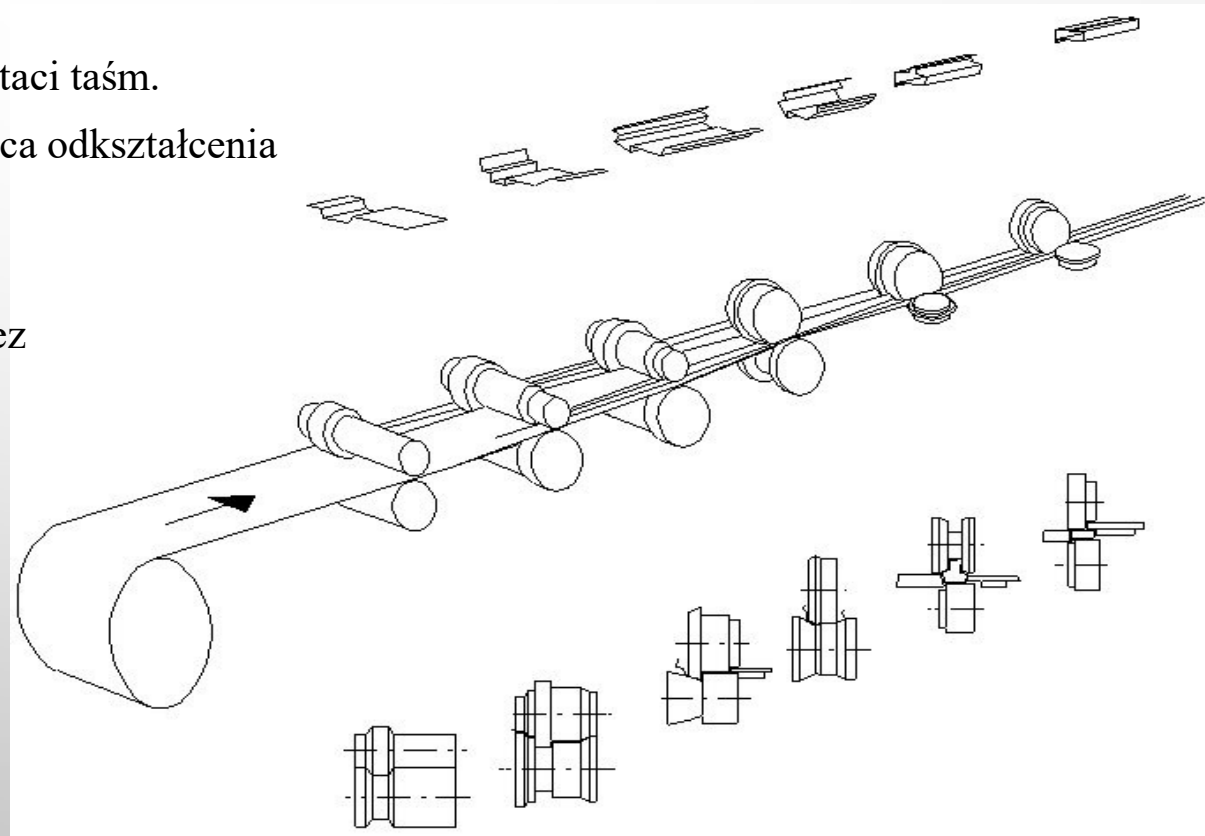
W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA
TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

WYTWARZANIE KSZTAŁTOWNIKÓW

Walcarki rolkowe

- Materiał podawany z bębna jako ciągły lub w postaci taśm.
- Urządzenia o ruchu ciągłym, każda z sekcji narzuca odkształcenia poprzeczne.
- Po wyprofilowaniu cięty na wymaganą długość.
- W zależności od geometrii wymaga przejścia przez 3 do 15 klatek.



KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA
TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

WYTWARZANIE KSZTAŁTOWNIKÓW

Prasy do gięcia

- Stosowane przy niedużych seriach kształtowników profilowanych na zimno.
- Nacisk prasy 400 - 2500 MN.
- Zasadnicza budowa: stół, korpus, belka gnąca, matryca stempel.

Charakterystyka produkcji:

- Produkcja kształtowników o grubości do 16 mm przy długości do 6 m (12 m).
- Szerokość pasma ogranicza korpus maszyny.



KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

WYTWARZANIE KSZTAŁTOWNIKÓW

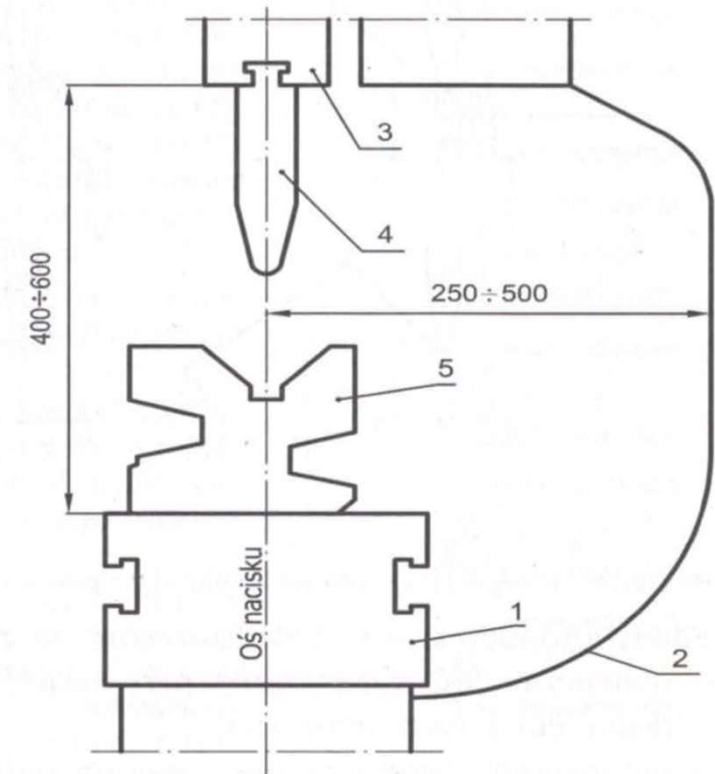
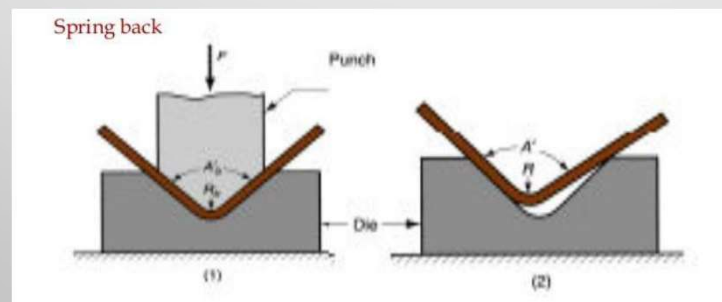
Prasy do gięcia

Zalety produkowania kształtowników na prasach:

- uniwersalność wytwarzania przy łatwej zmianie listew profilujących,
- niska cena urządzeń,
- opłacalność produkcji przy małych partiach zamówienia kształtowników.

Wady profilowania na prasach do gięcia:

- brak możliwości wysokiego stopnia zmechanizowania konstrukcji,
- mała wydajność,
- wykwalifikowana obsługa.



Rys. 2.9 Prasa do gięcia: 1 – stół, 2 – stojak korpusu, 3 – belka gnąca, 4 – górna listwa profilująca, 5 – dolna listwa profilująca

KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

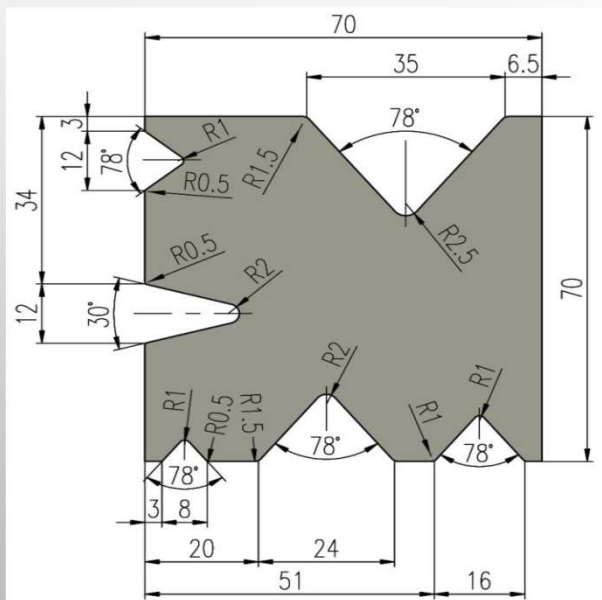
W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA

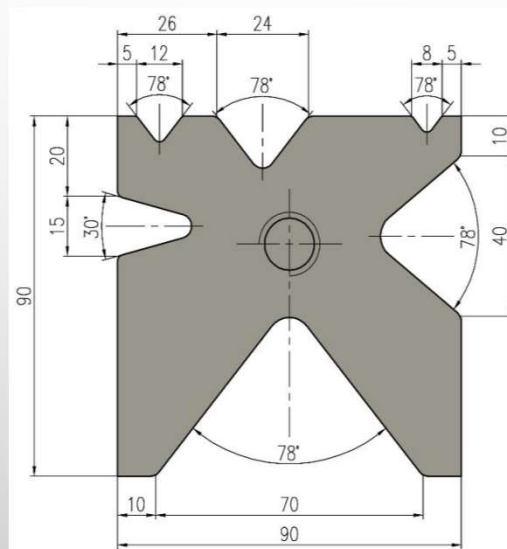
TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

WYTWARZANIE KSZTAŁTOWNIKÓW

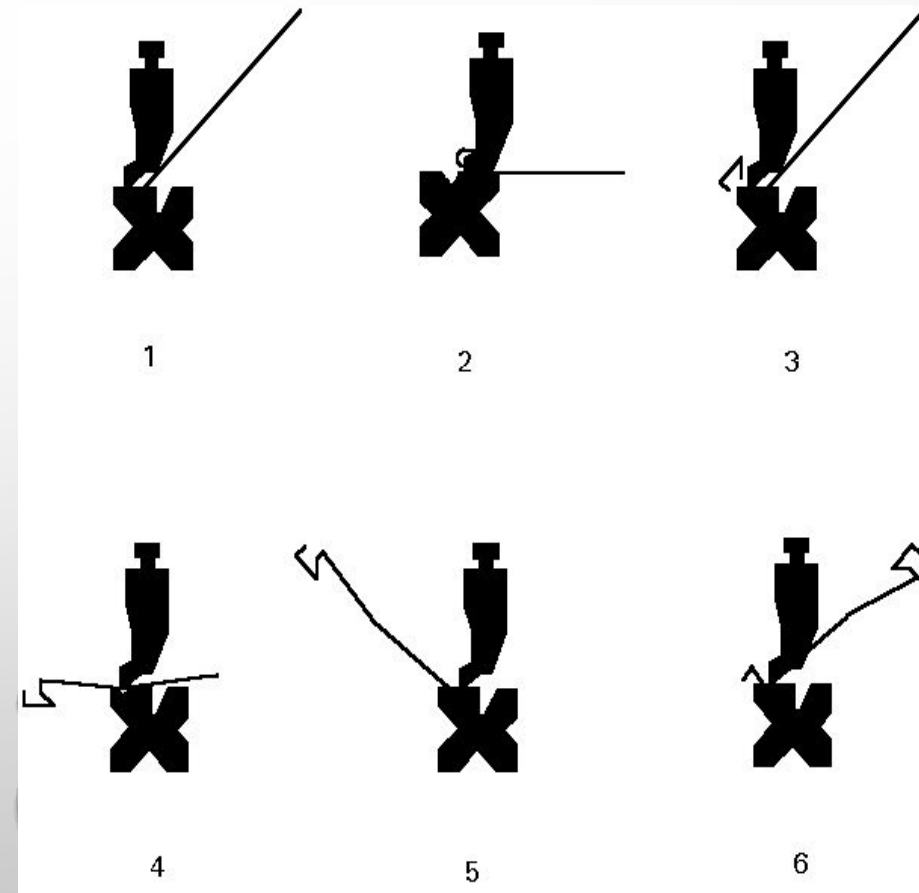
Prasy do gięcia



*All dimensions in millimeters, unless otherwise noted.



*All dimensions in millimeters, unless otherwise noted.



KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

W2

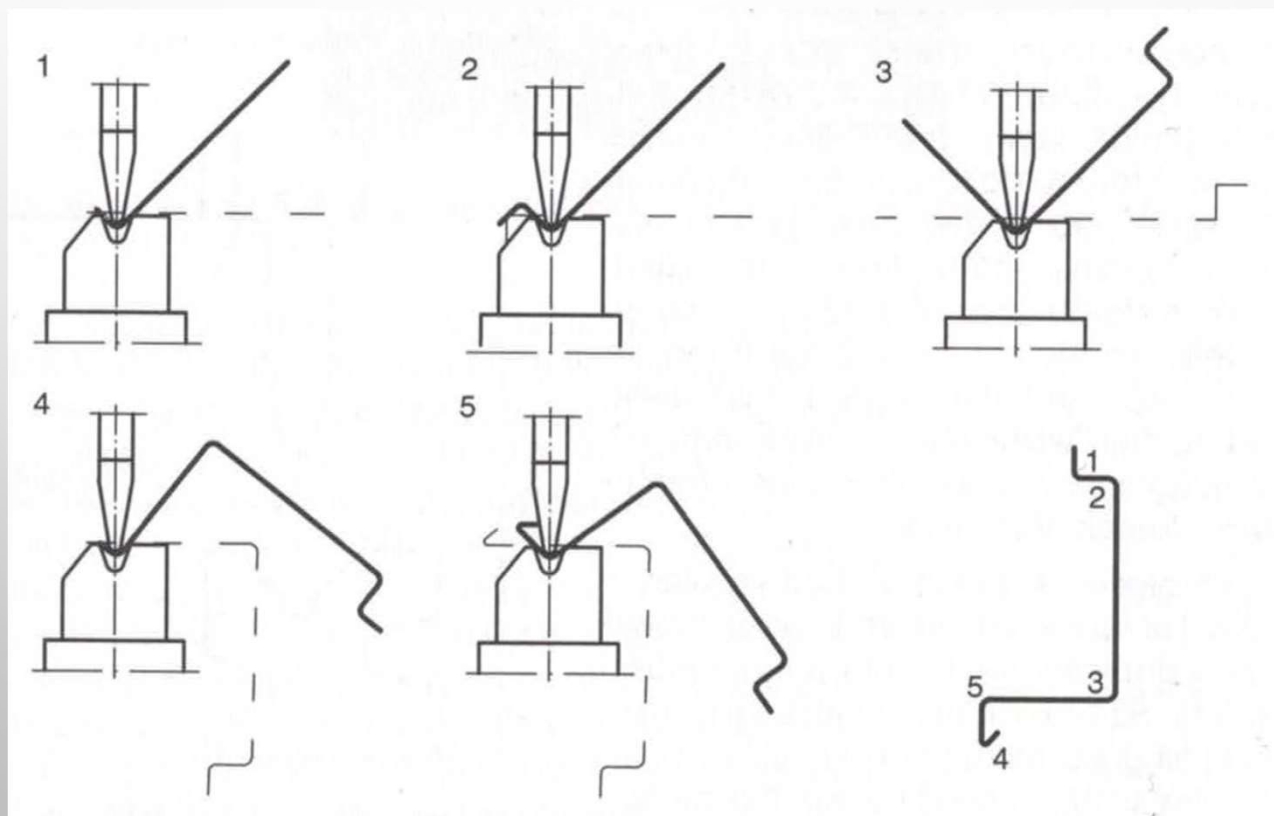
KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA

TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

WYDZIAŁ
BUDOWNICTWA,
INŻYNIERII ŚRODOWISKA
I ARCHITEKTURY
POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ

WYTWARZANIE KSZTAŁTOWNIKÓW

Prasy do gięcia



KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

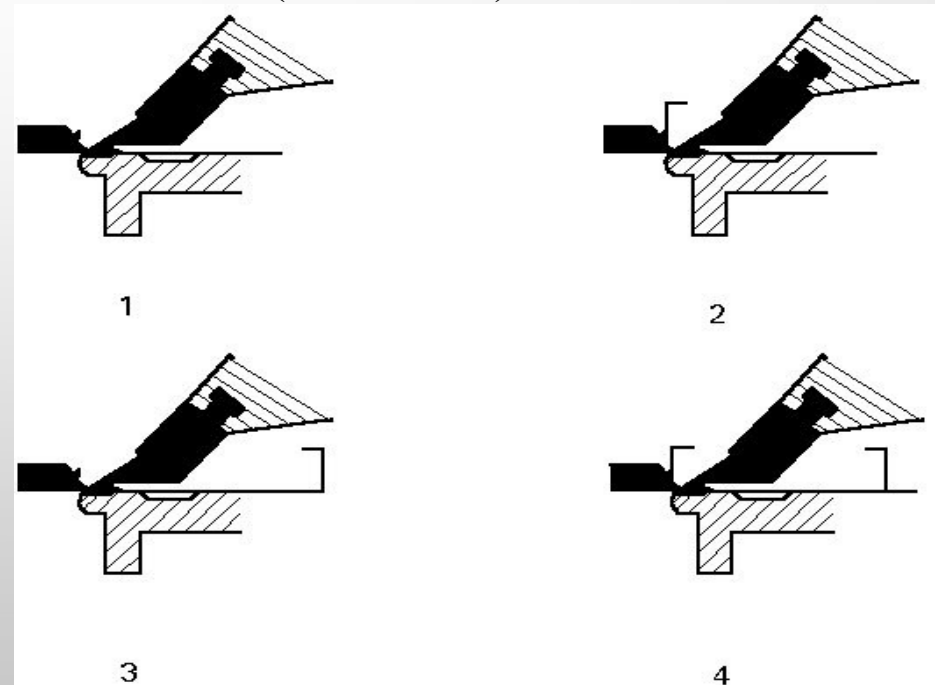
W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA
TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

WYTWARZANIE KSZTAŁTOWNIKÓW

Krawędziarki

- Wyroby o małej długości, grubości i wymiarach profilu w niedużych partiach zamówienia.
- Kształtowniki o grubości 0,3 - 3,0 mm przy długości 1,5 - 3,0 m (rzadko 6 m).
- Niska wydajność urządzenia.
- Nieduża dokładność profilowania.
- Niskie koszty wytworzenia elementu.
- Nie wymagają wykwalifikowanej obsługi.





WYDZIAŁ
BUDOWNICTWA,
INŻYNIERII ŚRODOWISKA
I ARCHITEKTURY
POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ

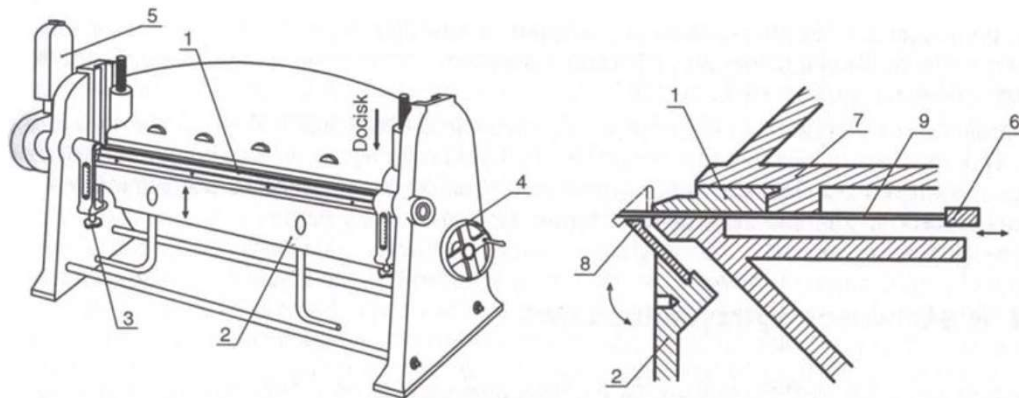
KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA
TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

WYTWARZANIE KSZTAŁTOWNIKÓW

Krawędziarki



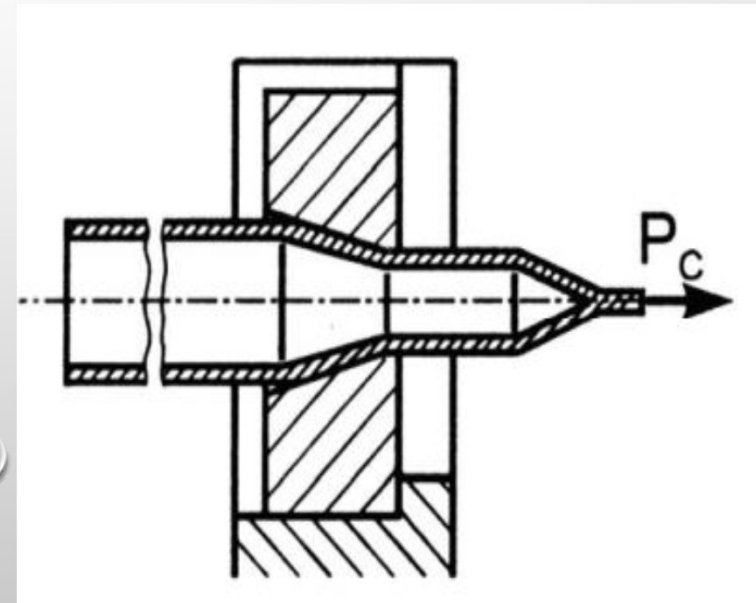
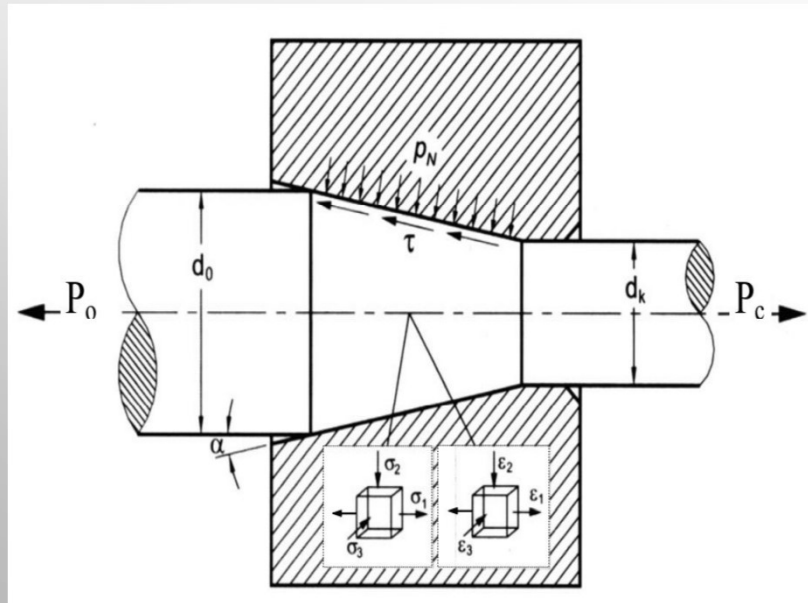
Krawędziarka do zaginania blach: 1 – listwa profilująca belki górnej, 2 – nastawiana dolna belka gnąca, 3 – śruba do nastawiania dolnej belki, 4 – koło do przesuwania górnej belki (dociskanie blachy), 5 – przeciwiężar, 6 – zde-
rzak nastawny, 7 – górna belka dociskowa, 8 – dolna listwa profilująca, 9 – blacha poddana zginaniu



WYTWARZANIE KSZTAŁTOWNIKÓW

Ciągarki

- Bardzo rzadko stosowana przy wyrobach budowlanych.
- Nadanie kształtu przez przeciągnięcie przez głowicę (oczko)



CHARAKTERYSTYKA ZACHOWANIA SIĘ PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

Wprowadzenie

W porównaniu z walcowanymi na gorąco elementami stalowymi, cienkościenne elementy konstrukcyjne charakteryzują się:

- stosunkowo dużą wysokością w stosunku do szerokości i grubości.
- posiadają nie usztywnione lub niekompletnie usztywnione części kształtowników.
- przekroje elementów są niesymetryczne lub mono - symetryczne.
- niedoskonałości geometryczne tego samego rzędu lub większe, niż grubość przekroju.
- mają niedoskonałości strukturalne spowodowane procesem formowania na zimno.

W związku z tym podczas projektowania tych elementów należy wziąć pod uwagę szereg czynników:

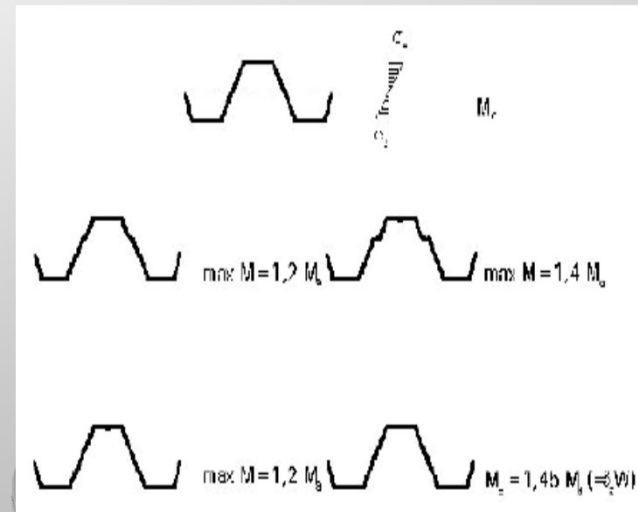
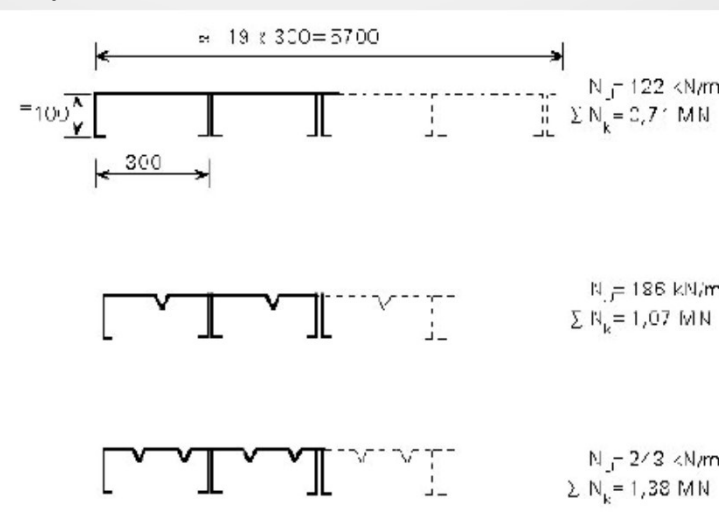
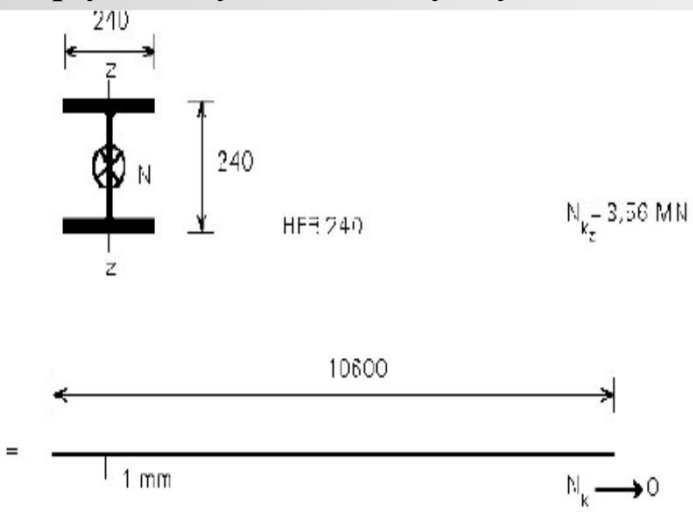
- wyboczenie w zakresie dużych ugięć.
- wpływ miejscowego wyboczenia na ogólną stabilność.
- wyboczenie skrętne i giętne.
- ścinanie i efekty szerokiego pasa.
- skutki różnych naprężeń szczytkowych w przekroju.

CHARAKTERYSTYKA ZACHOWANIA SIĘ PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

Wprowadzenie

Pod wpływem wzrostu obciążenia, cienkościenne elementy konstrukcyjne generalnie podlegają różnym nieliniowym rozkładom naprężeń i odkształceń w przekroju, często w połączeniu z istotnymi ugięciami poza płaszczyzną. Istnieje również możliwość różnych trybów zniszczenia, szczególnie w przypadku odcinków z płaskimi panelami ściskanymi, które nie są usztywnione, tj. Sprężystość przytrzymywane tylko wzdłuż jednej krawędzi.

Wpływ usztywnień na wytrzymałość na obciążenia.



CHARAKTERYSTYKA ZACHOWANIA SIĘ PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

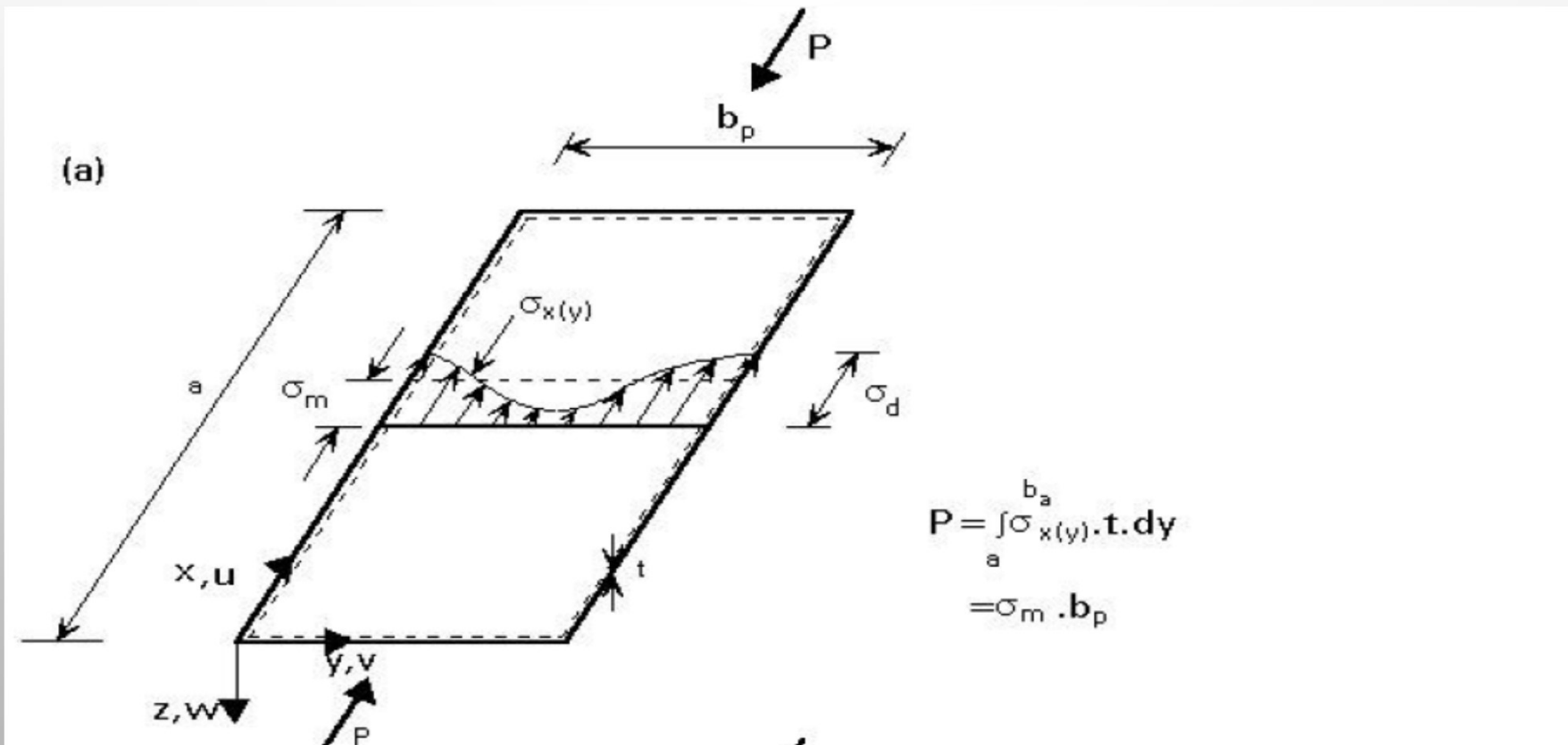
Lokalne wyboczenie i koncepcja szerokości efektywnej

Efekt miejscowego wyboczenia w ściskanych strefach przekroju, często determinuje zachowanie i nośność graniczną. Teoretyczne rozwiązanie tego problemu, biorąc pod uwagę wytrzymałość na wyboczenie, nie jest praktyczne do celów projektowych, dla których opracowano model projektowy o efektywnej szerokości.

Z rozkładu naprężeń prostopadłych podpartego panelu kształtownika pod obciążeniem wzdłużnym wynika, że w zakresie po wyboczeniu naprężenia są skoncentrowane wzdłuż usztywnień płyty. Zatem ostateczne obciążenie można określić na podstawie równomiernego rozkładu naprężeń w obrębie efektywnej szerokości b_{eff} , który zależy od krytycznego naprężenia wyboczeniowego (σ_{cr} = naprężenie krytyczne) i granicy plastyczności (f_y) materiału panelu. Wyrażenie b_{eff} , podane przez von Karmana, zostało następnie zmodyfikowane przez Wintera z uwzględnieniem niezamierzonych niedoskonałości geometrycznych (imperfekcji).

CHARAKTERYSTYKA ZACHOWANIA SIĘ PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

Lokalne wyboczenie i koncepcja szerokości efektywnej



KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

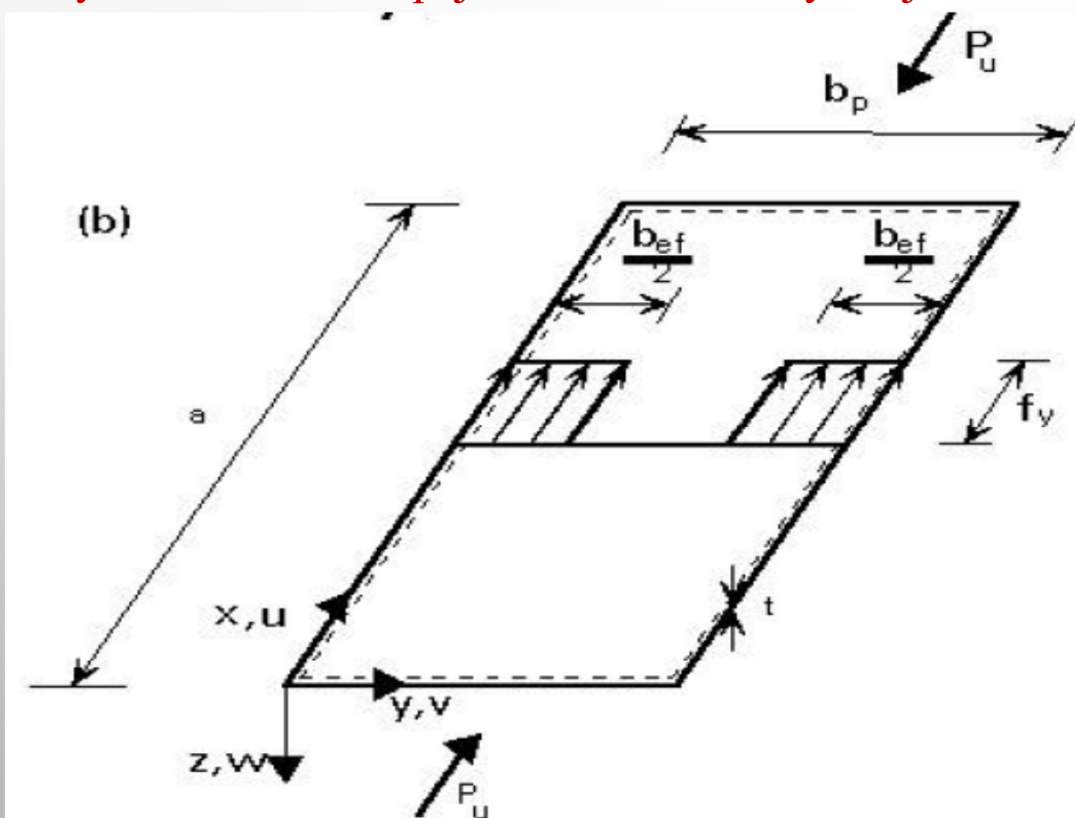
W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA

TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

CHARAKTERYSTYKA ZACHOWANIA SIĘ PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

Lokalne wyboczenie i koncepcja szerokości efektywnej



$$P_u = f_y \cdot b_{ef} \cdot t$$

$$b_{ef} = f(\sigma_{cr}, f_y)$$

$$\frac{b_{ef}}{b_p} = \sqrt{\frac{\sigma_{cr}}{f_y}} \quad (\text{v. Karman})$$

$$P = \frac{b_{ef}}{b_p} = \sqrt{\frac{\sigma_{cr}}{f_y}} \quad (1 - 0,22 \sqrt{\frac{\sigma_{cr}}{f_y}})$$

(Winter)

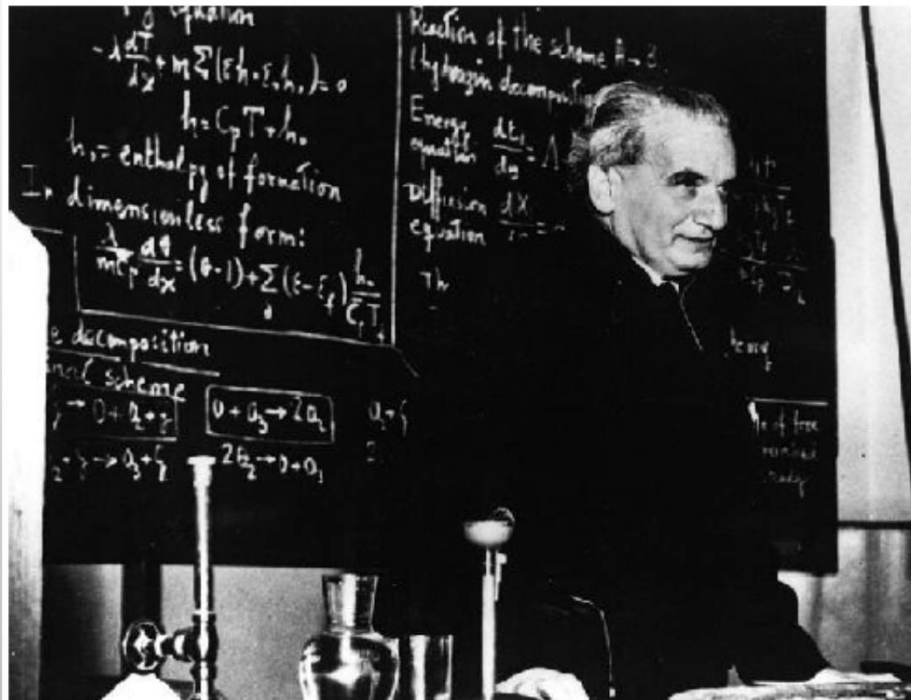
KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA
TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

CHARAKTERYSTYKA ZACHOWANIA SIĘ PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

Lokalne wyboczenie i koncepcja szerokości efektywnej



Theodore von Kármán
11.05.1881 Budapeszt – 6.05.1963



George Winter
1.04 1907 Wiedeń, - 3.11.1982

CHARAKTERYSTYKA ZACHOWANIA SIĘ PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

Lokalne wyboczenie i koncepcja szerokości efektywnej

Formuła Wintera

$$\rho = \frac{b_{eff}}{b_p} = \sqrt{\frac{\sigma_{cr}}{f_y}} \cdot \left(1 - 0,22 \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{cr}}{f_y}} \right)$$

oznacza, że $b_{eff} = 0,78 b_p$, gdy $\sigma_{cr} = f_y$

Podstawiając za σ_{cr} , smukłość względną $\bar{\lambda}_p$ daną wzorem:

$$\bar{\lambda}_p = \left(\frac{1,052}{\sqrt{k_\sigma}} \right) \cdot \left(\frac{b_p}{t} \right) \cdot \left(\frac{\sqrt{f_y}}{E} \right)$$

otrzymujemy

$$\rho = \frac{1}{\bar{\lambda}_p} \cdot \left(1 - \frac{0,22}{\bar{\lambda}_p} \right)$$

tzn. że $\rho = 1,0$, jeżeli $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$

CHARAKTERYSTYKA ZACHOWANIA SIĘ PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

Lokalne wyboczenie i koncepcja szerokości efektywnej

Jeżeli znany jest współczynnik wyboczenia k_{σ} dla naprężenia punktu bifurkacyjnego, można obliczyć efektywną szerokość b_{eff} ; na przykład $b_{\text{eff}} = b_p$ dla dwustronnie podpartego panelu ścianki elementu pod stałym naprężeniem normalnym dla $k_{\sigma} = 4$, jeżeli $b_p/t \leq 1,33 \cdot E/f_y$; lub dla jednostronnie podpartego panelu o $k_{\sigma} = 0,43$, jeżeli $b_p/t \leq 0,42 \cdot E/f_y$. Zakładając granicę plastyczności $f_y = 320 \text{ N/mm}^2$, elementy przenoszą naprężenia na całej powierzchni, jeżeli odpowiednio $b_p/t \leq 34$ lub $b_p/t \leq 11$.

Uwzględnienie wartości efektywnej szerokości paneli, skutkuje tym, że należy wziąć pod uwagę zmniejszone szerokości efektywne przy obliczaniu wartości efektywnych przekroju, tj. pola powierzchni efektywnej (A_{eff}), Wskaźnika wytrzymałości przekroju (W_{eff}) i momentu bezwładności (I_{eff}).

CHARAKTERYSTYKA ZACHOWANIA SIĘ PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

Ścianki podparte dwustronnie i jednostronnie

Elementy przekroju są albo dwustronnie podparte (pasy lub środniki blachy trapezowej), albo jednostronnie podparte (pasy profili o kształcie litery U lub L). Elementy podparte dwustronnie są znacznie mocniejsze, szczególnie gdy mają również niskie współczynniki b/t ; można to osiągnąć za pomocą usztywnień wzdłużnej krawędzi (bruzdy, zagięcia i fałdy) i/lub pośrednich usztywnień w kształcie litery V, U lub przetłoczeń trapezoidalnych. Usztywnienia te, znajdujące się w strefie ściskanej, poddawane są działaniu sił normalnych i, działając jako elementy belkowe na sprężystym podłożu, i są podatne na wyboczenie. Takie zachowanie daje podstawę do uproszczenia modelu projektowego, w którym usztywnienie i przyległe części płaskich elementów są traktowane jako belki na sprężystym podłożu, przy czym sztywność sprężyny zależy od warunków brzegowych elementu.

Rodzaje wyboczenia i obciążenie zależą od powierzchni efektywnej i sztywności usztywnienia. Jeśli zagięcia usztywniające mają odpowiednią sztywność, można go traktować jako sztywne podparcie dla sąsiedniego płaskiego elementu; Procedury normowe podają przybliżone kryteria oceny tego usztywnienia. W zależności od obciążenia i wyboczenia usztywnienia może wystąpić interakcja wyboczenia lokalnego i globalnego.

KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

W2

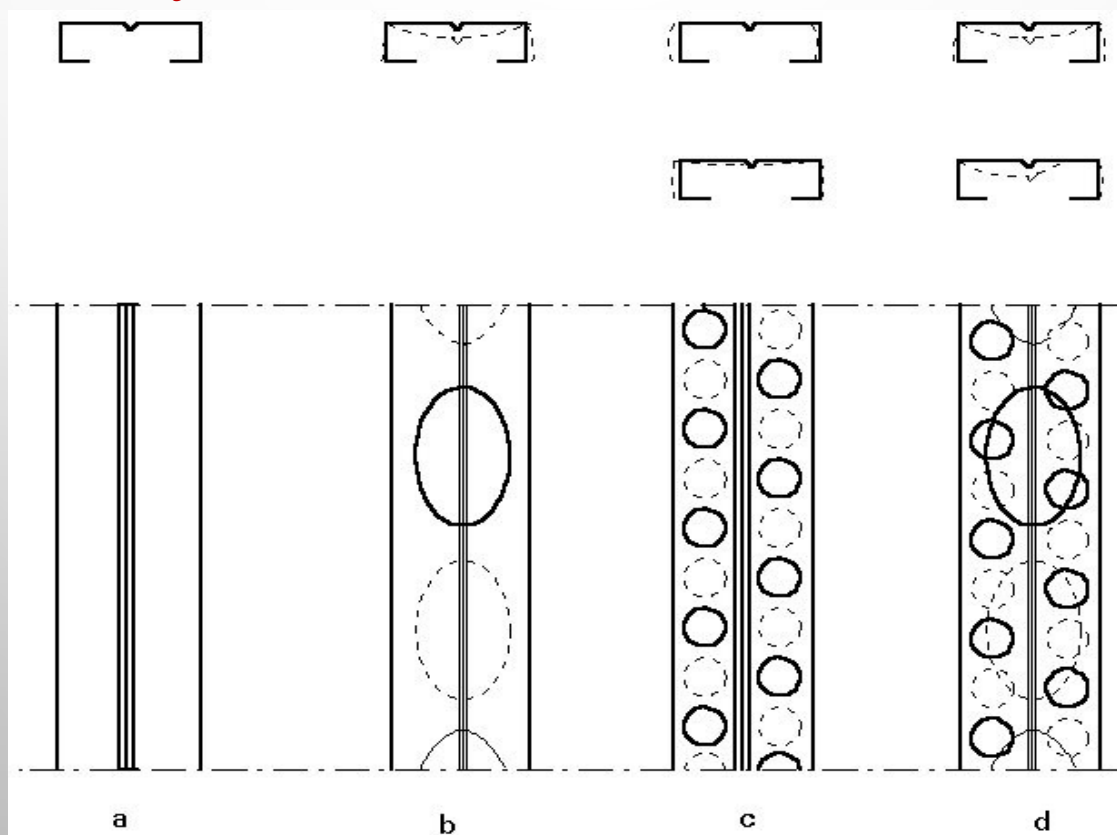
KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA

TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

WYDZIAŁ
BUDOWNICTWA,
INŻYNIERII ŚRODOWISKA
I ARCHITEKTURY
POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ

CHARAKTERYSTYKA ZACHOWANIA SIĘ PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

Ścianki podparte dwustronnie i jednostronnie



CHARAKTERYSTYKA ZACHOWANIA SIĘ PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

Niestateczność dystorsyjna

Wpływ niestateczności dystorsyjnej można określić na podstawie analizy liniowej lub nieliniowej. Jeśli nie stosuje się procedury uproszczonej, w której naprężenia krytyczne wyznacza się na podstawie liniowej analizy wyboczenia sprężystego, to można stosować następującą procedurę:

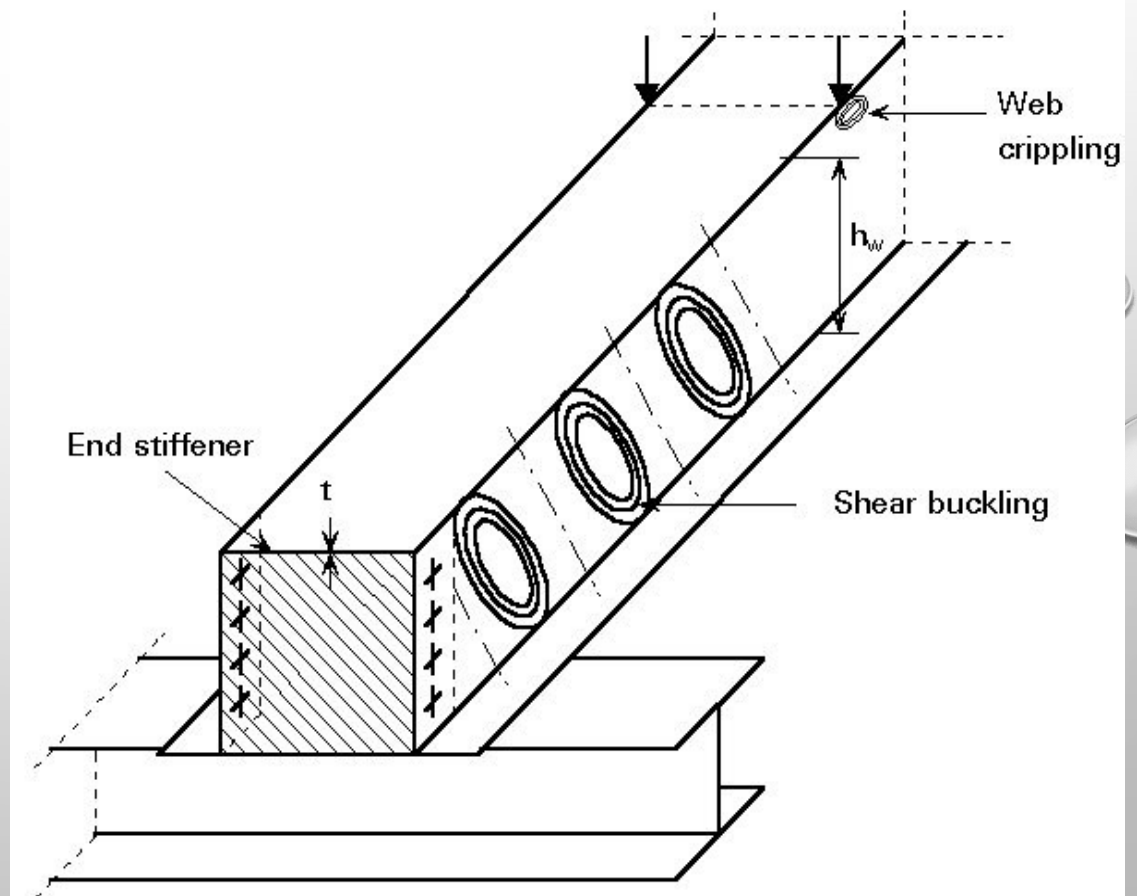
- 1) Dla długości fali w ramach nominalnej długości elementu, oblicz sprężyste naprężenie krytyczne przy niestateczności miejscowej i zidentyfikuj formę niestateczności,
- 2) Oblicz szerokość lub szerokości współpracujące ścianek dla minimalnej wartości naprężenia krytycznego przy niestateczności miejscowej,
- 3) Oblicz zredukowane grubości brzegowych i pośrednich usztywnień lub innych części przekroju ulegających niestateczności dystorsyjnej, przyjmując minimalne krytyczne naprężenia dystorsyjne,
- 4) Oblicz ogólną nośność na wyboczenie (giętne, skrętne lub giętno-skrętne, stosownie do formy wyboczenia) przyjmując nominalną długość elementu i efektywne cechy przekroju ustalone w kroku 2) i 3).

CHARAKTERYSTYKA ZACHOWANIA SIĘ PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

Wyboczenie lokalne i zgniecenie środnika

Utrata stateczności miejscowej środnika może być spowodowane naprężeniami ściskającymi lub zginającymi lub naprężeniami pochodzącymi od siły poprzecznej powyżej krytycznej wytrzymałości na wyboczenie.

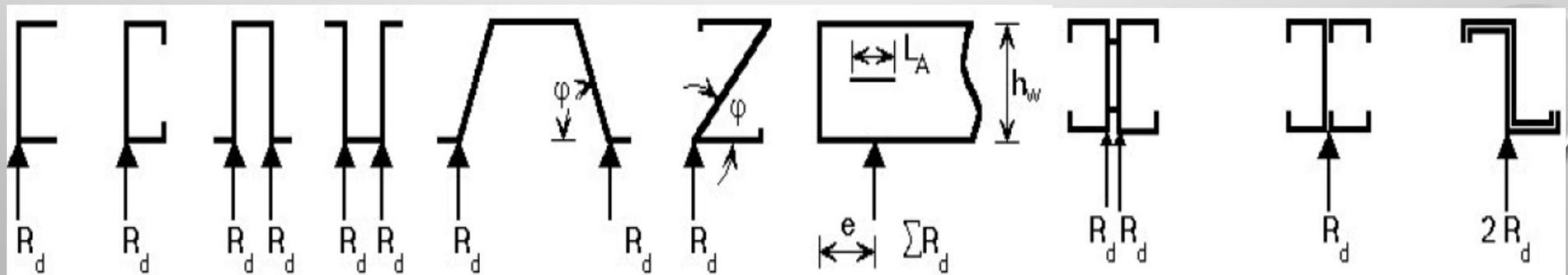
W obu przypadkach stateczność ścianki zależy od smukłości środnika (s_w/t). Przy granicy plastyczności około $f_y = 320 \text{ N/mm}^2$, panele środnika są podatne na wyboczenie, jeśli $s_w/t > 80$ dla czystego zginania i $s_w/t > 60$ dla czystego ścinania. Wyboczenie nie musi jednak oznaczać stanu granicznego dla struktury, jeśli można polegać na równowadze postkrytycznej.



CHARAKTERYSTYKA ZACHOWANIA SIĘ PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

Wyboczenie lokalne i zgniecenie środnika

Zgniecenie jest zjawiskiem związanym z lokalnym obciążeniem o znacznej wartości prostopadłym do płaszczyzny środnika. Jest to najbardziej widoczne w przypadku obciążenia skupionego lub przy pośrednich podporach ciągłych belek. Często jest bardziej dotkliwie niż wyboczenie środnika, ponieważ zgniecenie zmniejsza efektywną szerokość przekroju i nie utrzymuje siły pokrywyczej. W zależności od mimośrodowości środników w stosunku do kierunku obciążenia oraz od kategorii obciążeń można oczekiwać różnych wartości nośności środnika przy zgnieceniu miejscowym.



CHARAKTERYSTYKA ZACHOWANIA SIĘ PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

Wyboczenie lokalne i zgniecenie środka

Obciążenia pierwszej kategorii obejmują podpory końcowe belek, obciążenia w pobliżu końców wspornika oraz obciążenia przyłożone tak blisko podpory, że odległość od podpory do najbliższego punktu przyłożenia obciążenia, mierzona równoległe do osi belki, jest mniejsza niż $1,5 \cdot s_w$.

Obciążenia drugiej kategorii obejmują podpory pośrednie i obciążenia znajdujące się w odległości większej niż $1,5 \cdot s_w$ od podpory lub końca wspornika.

Wyboczenie giętno-skrętne

Niestężone elementy zginane zasadniczo są podatne na wyboczenie giętno - skrętne; ten typ uszkodzenia jest bardziej prawdopodobny, jeżeli przekrój jest poddawana skręcaniu z powodu nachylenia głównej osi względem kierunku obciążenia lub jeśli środek ścinania przekroju nie znajduje się na osi obciążenia.

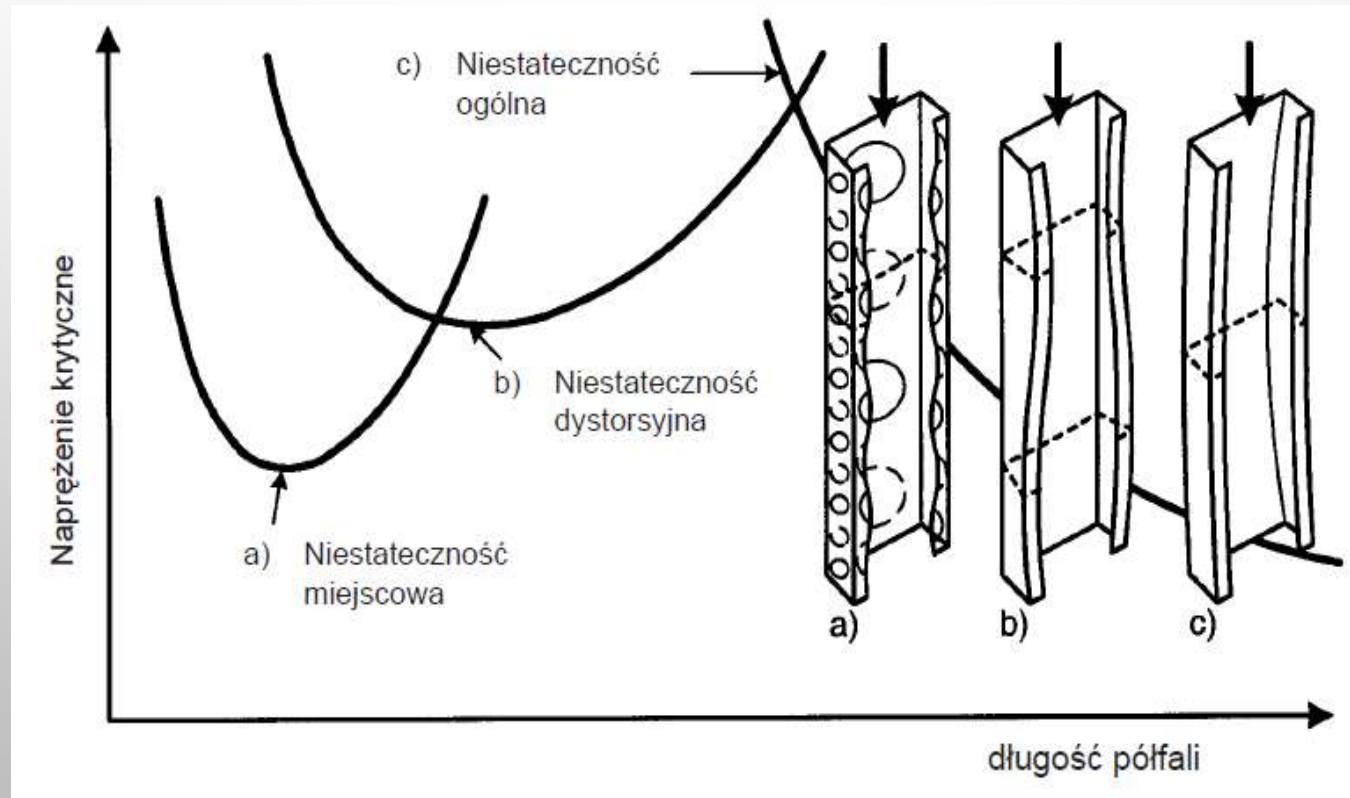
CHARAKTERYSTYKA ZACHOWANIA SIĘ PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

Interakcja lokalnego i globalnego wyboczenia

Oczywistym jest, że lokalne wyboczenie ma wpływ na nośność odcinka poddanego obciążeniu osiowemu. Przy zastosowaniu metody szerokości efektywnej należy wziąć pod uwagę zmniejszoną (efektywną) powierzchnię A_{eff} przy obliczaniu smukłości elementu prętowego (l_p/i_{eff}) , i $(A_{\text{eff}}/A_g)^{0,5}$ przy określaniu obliczeniowej wytrzymałości $N_d = k \cdot A_{\text{eff}} \cdot f_y / \gamma_M$. Współczynnik wyboczenia k jest pobierany z odpowiednich krzywych wyboczenia (a-d) dla odpowiedniej wartości. Klasyfikacja typów przekrojów pokazuje, że należy unikać elementów bez usztywnień końcowych, ponieważ nośność takich elementów jest stosunkowo mała.

CHARAKTERYSTYKA ZACHOWANIA SIĘ PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

Przykłady form utraty stateczności



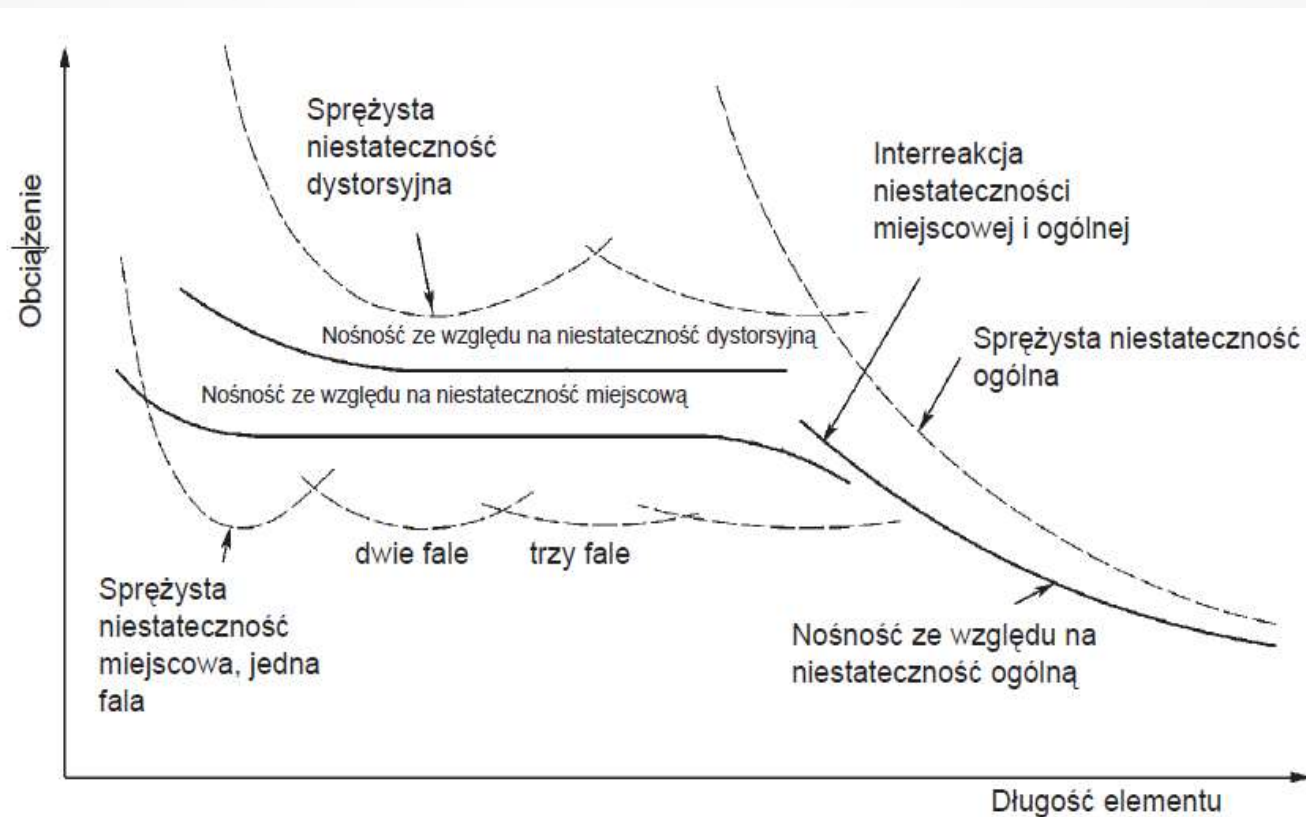
KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA
TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

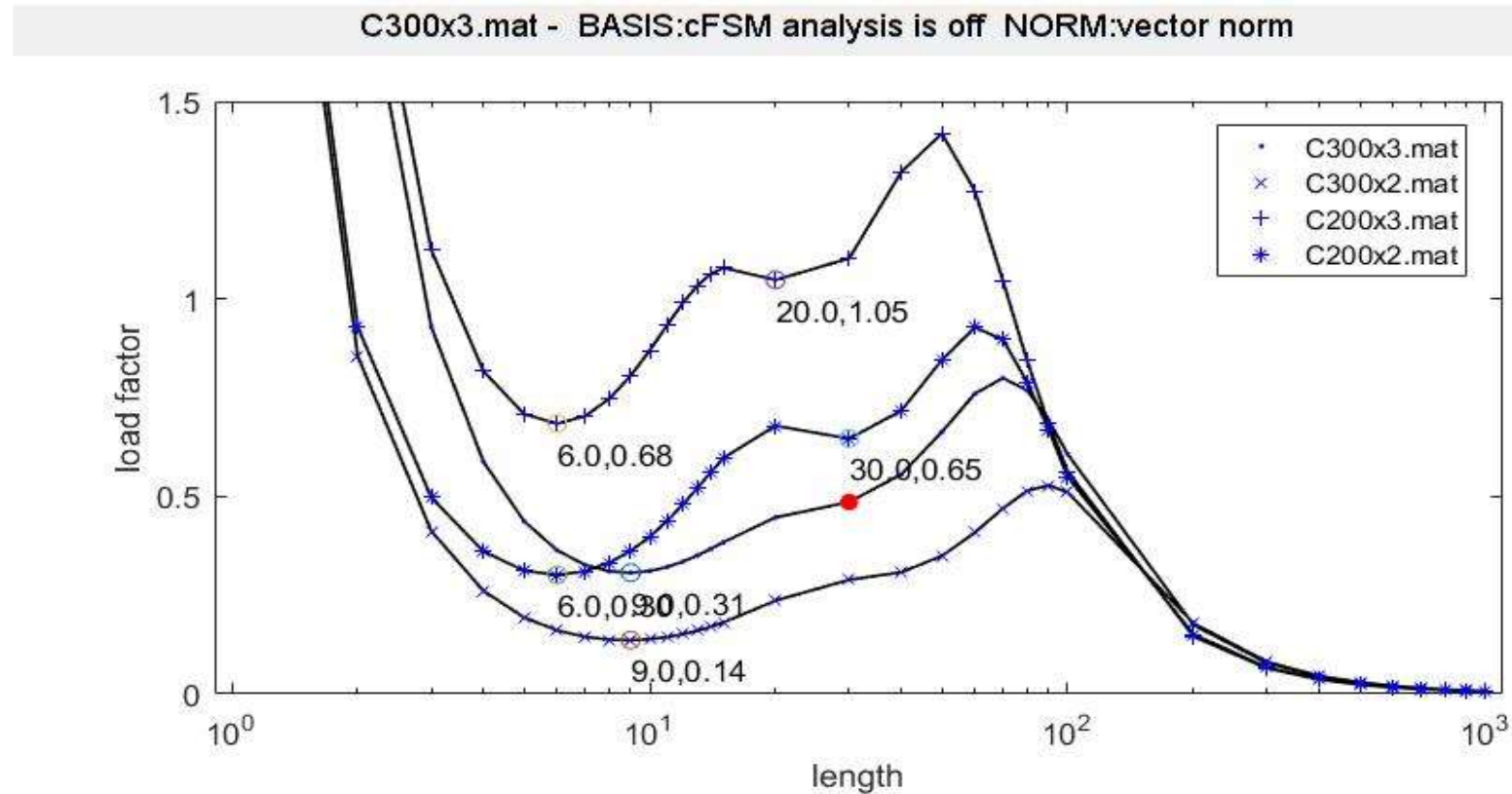
CHARAKTERYSTYKA ZACHOWANIA SIĘ PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

Przykłady form utraty stateczności



CHARAKTERYSTYKA ZACHOWANIA SIĘ PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

Przykłady form utraty stateczności



CHARAKTERYSTYKA ZACHOWANIA SIĘ PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

Teoria Timoshenki

- Ścianki rozważanych elementów, w zależności od smukłości pod naprężeniami ściskającymi lub stycznymi, mogą tracić stateczność lokalnie.
- Pręty, w zależności od kształtu profili i sposobu podparcia oraz obciążenia, mogą w różny sposób reagować na skutki skręcania. W elementach ściskanych lub zginanych wpływ ten może mieć większe lub mniejsze znaczenie.
- Łączne rozpatrzenie obu czynników przy ocenie nośności elementów jest zagadnieniem złożonym (nieprzydatnym z praktycznego punktu widzenia).
- Rozpatruje się dwie teorie opisujące powyższe zjawiska:
 - A. teoria prętów cienkościennych Własowa (nie uwzględnia lokalnej utraty stateczności),
 - B. teoria nośności nadkrytycznej Wintera (nie uwzględnia skutków skręcania)

KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA
TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

CHARAKTERYSTYKA ZACHOWANIA SIĘ PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

Teoria Timoshenki



Stepan Prokofyevich Timoshenko
23.12.1878 Shpotovka, 29.05.1972 Wuppertal



Vasily Zacharovich Vlasov
24.02.1906 Tarus - 7.07.1958 Moskwa

CHARAKTERYSTYKA ZACHOWANIA SIĘ PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

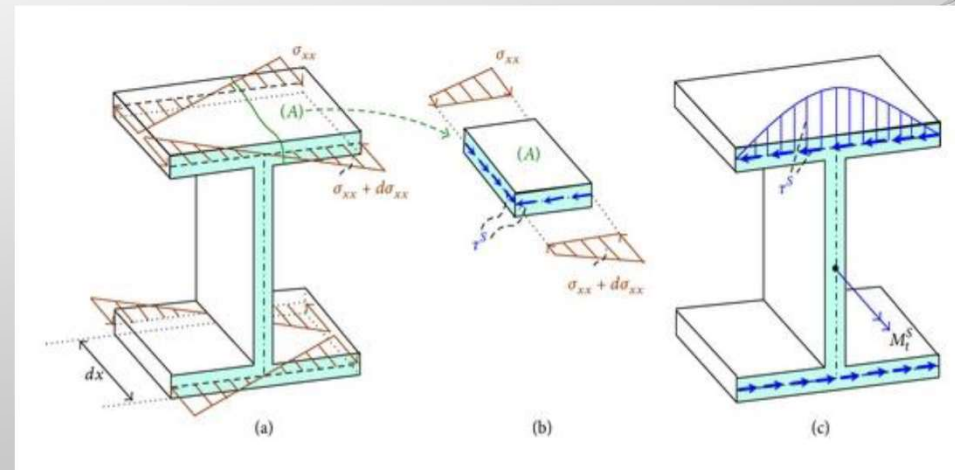
Teoria Timoshenki

Podstawowe założenia:

- hipoteza sztywnego konturu przekrój pręta odkształconego pod obciążeniem ma taki sam kontur jak przed obciążeniem, może się tylko obracać i przemieszczać w swojej płaszczyźnie, w wyniku skręcania przestaje być płaski i ulega spaczeniu,
- pręt rozpatruje się jako powłokę pryzmatyczną,
- zerowe odkształcenia powierzchni środkowych (dotyczy przekrojów otwartych)

Przemieszczenia przekroju i odpowiadające im siły przekrojowe:

- przemieszczanie → siła osiowa N powodująca odkształcenia wzdłuż pręta,
- obroty wokół osi głównych → momenty M powodujące obrót przekroju,
- paczenie (deplanacja) → bimoment B , podwójna para sił powodująca wzajemny obrót dwóch płaszczyzn.



CHARAKTERYSTYKA ZACHOWANIA SIĘ PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

Skrećanie nieswobodne

Charakterystyki geometryczne:

- współrzędne wycinkowe ω
- wycinkowy moment bezwładności I_ω
- środek ścinania.

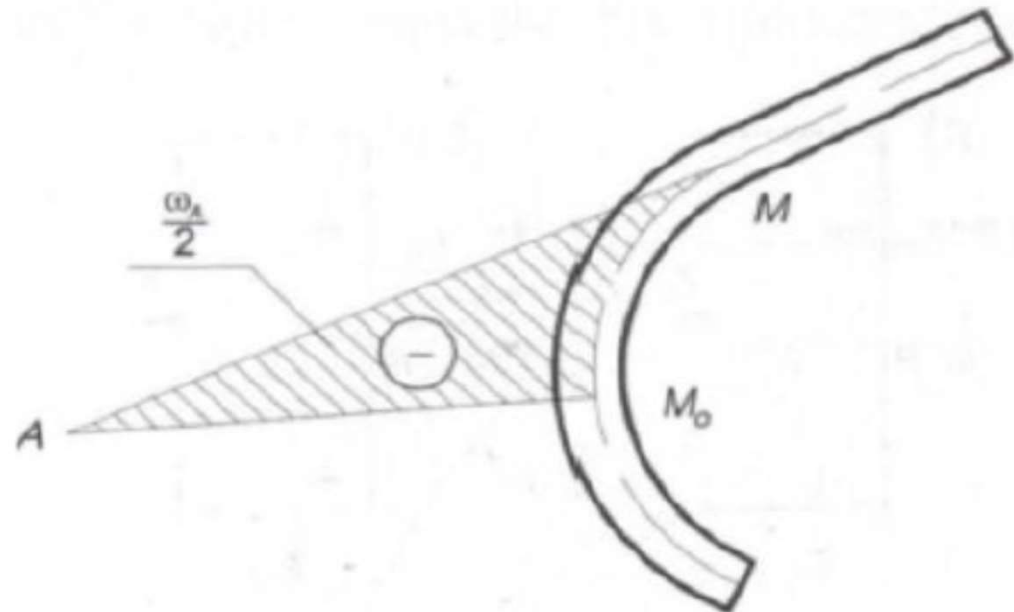
Profil sprowadza się do konturu w linii środkowej profilu. Punkty konturu definiują trzy współrzędne: y , z , ω

$$\omega_A = - \int_{\alpha}^{\beta} r_w^2 d\theta = - \int_{s_1}^{s_2} r_w^2 ds,$$

Gdzie $r_w = f(\theta)$ jest funkcją określającą kształt konturu.

$$I_\omega = \int_A \omega^2 dA.$$

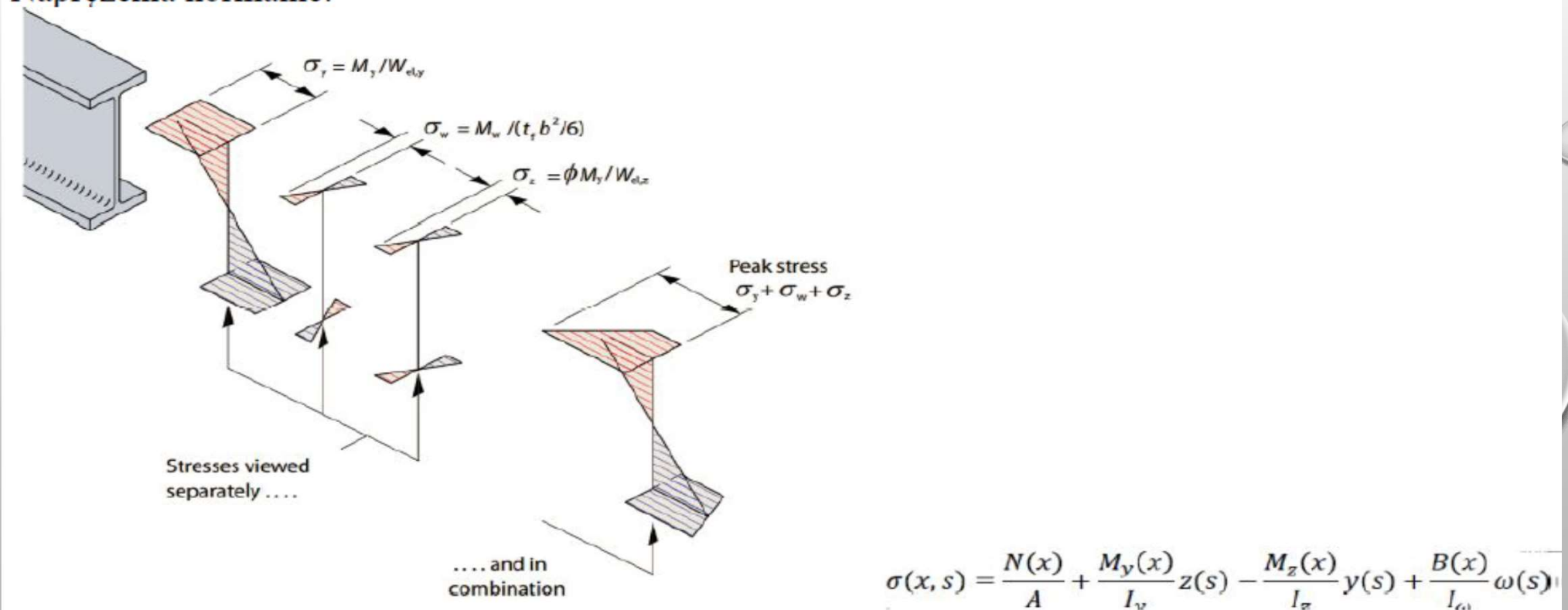
W środku ścinania $\int_A \sigma \omega dA = 0$



CHARAKTERYSTYKA ZACHOWANIA SIĘ PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

Skrećanie nieswobodne

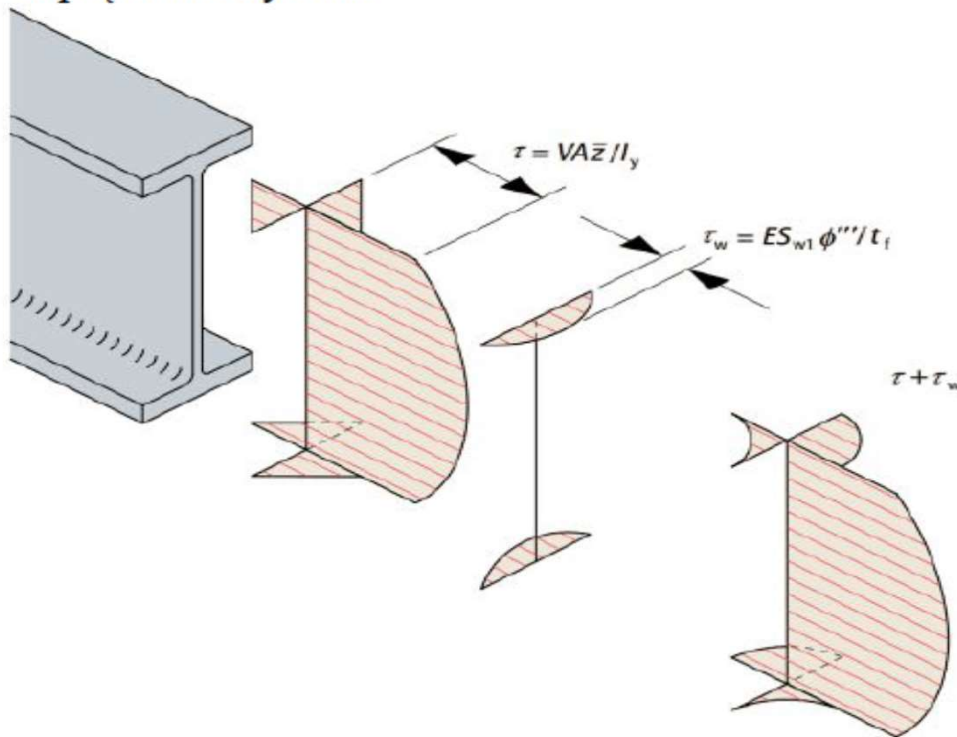
Naprężenia normalne:



CHARAKTERYSTYKA ZACHOWANIA SIĘ PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

Skrećanie nieswobodne

Naprężenia styczne



$$\tau = -\frac{V_z S_y}{t I_y} - \frac{V_y S_z}{t I_z} - \frac{M_\omega S_\omega}{t I_\omega} \pm \frac{M_t}{I_t} t$$

KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

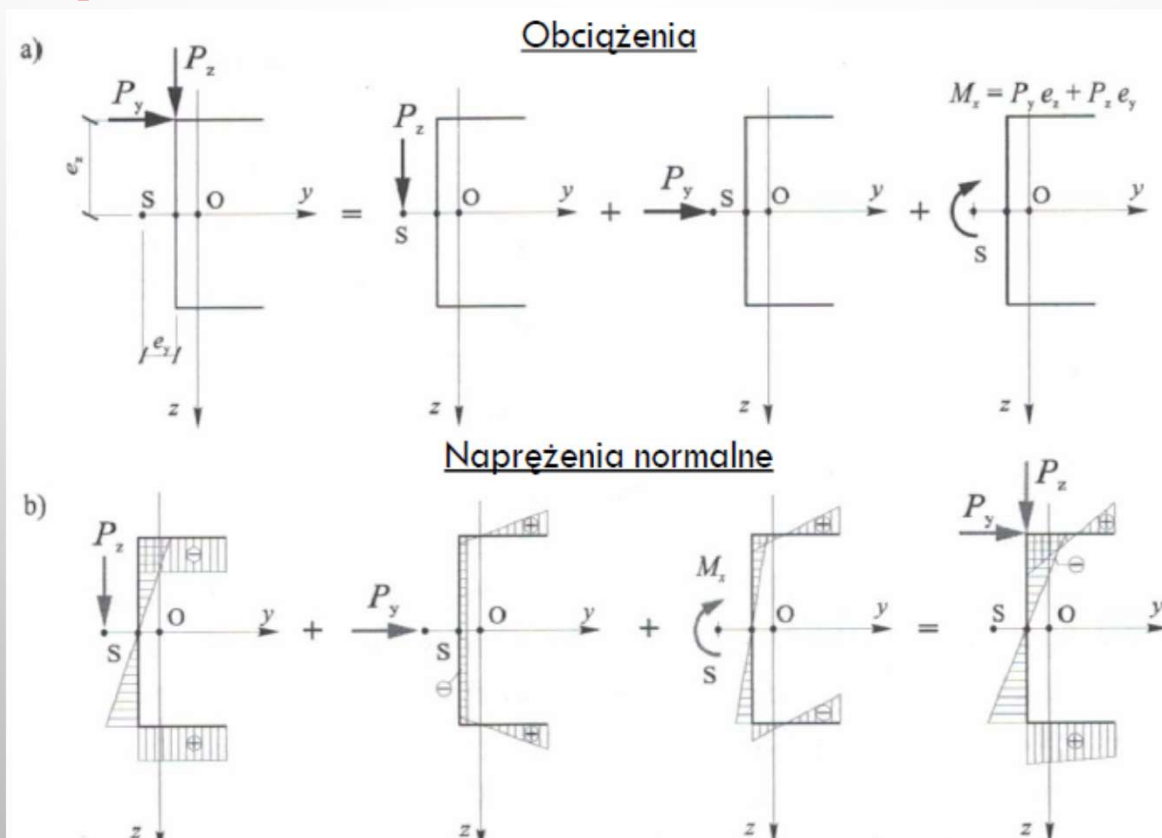
W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA

TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

CHARAKTERYSTYKA ZACHOWANIA SIĘ PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

Rozkłady składowych naprężeń dla ceownika



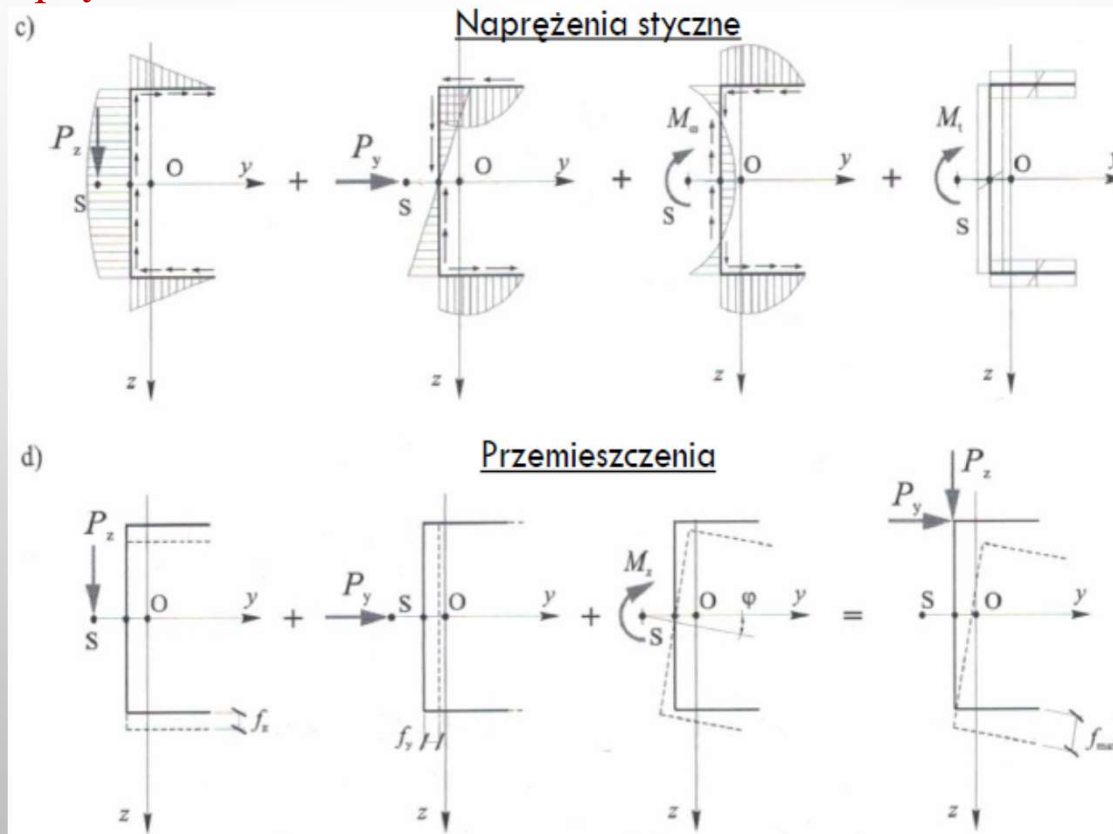
KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA
TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

CHARAKTERYSTYKA ZACHOWANIA SIĘ PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

Rozkłady składowych naprężeń dla ceownika



CHARAKTERYSTYKA ZACHOWANIA SIĘ PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

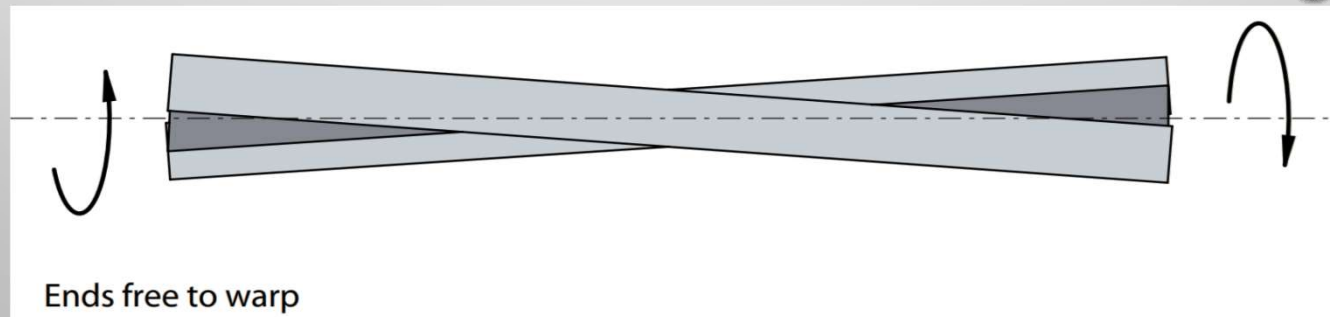
Skrećanie swobodne (czyste)

Teoria opracowana przez Saint Venanta i Bredta przyjmuje, że odkształcenie pręta pryzmatycznego składa się z:

- obrotu poprzecznego wokół osi do niego prostopadłej, przechodzącej przez środek ścinania,
- jednakowej deplanacji wszystkich przekrojów.

Taka swoboda deplanacji występuje, gdy:

- na pryzmatyczny pręt oddziałują dwa równoważące się momenty skręcające,
- kąt skręcenia jest infinytezymalny (można pominąć zmiany odległości wzajemnych końców pręta zakrzywiających się śrubowo).



KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA
 TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

CHARAKTERYSTYKA ZACHOWANIA SIĘ PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

Skrećanie swobodne (czyste)

Kąt skrećania:

$$\varphi = \frac{M\ell}{GI_T}$$

Deplanacja:

$$\varphi' = \frac{M}{GI_T}$$

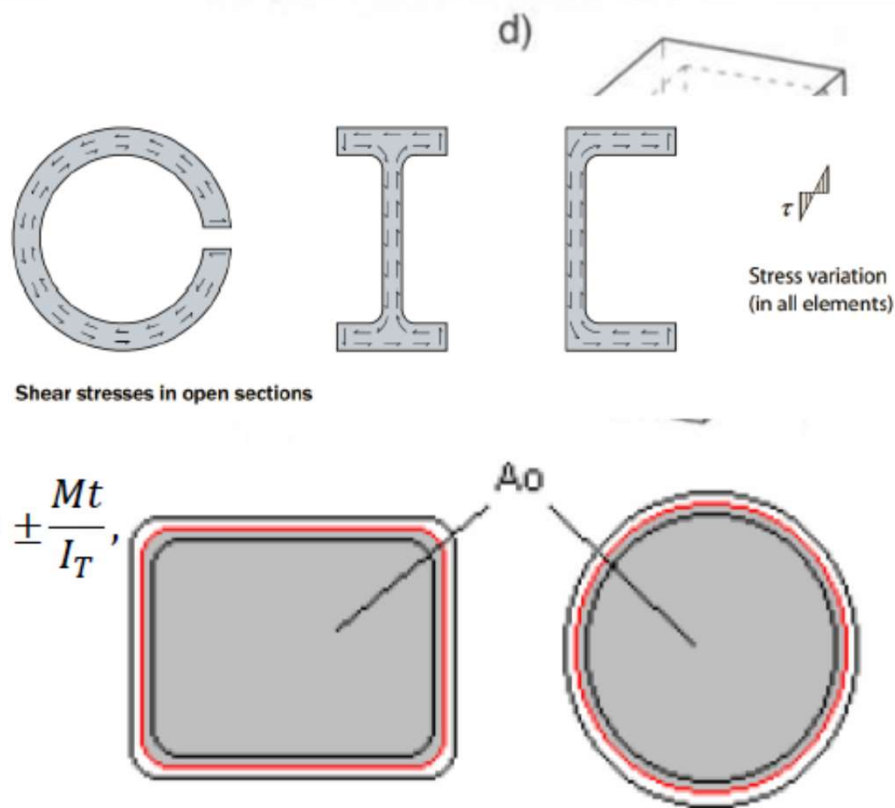
Naprężenia styczne

- profil otwarty:

$$\tau_T = \pm \frac{2M\delta}{I_T}, \quad \tau_{T,\max} = \pm \frac{Mt}{I_T}$$

- profil zamknięty:

$$\tau_T = \tau_{T,\max} = \frac{M}{A_o t}$$



CHARAKTERYSTYKA ZACHOWANIA SIĘ PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

Skrećanie nieswobodne (skrepowane)

Występuje w sytuacji, gdy nie mamy do czynienia ze swobodą deplanacji przekroju.

Moment skrecający M_x jest sumą efektów momentu giętno - skretnego M_ω i czystego skrećania M_T

$$M_x = M_\omega + M_T$$

Moment giętno - skretny wyznaczony na podstawie zależności na naprećzenia styczne τ_ω przyjmuje postać:

$$M_\omega = -E \cdot I_\omega \cdot \varphi^3,$$

wówczas otrzymuje się, że:

$$M_x = M_\omega + M_T = G \cdot I_T \cdot \varphi^1 - E \cdot I_\omega \cdot \varphi^3,$$

a po jednokrotnym zróżniczkowaniu otrzymuje się równanie kątów skrećania pręta skrepowanego:

$$E \cdot I_\omega \cdot \varphi^4 - G \cdot I_T \cdot \varphi^2 = m_x(x)$$

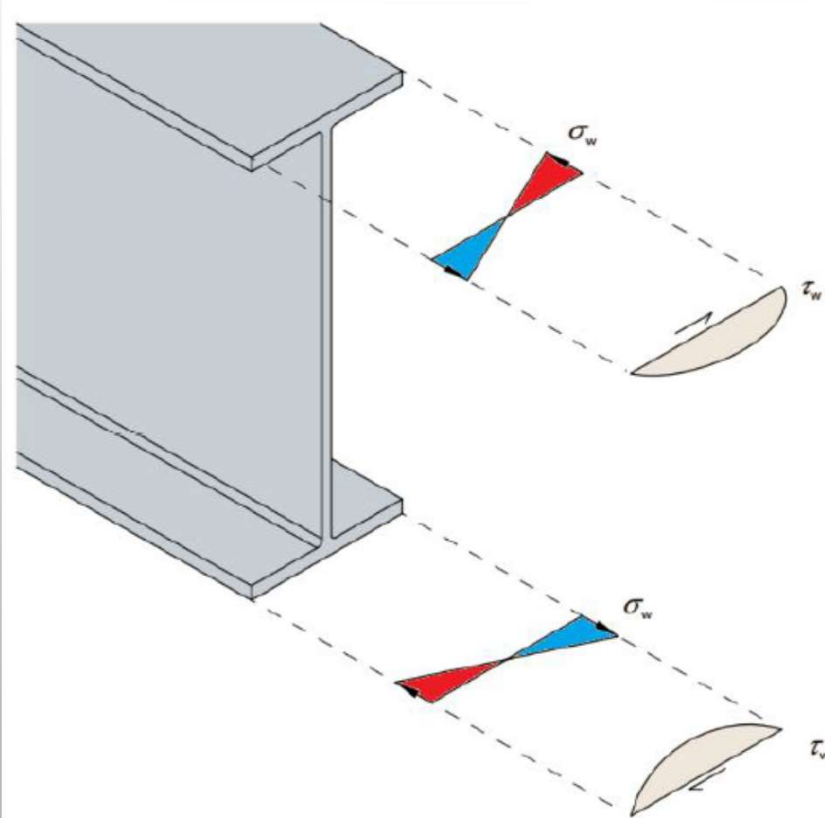
KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA
 TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

CHARAKTERYSTYKA ZACHOWANIA SIĘ PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

Skrećanie nieswobodne (skrećpowane)



Naprężenia normalne:

$$\sigma_{\omega} = \frac{B\omega}{I_{\omega}}$$

Naprężenia styczne

$$\tau = \tau_T + \tau_{\omega}$$

• styczne wycinkowe

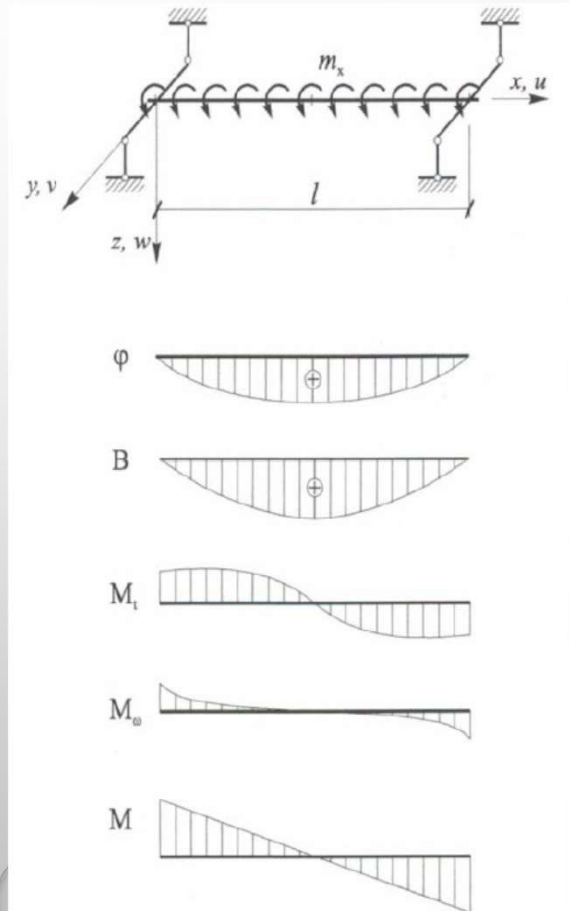
$$\tau_{\omega} = \frac{M_{\omega}S_{\omega}}{I_{\omega}t}$$

➤ profile otwarte

$$\tau = \pm \frac{M_T t}{I_T} + \frac{M_{\omega} S_{\omega}}{I_{\omega} t}$$

➤ profile zamknięte

$$\tau = \pm \frac{M_T}{A_{ot} t} + \frac{M_{\omega} S_{\omega}}{I_{\omega} t}$$



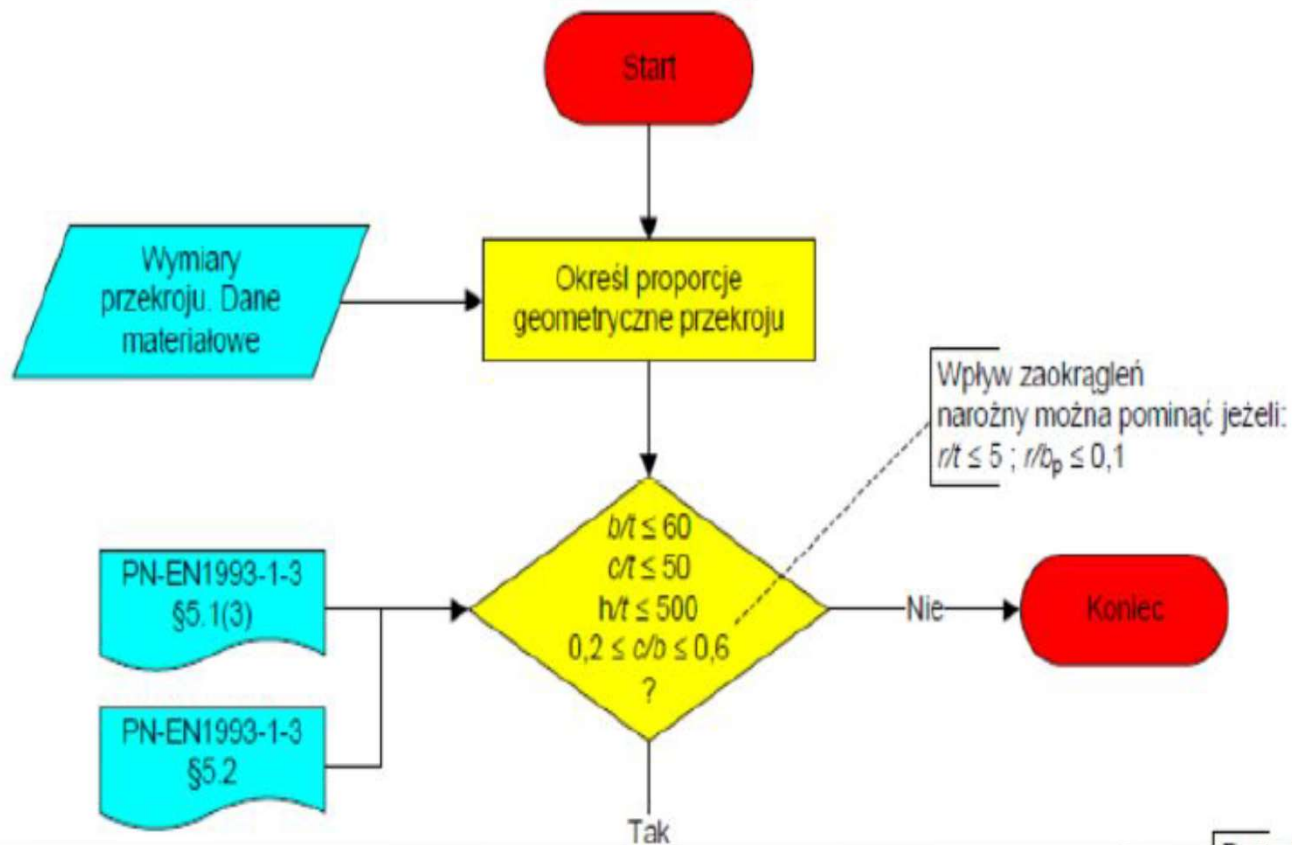


KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA
TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

OKREŚLANIE CHARAKTERYSTYK EFEKTYWNYCH PRZEKROJU CIENKOŚCIENNEGO

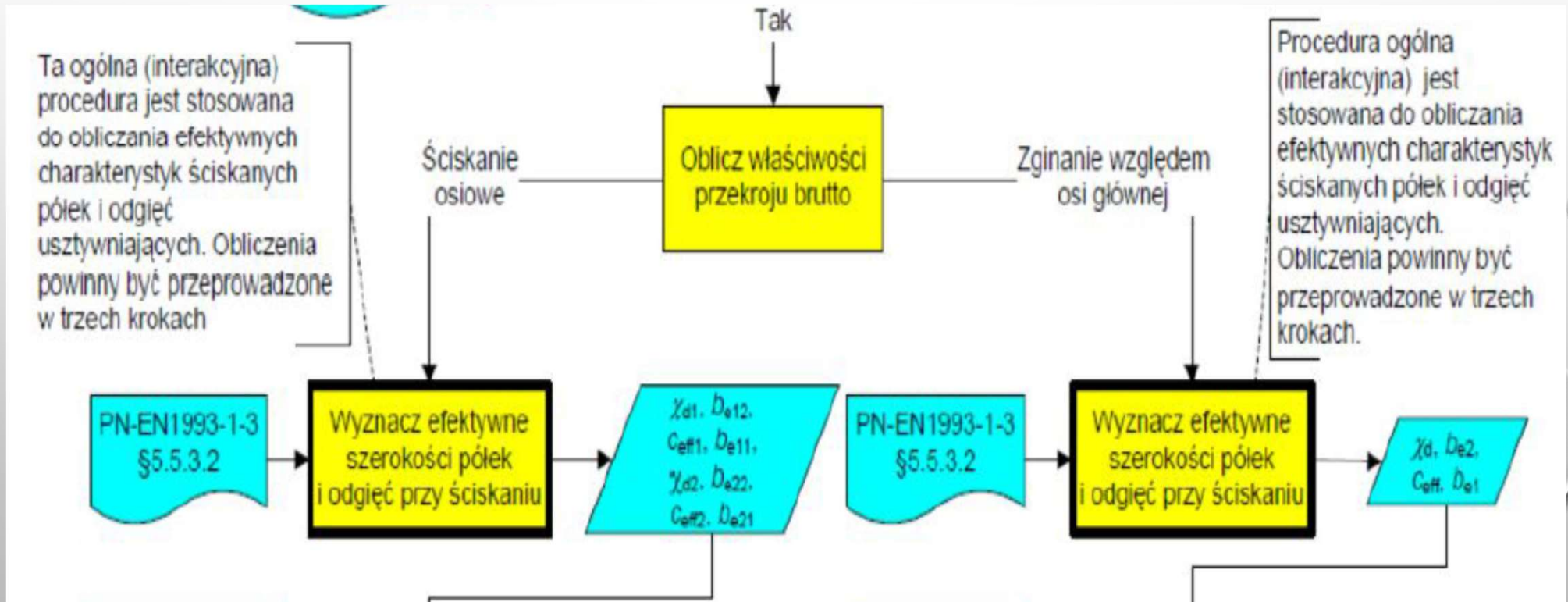


KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA
TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

OKREŚLANIE CHARAKTERYSTYK EFEKTYWNYCH PRZEKROJU CIENKOŚCIENNEGO



KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

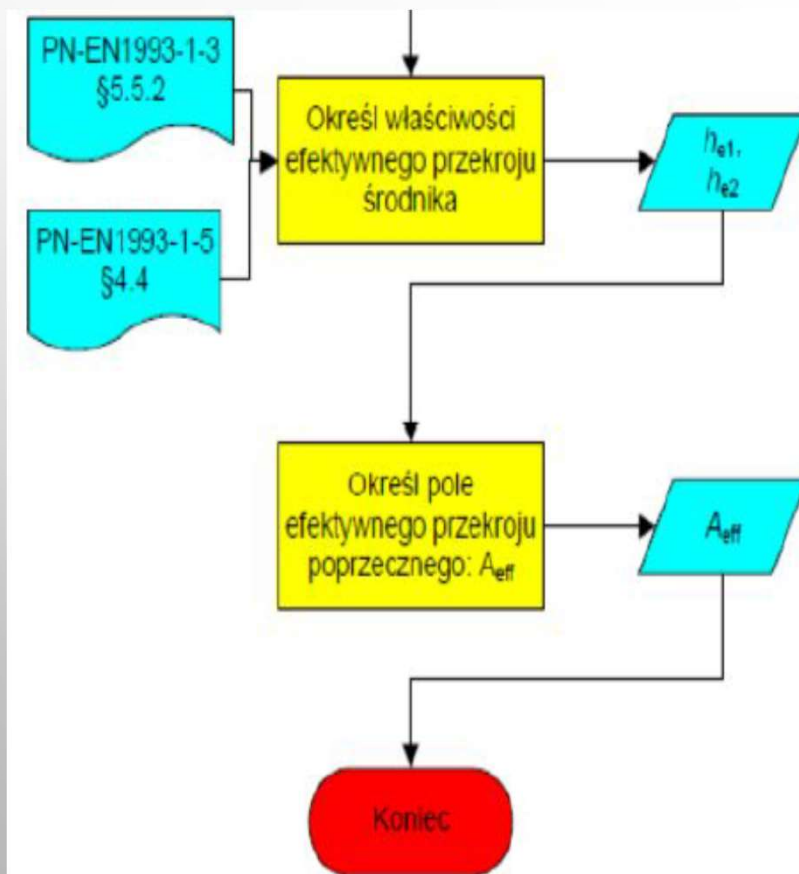
W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA

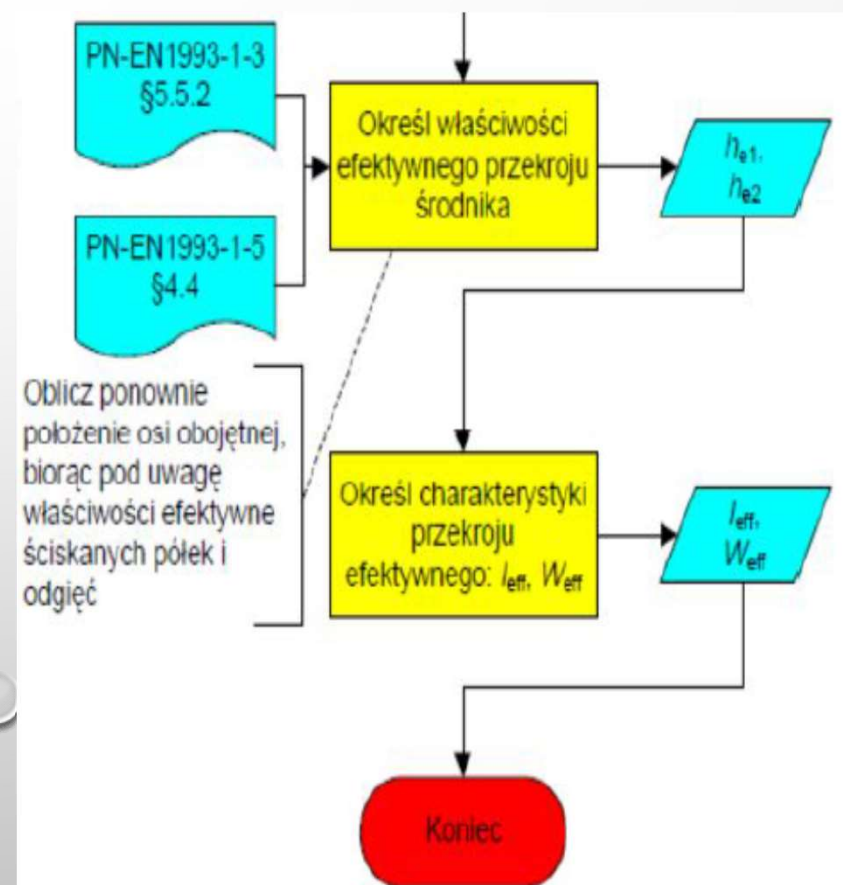
TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

OKREŚLANIE CHARAKTERYSTYK EFEKTYWNYCH PRZEKROJU CIENKOŚCIENNEGO

ŚCISKANIE



ZGINANIE



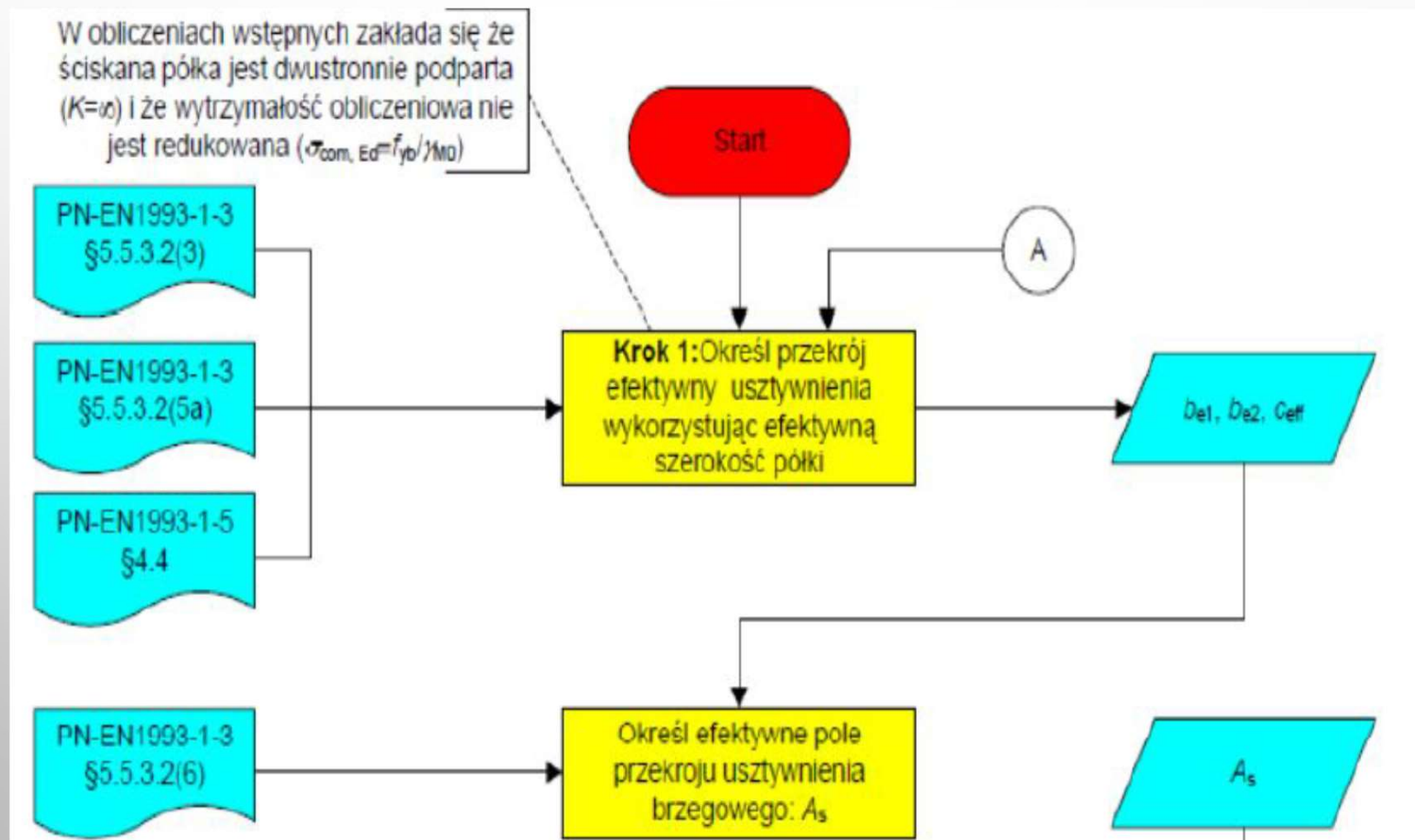


KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA
TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

OKREŚLANIE CHARAKTERYSTYK EFEKTYWNYCH PRZEKROJU CIENKOŚCIENNEGO



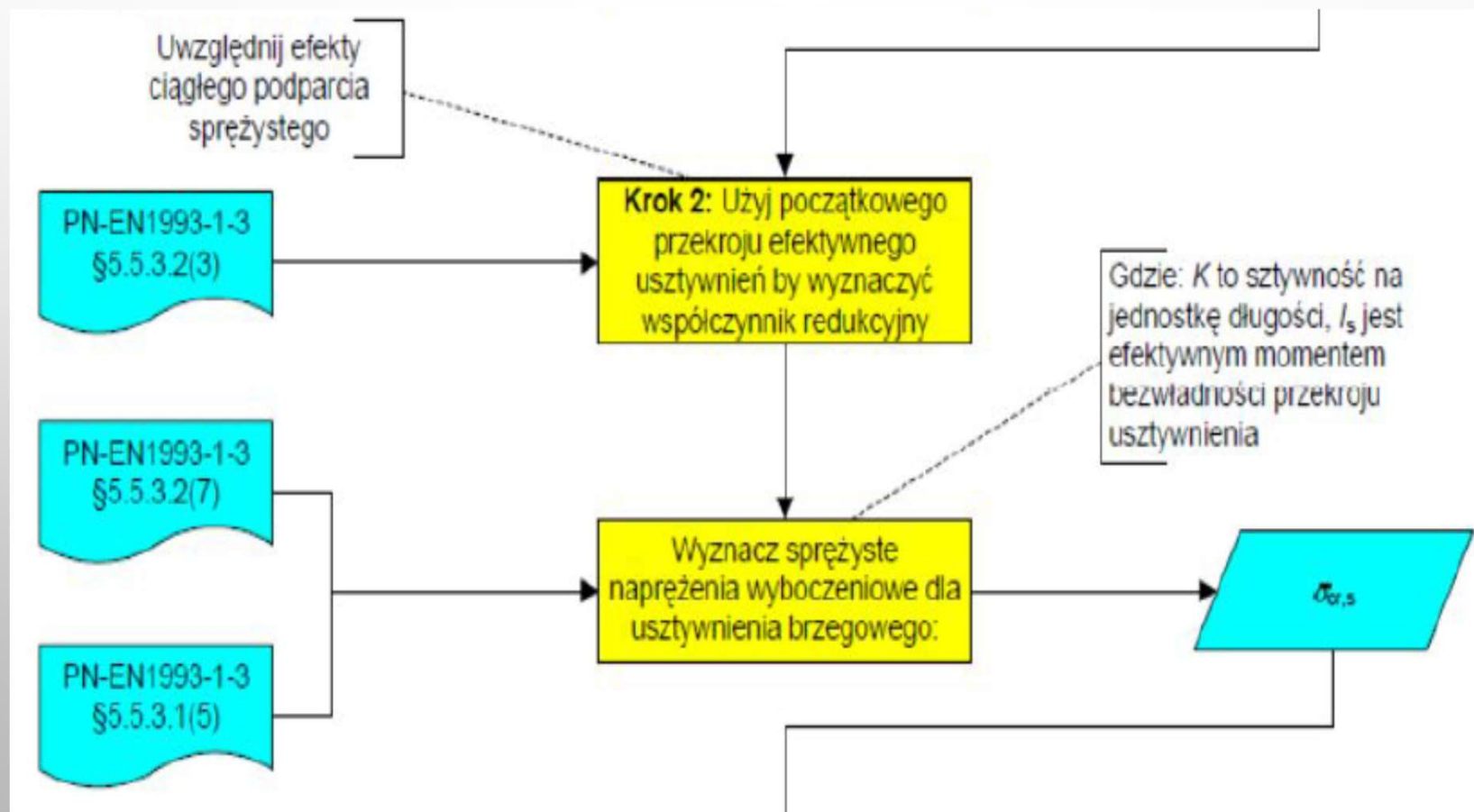


KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA
TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

OKREŚLANIE CHARAKTERYSTYK EFEKTYWNYCH PRZEKROJU CIENKOŚCIENNEGO



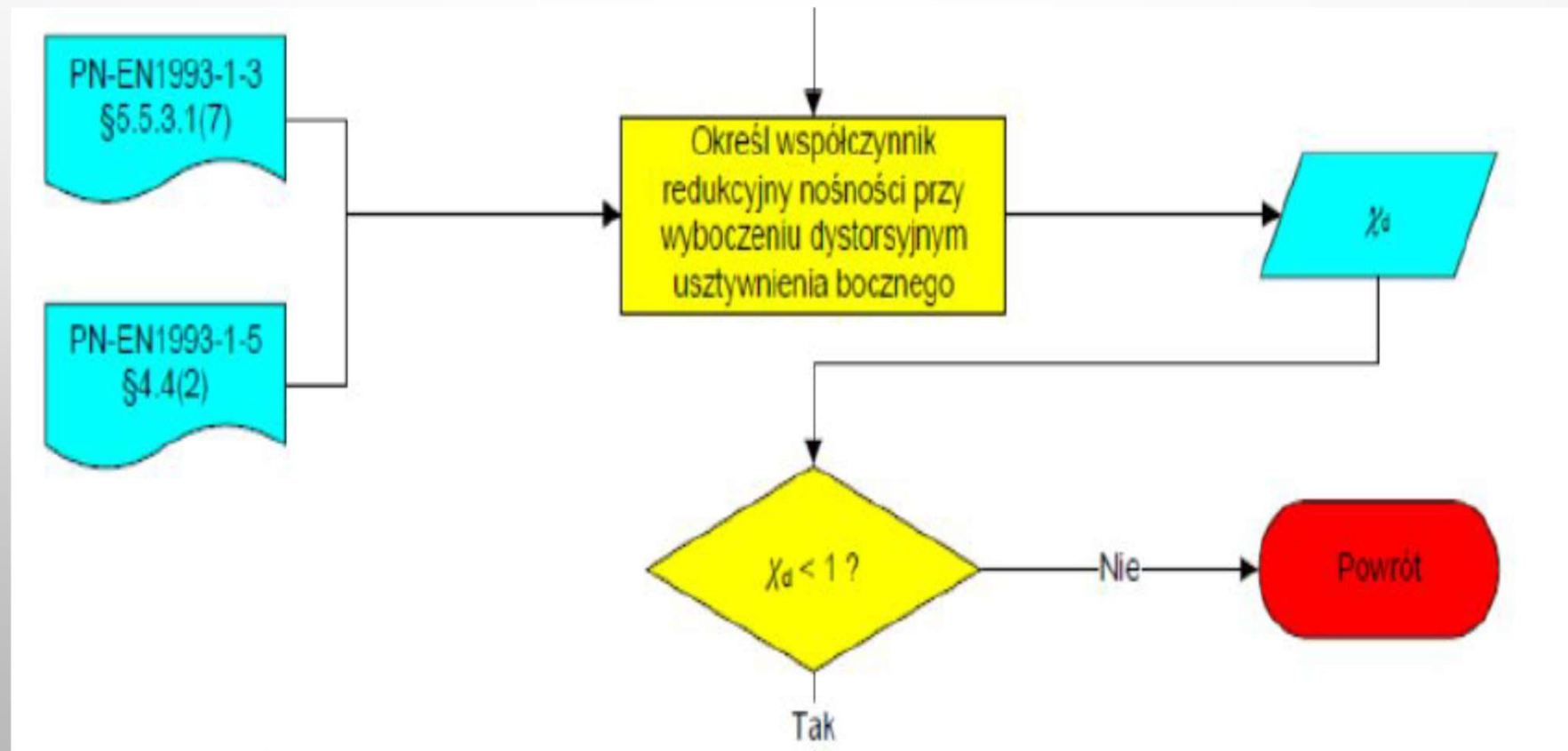


KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA
TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

OKREŚLANIE CHARAKTERYSTYK EFEKTYWNYCH PRZEKROJU CIENKOŚCIENNEGO



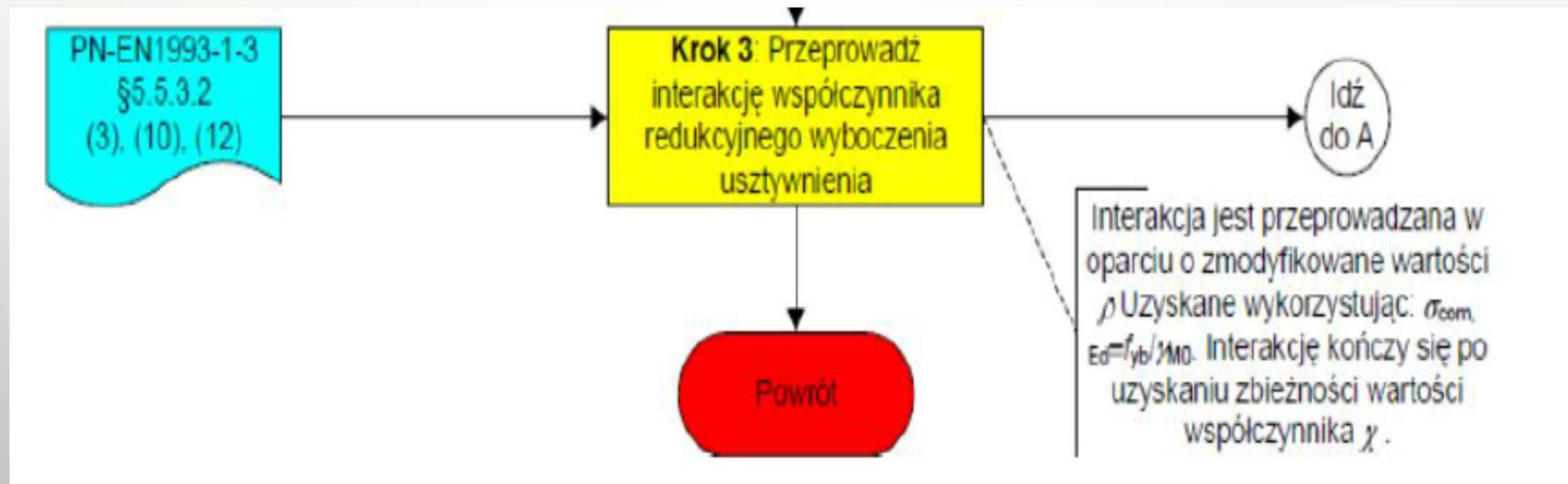


KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA
TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

OKREŚLANIE CHARAKTERYSTYK EFEKTYWNYCH PRZEKROJU CIENKOŚCIENNEGO

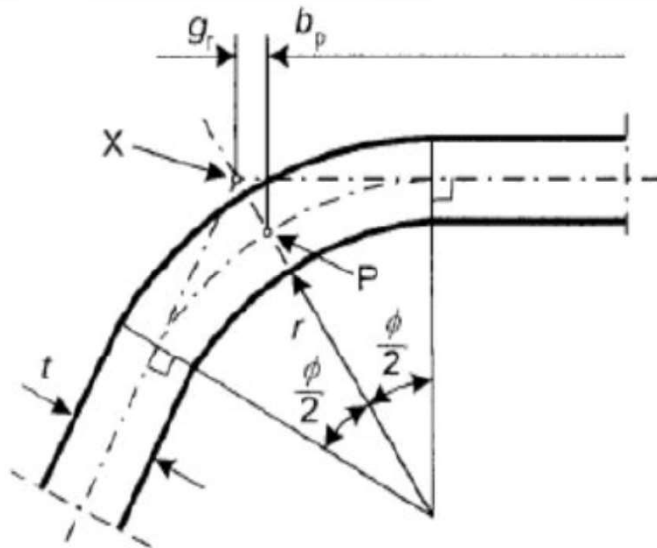


OKREŚLANIE CHARAKTERYSTYK EFEKTYWNYCH PRZEKROJU CIENKOŚCIENNEGO

Ścianki bez usztywnień

Szerokości współpracujące ścianek nieusztywnionych wyznacza się wg EN 1993-1-5, mnożąc umowne szerokości części płaskich $b_p = \bar{b}$ przez współczynniki redukcyjne niestateczności miejscowej zależne od smukłości płytowej $\bar{\lambda}_p$ ścianki.

Umowne szerokości części płaskich b_p wyznacza się zgodnie z Rysunkami w tablicy. W przypadku śródników nachylonych stosuje się odpowiednie wysokości ukośne.



(a) punkt środkowy naroża lub zagięcia

X – punkt przecięcia linii środkowych

P – punkt środkowy naroża

$$r_m = r + t/2$$

$$g_r = r_m \left(\tan\left(\frac{\phi}{2}\right) - \sin\left(\frac{\phi}{2}\right) \right)$$

KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

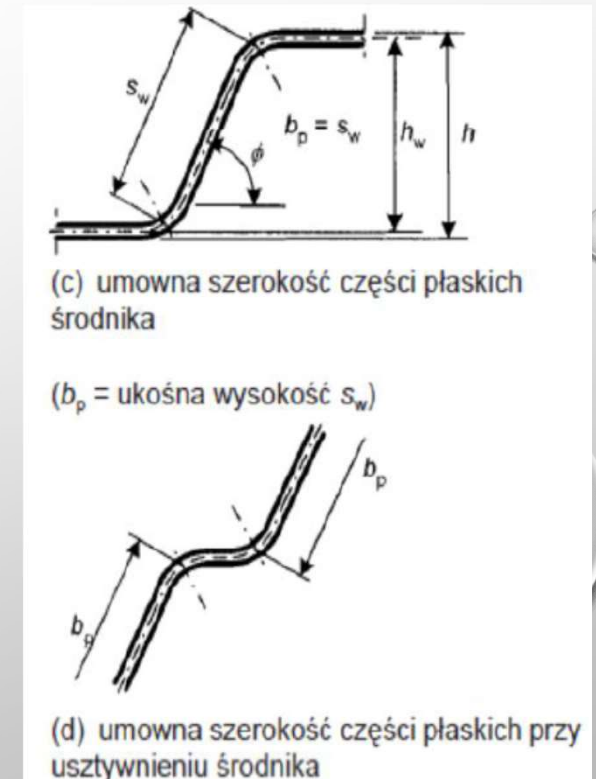
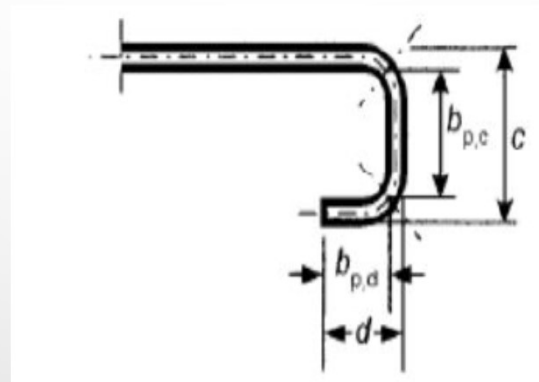
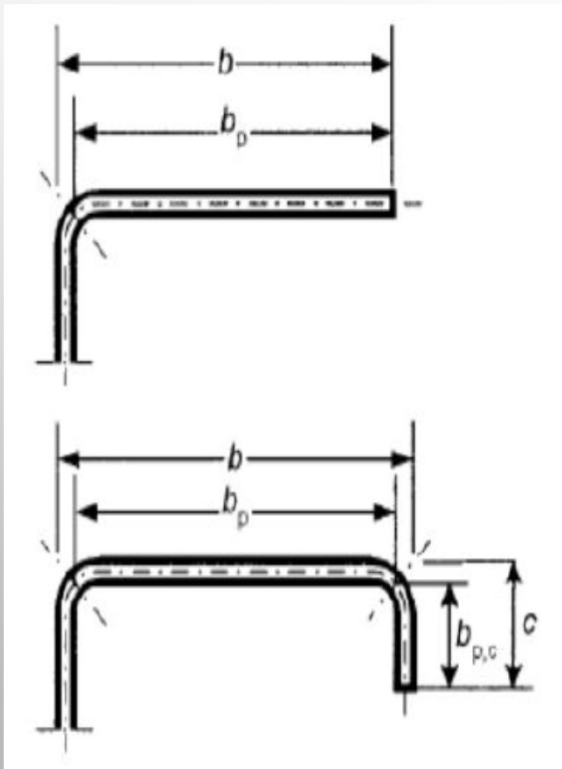
W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA

TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

OKREŚLANIE CHARAKTERYSTYK EFEKTYWNYCH PRZEKROJU CIENKOŚCIENNEGO

Ścianki bez usztywnień

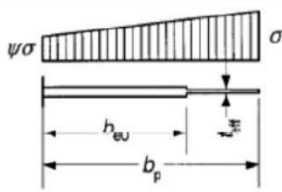
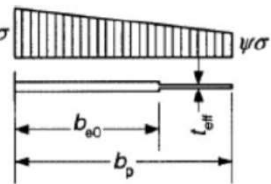
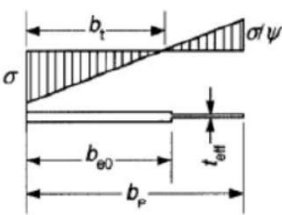
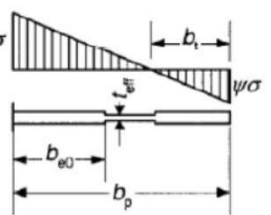


OKREŚLANIE CHARAKTERYSTYK EFEKTYWNYCH PRZEKROJU CIENKOŚCIENNEGO

Ścianki bez usztywnień

Alternatywną metodę obliczania szerokości współpracującej ścianek wspornikowych podano w Załączniku D PN-EN- 1993-1-3.

Tablica D.1: Ściskane ścianki wspornikowe

Maksymalne ściskanie na brzegu swobodnym			Maksymalne ściskanie na brzegu podpartym		
Rozkład naprężeń	Efektywna szerokość i grubość	Parametr niestateczności miejscowej	Rozkład naprężeń	Efektywna szerokość i grubość	Parametr niestateczności miejscowej
	$1 \geq \psi \geq 0$ $b_{e0} = 0,42b_p$ $t_{eff} = (1,75\rho - 0,75)t$	$1 \geq \psi \geq -2$ $k_\sigma = \frac{1,7}{3 + \psi}$		$1 \geq \psi \geq 0$ $b_{e0} = 0,42b_p$ $t_{eff} = (1,75\rho - 0,75)t$	$1 \geq \psi \geq 0$ $k_\sigma = \frac{1,7}{1 + 3\psi}$
	$\psi < 0$ $b_{e0} = \frac{0,42b_p}{(1 - \psi)} + b_t < b_p$ $b_t = \frac{\psi b_p}{(\psi - 1)}$ $t_{eff} = (1,75\rho - 0,75 - 0,15\psi)t$	$-2 > \psi \geq -3$ $k_\sigma = 3,3(1 + \psi) + 1,25\psi^2$		$\psi < 0$ $b_{e0} = \frac{0,42b_p}{(1 - \psi)}$ $b_t = \frac{\psi b_p}{(\psi - 1)}$ $t_{eff} = (1,75\rho - 0,75)t$	$0 \geq \psi \geq -1$ $k_\sigma = 1,7 - 5\psi + 17,1\psi^2$
		$\psi < -3$ $k_\sigma = 0,29(1 - \psi)^2$		$\psi < -1$ $k_\sigma = 5,98(1 - \psi)^2$	

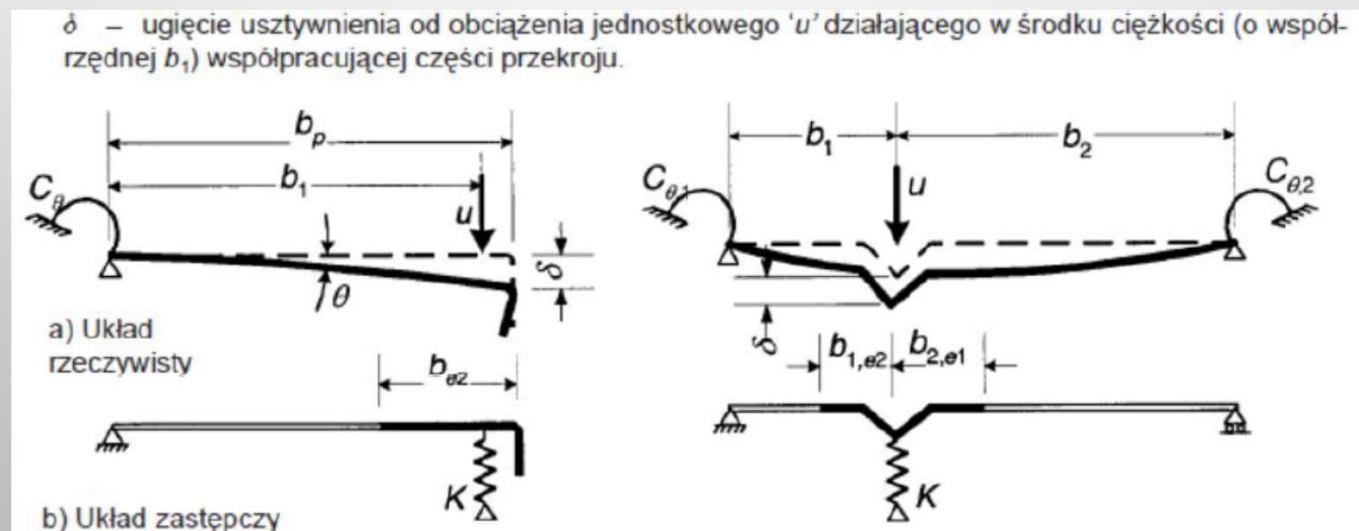
OKREŚLANIE CHARAKTERYSTYK EFEKTYWNYCH PRZEKROJU CIENKOŚCIENNEGO

Ścianki z usztywnieniami brzegowymi lub pośrednimi

Obliczając ścianki ściskane, usztywnienie traktuje się jako element ściskany z ciągłym częściowym zamocowaniem, o sztywności sprężystej, zależnej od warunków brzegowych i sztywności na zginanie ścianki sąsiedniej.

Sztywność usztywnienia wyznacza się przykładając obciążenie jednostkowe na jednostkę długości 'u'.

Jednostkową sztywność translacyjną K wyznacza się wg zależności: $K = u / \delta$



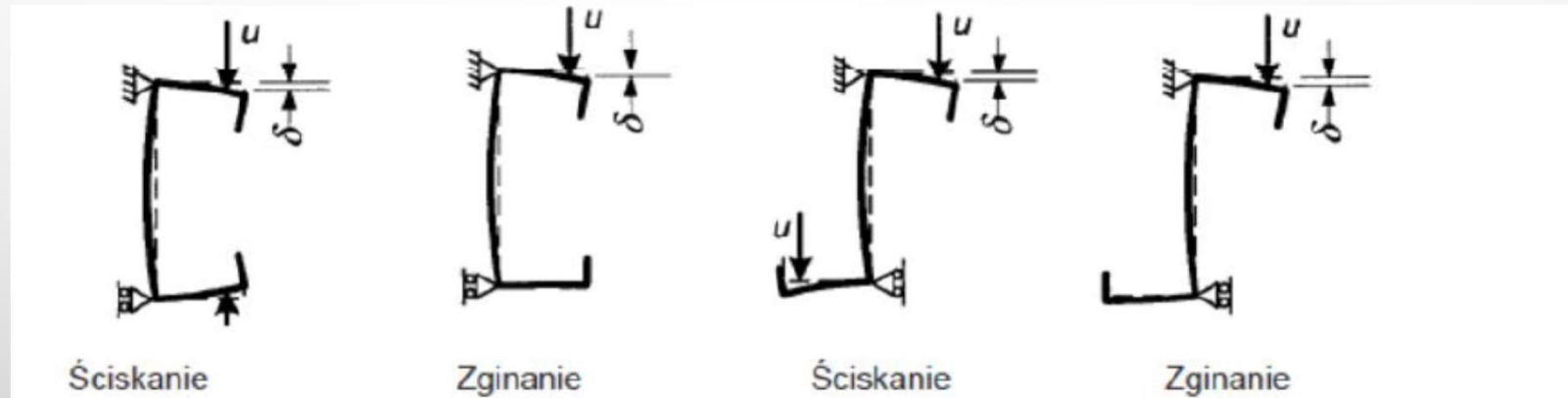
KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA
 TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

OKREŚLANIE CHARAKTERYSTYK EFEKTYWNYCH PRZEKROJU CIENKOŚCIENNEGO

Ścianki z usztywnieniami brzegowymi lub pośrednimi



Wyznaczając sztywności obrotowe C_θ , $C_{\theta,1}$ i $C_{\theta,2}$ na podstawie geometrii przekroju, należy brać pod uwagę ewentualny wpływ pozostałych usztywnień rozpatrywanej ścianki, jak również innych ścianek przekroju poddanych ściskaniu.

Ugięcie usztywnienia brzegowego δ oblicza się według wzoru:

$$\delta = \theta b_p + \frac{u b_p^3}{3} \cdot \frac{12(1-\nu^2)}{Et^3}$$

gdzie

$$\theta = u b_p / C_\theta$$

KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA
TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

OKREŚLANIE CHARAKTERYSTYK EFEKTYWNYCH PRZEKROJU CIENKOŚCIENNEGO

Ścianki z usztywnieniami brzegowymi lub pośrednimi

W przypadku usztywnień brzegowych w ceownikach i zetownikach wielkość C_0 wyznacza się, przykładając obciążenie jednostkowe 'u'. Sztywność translacyjna K_1 pasa wyraża się wzorem:

$$K_1 = \frac{Et^3}{4(1-\nu^2)} \cdot \frac{1}{b_1^2 h_w + b_1^3 + 0,5b_1 b_2 h_w k_f}$$

KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA
TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

OKREŚLANIE CHARAKTERYSTYK EFEKTYWNYCH PRZEKROJU CIENKOŚCIENNEGO

Ścianki z usztywnieniami brzegowymi lub pośrednimi

W przypadku usztywnień pośrednich ich sztywności obrotowe C_{q1} i C_{q2} można przyjmować równe zero.

Ugięcia δ można wyznaczyć ze wzoru:

$$\delta = \frac{ub_1^2 b_2^2}{3(b_1 + b_2)} \cdot \frac{12(1 - \nu^2)}{Et^3}$$

Współczynnik redukcyjny χ_d ze względu na wyboczenie dystorsyjne (wyboczenie giętne) usztywnienia jest uzależniony od smukłości względnej λ_d według:

$$\begin{aligned} \chi_d &= 1,0 & \text{gd}y \quad \bar{\lambda}_d &\leq 0,65 \\ \chi_d &= 1,47 - 0,723\bar{\lambda}_d & \text{gd}y \quad 0,65 < \bar{\lambda}_d < 1,38 \\ \chi_d &= \frac{0,66}{\bar{\lambda}_d} & \text{gd}y \quad \bar{\lambda}_d &\geq 1,38 \end{aligned}$$

Smukłość względną λ_d oblicza się ze wzoru:

$$\bar{\lambda}_d = \sqrt{f_{y,b} / \sigma_{cr,s}}$$

gdzie $\sigma_{cr,s}$ są naprężeniami krytycznymi dla usztywnienia.

KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA

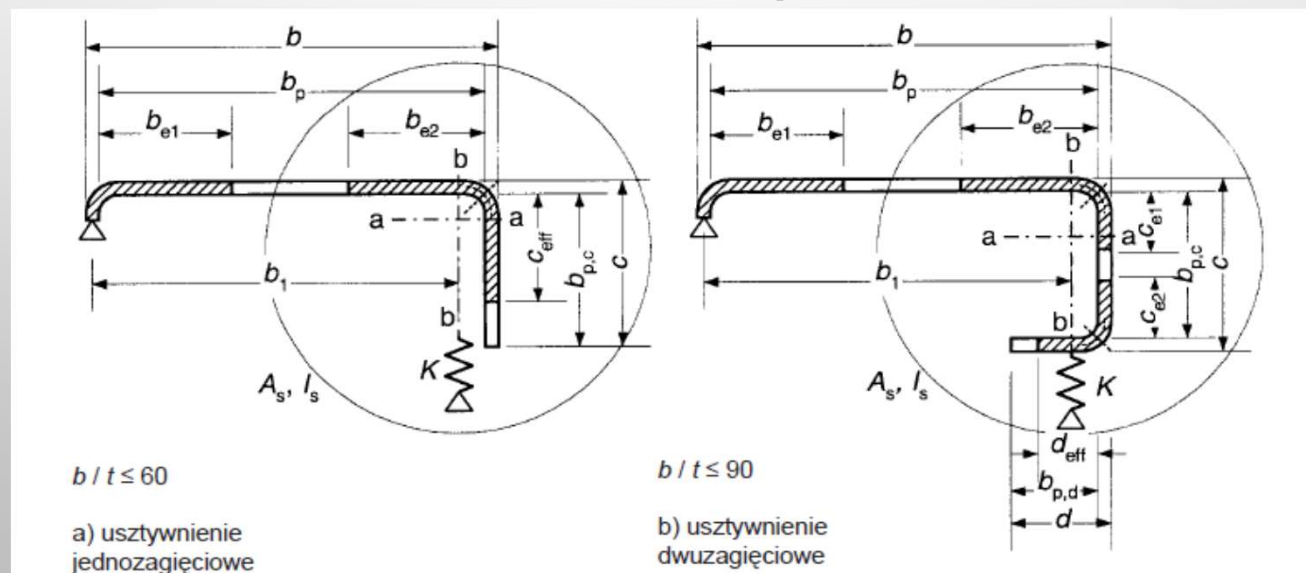
TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO



OKREŚLANIE CHARAKTERYSTYK EFEKTYWNYCH PRZEKROJU CIENKOŚCIENNEGO

Ścianki płaskie z usztywnieniami brzegowymi

Jeśli spełnione są wymagania proporcji geometrycznych przekroju, a kąt między usztywnieniem a ścianką wynosi od 45° do 135° , to w odniesieniu do usztywnień brzegowych można stosować poniższą procedurę. Przyjmuje się, że przekrój poprzeczny usztywnienia brzegowego składa się z efektywnych części usztywnienia – elementu c lub elementów c i d , oraz efektywnych części ścianki usztywnionej b_p .



OKREŚLANIE CHARAKTERYSTYK EFEKTYWNYCH PRZEKROJU CIENKOŚCIENNEGO

Ścianki płaskie z usztywnieniami brzegowymi

Krok 1: Wyznacz przekrój efektywny usztywnienia na podstawie szerokości współpracujących uzyskanych przy założeniu, że usztywnienie jest niepodatne, a $\sigma_{\text{com,Ed}} = f_{yb} / \gamma_{M0}$,

Pierwotne wartości szerokości współpracujących b_{e1} i b_{e2} wyznacza się przyjmując że ścianka jest obustronnie podparta.

Początkowe szerokości współpracujące c_{eff} i d_{eff} oblicza się następująco:

a) usztywnienie jednozagięciowe:

$$c_{\text{eff}} = \rho b_{p,c}$$

przy czym ρ – wg 5.5.2, z wyjątkiem wartości k_{σ} określonej jak niżej

– jeśli $b_{p,c} / b_p \leq 0,35$:

$$k_{\sigma} = 0,5$$

– jeśli $0,35 < b_{p,c} / b_p \leq 0,6$:

$$k_{\sigma} = 0,5 + 0,83 \sqrt[3]{(b_{p,c} / b_p - 0,35)^2}$$

b) usztywnienie dwuzagięciowe:

$$c_{\text{eff}} = \rho b_{p,c}$$

$$d_{\text{eff}} = \rho b_{p,d}$$

przy czym ρ dla parametru k_{σ} dla ścianki c – jak dla elementu dwustronnie podpartego, a dla ścianki d – jak dla wspornika

KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA
TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

OKREŚLANIE CHARAKTERYSTYK EFEKTYWNYCH PRZEKROJU CIENKOŚCIENNEGO

Ścianki płaskie z usztywnieniami brzegowymi

Krok 2: Zastosuj tak wyznaczony przekrój do wyznaczenia współczynnika redukcyjnego przy niestateczności dystorsyjnej (wyboczeniu giętnym usztywnienia), uwzględniając wpływ ciągłego sprężystego podparcia bocznego.

Stosownie do typu usztywnienia efektywne pole usztywnienia brzegowego A_s oblicza się według wzorów:

$$A_s = t(b_{e2} + c_{eff}) \quad \text{lub}$$

$$A_s = t(b_{e2} + c_{e1} + c_{e2} + d_{eff})$$

Naprężenie krytyczne przy wyboczeniu sprężystym usztywnienia brzegowego $\sigma_{cr,s}$ oblicza się według wzoru:

$$\sigma_{cr,s} = \frac{2 \sqrt{K E I_s}}{A_s}$$

gdzie: K - sztywność podparcia na jednostkę długości, I_s - efektywny moment bezwładności efektywnego przekroju usztywnienia A_s względem osi środkowej przekroju efektywnego

Alternatywnie naprężenia krytyczne $\sigma_{cr,s}$ można wyznaczać na podstawie analizy sprężystej pierwszego rzędu, stosując metody numeryczne

OKREŚLANIE CHARAKTERYSTYK EFEKTYWNYCH PRZEKROJU CIENKOŚCIENNEGO

Ścianki płaskie z usztywnieniami brzegowymi

Krok 3: Opcjonalnie zastosuj iterację, w celu uściślenia współczynnika redukcyjnego przy wyboczeniu usztywnienia

Współczynnik redukcyjny χ_d do wyznaczania nośności względu na niestateczność dystorsyjną (wyboczenie giętkie usztywnienia) uzyskuje się na podstawie napreżeń $\sigma_{cr,s}$

Gdy $\chi_d < 1$, obliczenia można uściślać iteracyjnie, poczynając od zmodyfikowanej wartości ρ uzyskanej dla $\sigma_{com,Ed,i} = \chi_d f_{yb} / \gamma_{M0}$, tak że:

$$\bar{\lambda}_{p,red} = \bar{\lambda}_p \sqrt{\chi_d}$$

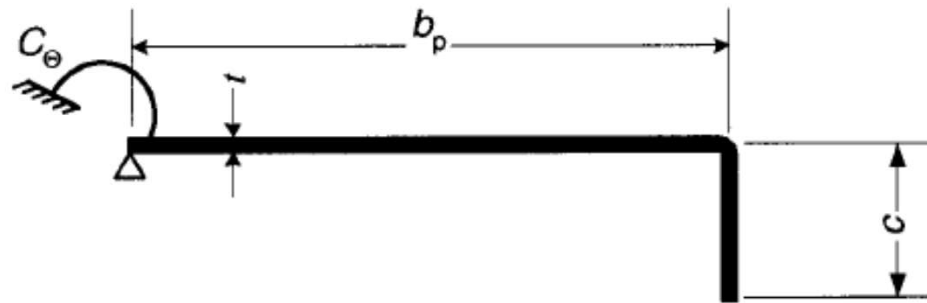
;

Zredukowane ze względu na wyboczenie efektywne pole przekroju usztywnienia $A_{s,red}$ przyjmuje się jako:

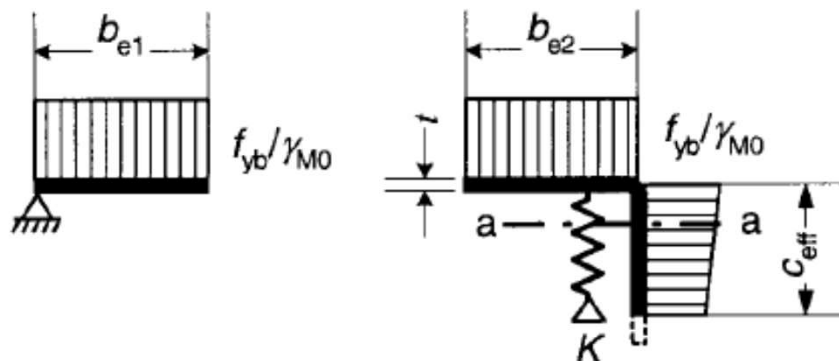
$$A_{s,red} = \chi_d A_s \frac{f_{yb} / \gamma_{M0}}{\sigma_{com,Ed}} \quad \text{lecz } A_{s,red} \leq A_s$$

OKREŚLANIE CHARAKTERYSTYK EFEKTYWNYCH PRZEKROJU CIENKOŚCIENNEGO

Ścianki płaskie z usztywnieniami brzegowymi



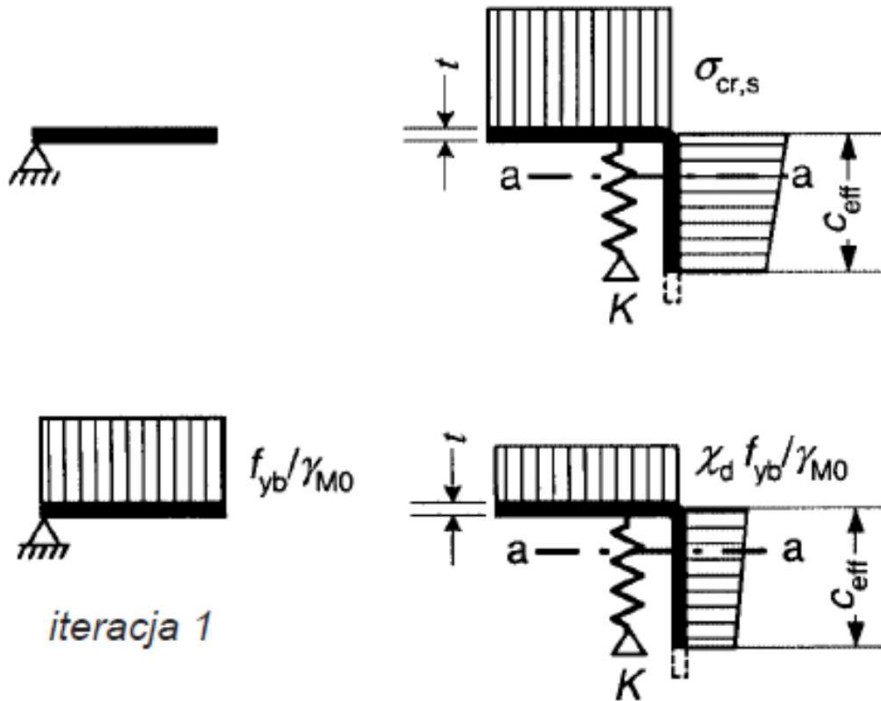
a) Przekrój brutto i warunki brzegowe



b) krok 1: Przekrój efektywny dla $K = \infty$ oraz
 $\sigma_{com,Ed} = f_{yb}/\gamma_{M0}$

OKREŚLANIE CHARAKTERYSTYK EFEKTYWNYCH PRZEKROJU CIENKOŚCIENNEGO

Ścianki płaskie z usztywnieniami brzegowymi



c) krok 2: Krytyczne naprężenie sprężyste $\sigma_{cr,s}$ dla efektywnego przekroju usztywnienia A_s z kroku 1

d) Wytrzymałość zredukowana: $\chi_d f_{yb} / \gamma_{M0}$ dla efektywnego przekroju usztywnienia A_s oraz współczynnika χ_d wyznaczonego na podstawie $\sigma_{cr,s}$

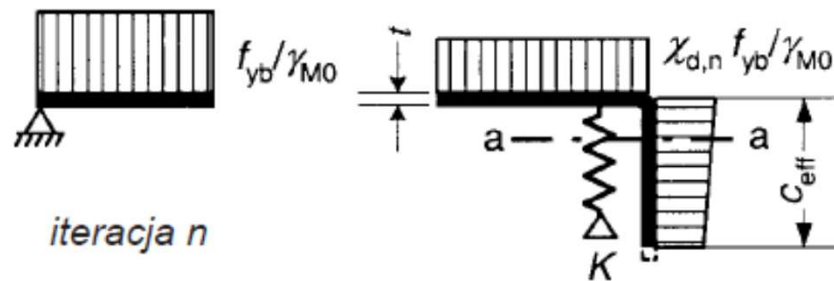
KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

W2

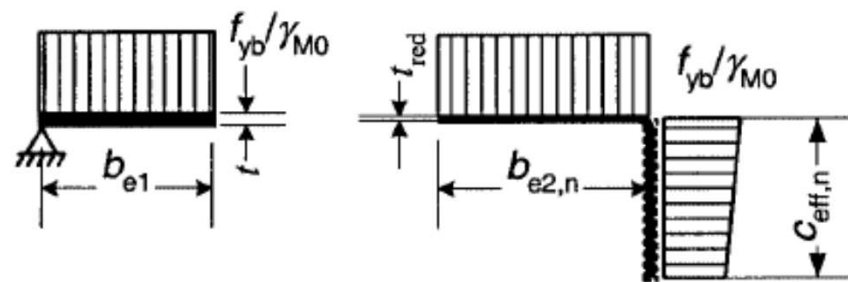
KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA
 TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

OKREŚLANIE CHARAKTERYSTYK EFEKTYWNYCH PRZEKROJU CIENKOŚCIENNEGO

Ścianki płaskie z usztywnieniami brzegowymi



e) **krok 3:** Opcjonalnie można powtarzać krok 1 obliczając szerokość współpracującą przy zredukowanych naprężeniach ściskających $\sigma_{com,Ed,i} = \chi_d f_{yb} / \gamma_{M0}$ oraz przyjmując współczynnik χ_d z ostatniej iteracji, aż spełniony będzie warunek $\chi_{d,n} \approx \chi_{d,(n-1)}$ lecz $\chi_{d,n} \leq \chi_{d,(n-1)}$.



f) Ustalenie przekroju efektywnego o wymiarach b_{e2} , c_{eff} i grubości t_{red} odpowiadającej $\chi_{d,n}$

KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

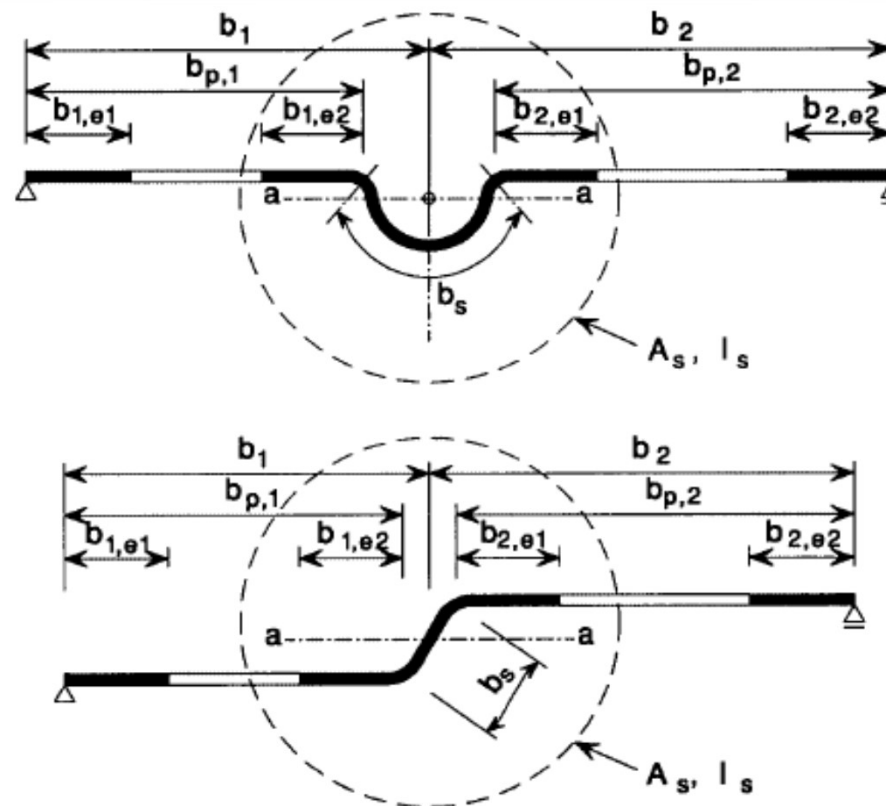
W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA

TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

OKREŚLANIE CHARAKTERYSTYK EFEKTYWNYCH PRZEKROJU CIENKOŚCIENNEGO

Ścianki płaskie z usztywnieniami pośrednimi

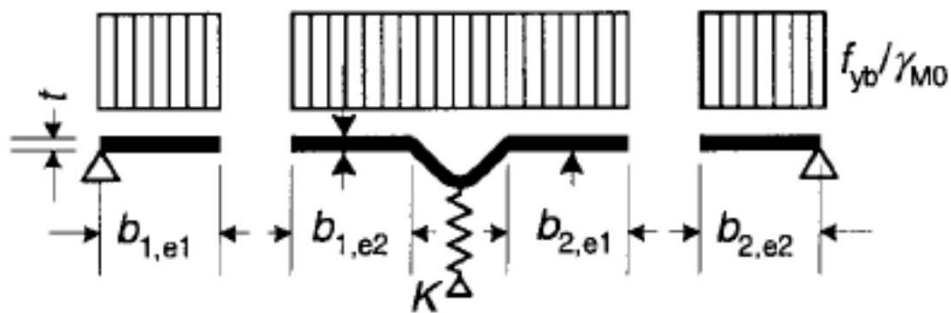


OKREŚLANIE CHARAKTERYSTYK EFEKTYWNYCH PRZEKROJU CIENKOŚCIENNEGO

Ścianki płaskie z usztywnieniami pośrednimi



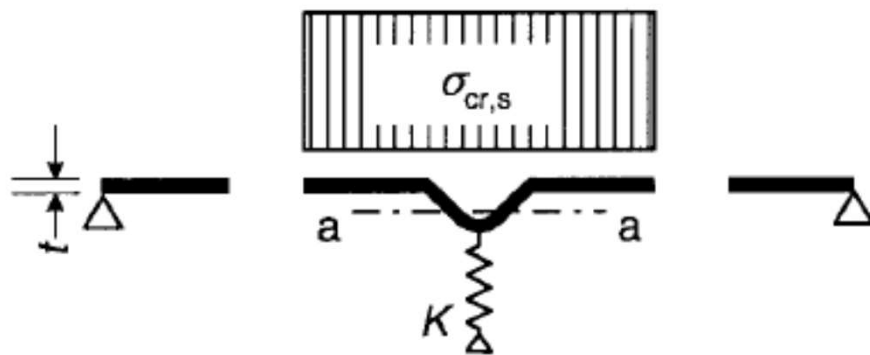
a) Przekrój brutto i warunki brzegowe



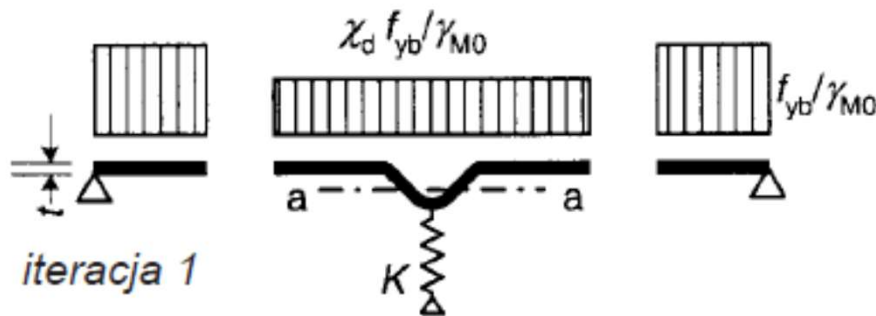
b) krok 1: Przekrój efektywny dla $K = \infty$ oraz
 $\sigma_{com,Ed} = f_{yb} / \gamma_{M0}$

OKREŚLANIE CHARAKTERYSTYK EFEKTYWNYCH PRZEKROJU CIENKOŚCIENNEGO

Ścianki płaskie z usztywnieniami pośrednimi



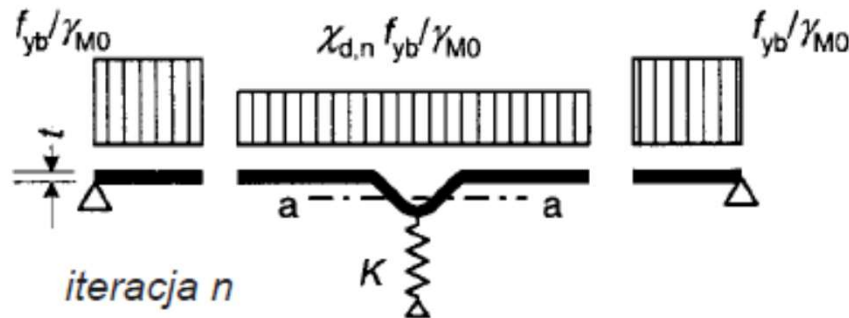
c) krok 2: Krytyczne naprężenie sprężyste $\sigma_{cr,s}$ dla efektywnego przekroju usztywnienia A_s z kroku 1



d) Wytrzymałość zredukowana: $\chi_d \tilde{f}_{yb} / \gamma_{M0}$ dla efektywnego przekroju usztywnienia A_s oraz współczynnika χ_d wyznaczonego na podstawie $\sigma_{cr,s}$

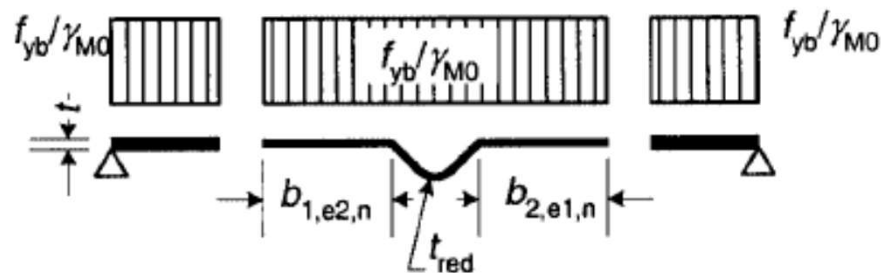
OKREŚLANIE CHARAKTERYSTYK EFEKTYWNYCH PRZEKROJU CIENKOŚCIENNEGO

Ścianki płaskie z usztywnieniami pośrednimi



e) krok 3: Opcjonalnie można powtarzać krok 1 obliczając szerokość współpracującą przy zredukowanych naprężeniach ściskających

$\sigma_{com,Ed,i} = \chi_d f_{yb} / \gamma_{M0}$ oraz przyjmując współczynnik χ_d z ostatniej iteracji, aż spełniony będzie warunek $\chi_{d,n} \approx \chi_{d,(n-1)}$ lecz $\chi_{d,n} \leq \chi_{d,(n-1)}$.



f) Ustalenie przekroju efektywnego o wymiarach b_{e2} , c_{eff} i grubości t_{red} odpowiadającej $\chi_{d,n}$

ZAŁĄCZNIK C NORMY – CECHY PRZEKROJÓW CIENKOŚCIENNYCH

C.1 Przekroje otwarte

(1) Przekrój dzieli się na n części, które numeruje się od 1 do n .

Węzły ograniczające części numeruje się od 0 do n .

Tak więc część i jest określona przez węzły $i - 1$ oraz i .

Następnie oznacza się węzły, przyjmuje układ współrzędnych yz , a poszczególnym częściom przypisuje się grubość (nominalną lub efektywną).

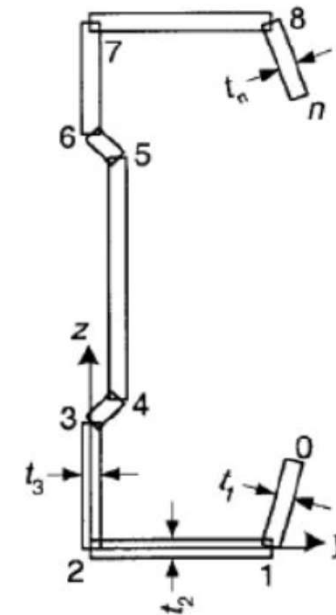
Węzły i części $j = 0..n \quad i = 1..n$

Pola części przekroju

$$dA_i = \overrightarrow{t_i \cdot \sqrt{(y_i - y_{i-1})^2 + (z_i - z_{i-1})^2}}$$

Pole przekroju

$$A = \sum_{i=1}^n dA_i$$



Rysunek C.1 Przekrój zastępczy – współrzędne i węzły

KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA
TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

ZAŁĄCZNIK C NORMY – CECHY PRZEKROJÓW CIENKOŚCIENNYCH

Moment statyczny przekroju względem osi y-y oraz współrzędna środka ciężkości

$$S_{y0} = \sum_{i=1}^n (z_i + z_{i-1}) \cdot \frac{dA_i}{2} \qquad z_{gc} = \frac{S_{y0}}{A}$$

Moment bezwładności przekroju względem pierwotnej osi y-y oraz osi centralnej

$$I_{y0} = \sum_{i=1}^n \left[(z_i)^2 + (z_{i-1})^2 + z_i \cdot z_{i-1} \right] \cdot \frac{dA_i}{3} \qquad I_y = I_{y0} - A \cdot z_{gc}^2$$

Moment statyczny przekroju względem osi z-z oraz współrzędna środka ciężkości

$$S_{z0} = \sum_{i=1}^n (y_i + y_{i-1}) \cdot \frac{dA_i}{2} \qquad y_{gc} = \frac{S_{z0}}{A}$$

ZAŁĄCZNIK C NORMY – CECHY PRZEKROJÓW CIENKOŚCIENNYCH

Moment bezwładności przekroju względem pierwotnej osi z-z oraz osi centralnej

$$I_{z0} = \sum_{i=1}^n \left[(z_i)^2 + (z_{i-1})^2 + z_i \cdot z_{i-1} \right] \cdot \frac{dA_i}{3} \quad I_z = I_{z0} - A \cdot y_{gc}^2$$

Odśrodkowe momenty bezwładności względem osi początkowych i centralnych

$$I_{yz0} = \sum_{i=1}^n \left(2 \cdot y_{i-1} \cdot z_{i-1} + 2 \cdot y_i \cdot z_i + y_{i-1} \cdot z_i + y_i \cdot z_{i-1} \right) \cdot \frac{dA_i}{6} \quad I_{yz} = I_{yz0} - \frac{S_{y0} \cdot S_{z0}}{A}$$

Położenie głównych osi bezwładności oraz ekstremalne momenty bezwładności

$$\alpha = \frac{1}{2} \arctan \left(\frac{2I_{yz}}{I_z - I_y} \right) \quad \text{jeśli } (I_z - I_y) \neq 0; \text{ w przeciwnym razie } \alpha = 0$$

$$I_{\xi} = \frac{1}{2} \cdot \left[I_y + I_z + \sqrt{(I_z - I_y)^2 + 4 \cdot I_{yz}^2} \right]$$

$$I_{\eta} = \frac{1}{2} \cdot \left[I_y + I_z - \sqrt{(I_z - I_y)^2 + 4 \cdot I_{yz}^2} \right]$$

ZAŁĄCZNIK C NORMY – CECHY PRZEKROJÓW CIENKOŚCIENNYCH

Współrzędne wycinkowe

$$\omega_0 = 0 \quad \omega_{0_i} = y_{i-1} \cdot z_i - y_i \cdot z_{i-1}$$

$$\omega_i = \omega_{i-1} + \omega_{0_i}$$

Średnie współrzędne wycinkowe

$$I_{\omega} = \sum_{i=1}^n (\omega_{i-1} + \omega_i) \cdot \frac{dA_i}{2}$$

$$\omega_{mean} = \frac{I_{\omega}}{A}$$

Stałe wycinkowe

$$I_{y\omega} = \sum_{i=1}^n (2 \cdot y_{i-1} \cdot \omega_{i-1} + 2 \cdot y_i \cdot \omega_i + y_{i-1} \cdot \omega_i + y_i \cdot \omega_{i-1}) \cdot \frac{dA_i}{6} \quad I_{y\omega} = I_{y\omega 0} - \frac{S_{z0} \cdot I_{\omega}}{A}$$

$$I_{z\omega} = \sum_{i=1}^n (2 \cdot \omega_{i-1} \cdot z_{i-1} + 2 \cdot \omega_i \cdot z_i + \omega_{i-1} \cdot z_i + \omega_i \cdot z_{i-1}) \cdot \frac{dA_i}{6} \quad I_{z\omega} = I_{z\omega 0} - \frac{S_{y0} \cdot I_{\omega}}{A}$$

$$I_{\omega\omega} = \sum_{i=1}^n \left[(\omega_i)^2 + (\omega_{i-1})^2 + \omega_i \cdot \omega_{i-1} \right] \cdot \frac{dA_i}{3} \quad I_{\omega\omega} = I_{\omega\omega 0} - \frac{I_{\omega}^2}{A}$$

ZAŁĄCZNIK C NORMY – CECHY PRZEKROJÓW CIENKOŚCIENNYCH

Środek ścinania – współrzędne

$$y_{sc} = \frac{I_{z\omega}I_z - I_{y\omega}I_{yz}}{I_y \cdot I_z - I_{yz}^2} \quad z_{sc} = \frac{-I_{y\omega}I_y + I_{z\omega}I_{yz}}{I_y \cdot I_z - I_{yz}^2} \quad (I_y I_z - I_{yz}^2 \neq 0)$$

Wycinkowy moment bezwładności

$$I_w = I_{\omega\omega} + z_{sc} \cdot I_{y\omega} - y_{sc} \cdot I_{z\omega}$$

Moment bezwładności i wskaźnik wytrzymałości przy skręcaniu

$$I_t = \sum_{i=1}^n dA_i \cdot \frac{(t_i)^2}{3} \quad W_t = \frac{I_t}{\min(t)}$$

ZAŁĄCZNIK C NORMY – CECHY PRZEKROJÓW CIENKOŚCIENNYCH

Współrzędne wycinkowe względem środka ścinania

$$\omega_{s_j} = \omega_j - \omega_{mean} + z_{sc} \cdot (y_j - y_{gc}) - y_{sc} \cdot (z_j - z_{gc})$$

Maksymalne współrzędne wycinkowe i wycinkowy wskaźnik wytrzymałości

$$\omega_{max} = \max(|\omega_s|) \quad W_w = \frac{I_w}{\omega_{max}}$$

Współrzędne środka ścinania względem środka ciężkości

$$y_s = y_{sc} - y_{gc} \quad z_s = z_{sc} - z_{gc}$$

Biegunowy moment bezwładności względem środka ścinania

$$I_p = I_y + I_z + A(y_s^2 + z_s^2)$$

ZAŁĄCZNIK C NORMY – CECHY PRZEKROJÓW CIENKOŚCIENNYCH

Współczynniki asymetrii z_j i y_j

$$z_j = z_s - \frac{0.5}{I_y} \cdot \sum_{i=1}^n \left[(z_{c_i})^3 + z_{c_i} \left[\frac{(z_i - z_{i-1})^2}{4} + (y_{c_i})^2 + \frac{(y_i - y_{i-1})^2}{12} \right] + y_{c_i} \cdot \frac{(y_i - y_{i-1}) \cdot (z_i - z_{i-1})}{6} \right] \cdot dA_i$$

$$y_j = y_s - \frac{0.5}{I_z} \cdot \sum_{i=1}^n \left[(y_{c_i})^3 + y_{c_i} \left[\frac{(y_i - y_{i-1})^2}{4} + (z_{c_i})^2 + \frac{(z_i - z_{i-1})^2}{12} \right] + z_{c_i} \cdot \frac{(z_i - z_{i-1}) \cdot (y_i - y_{i-1})}{6} \right] \cdot dA_i$$

w których współrzędne środków części przekroju względem środka ścinania wynoszą

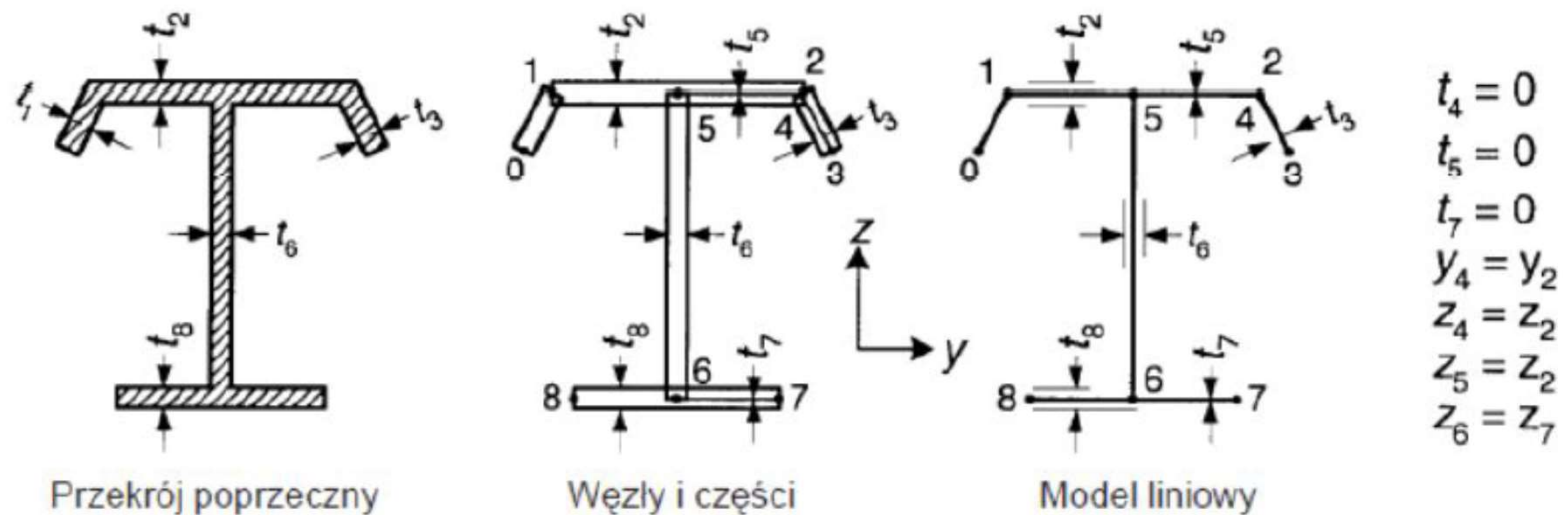
$$y_{c_i} = \frac{y_i + y_{i-1}}{2} - y_{gc} \quad z_{c_i} = \frac{z_i + z_{i-1}}{2} - z_{gc}$$

UWAGA: $z_j = 0$ ($y_j = 0$) dla przekroju, w którym oś y - y (z - z) jest osią symetrii, patrz Rysunek C.1.

ZAŁĄCZNIK C NORMY – CECHY PRZEKROJÓW CIENKOŚCIENNYCH

C.2 Cechy przekrojów otwartych z rozgałęzieniami

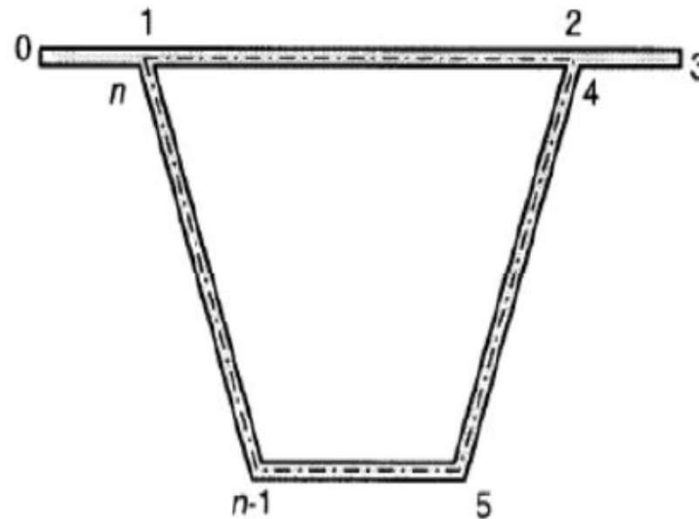
(1) Przekrój z rozgałęzieniami to przekrój z węzłami, w których łączą się więcej niż dwie części. W przypadku przekrojów z rozgałęzieniami można stosować formuły podane w C.1, przyjmując jednakże $t = 0$, przy powtórnym przebiegu numeracji, jak to ma miejsce w przypadku gałęzi 3 – 4 – 5 oraz 6 – 7 (Rysunek C.2).



Rysunek C.2 Przekrój z rozgałęzieniami – węzły i części

ZAŁĄCZNIK C NORMY – CECHY PRZEKROJÓW CIENKOŚCIENNYCH

C.3 Parametry skręcania przekrojów z częścią zamkniętą



Rysunek C.3 Przekrój z częścią zamkniętą

(1) W przypadku symetrycznych bądź niesymetrycznych przekrojów z częścią zamkniętą, Rysunek C.3, moment bezwładności przy skręcaniu jest określony wzorem:

KONSTRUKCJE CIENKOŚCIENNE

W2

KSZTAŁTOWNIKI CIENKOŚCIENNE I SPOSOBY ICH WYTWARZANIA
TEORIA PRĘTA CIENKOŚCIENNEGO

ZAŁĄCZNIK C NORMY – CECHY PRZEKROJÓW CIENKOŚCIENNYCH

$$I_t = \frac{4A_t^2}{S_t} \quad \text{i} \quad W_t = 2A_t \min(t_i)$$

gdzie

$$A_t = 0,5 \sum_{i=2}^n (y_i - y_{i-1})(z_i + z_{i-1})$$

$$S_t = \sum_{i=2}^n \frac{\sqrt{(y_i - y_{i-1})^2 + (z_i - z_{i-1})^2}}{t_i} \quad (t_i \neq 0)$$