



# Program Uczenie się przez całe życie

## Projekt SKILLS



# KRATOWNICE – CZĘŚĆ 1



Program  
Uczenie się  
przez całe życie

# OMAWIANE ZAGADNIENIA

- **Specyfika projektowania kratownic w budynkach parterowych**
  
- **Procedury projektowe:**
  - ✓ **Analiza globalna**
  - ✓ **Weryfikacja elementów konstrukcyjnych**
  - ✓ **Weryfikacja połączeń**

# SPIS TREŚCI

- **Wprowadzenie**
- **Szczegóły konstrukcyjne**
- **Obliczenia**
  - ✓ Projektowanie wstępne
  - ✓ Analiza globalna
- **Wymiarowanie elementów**
  - ✓ Weryfikacja elementów poddanych ścisnaniu (i zginaniu)
  - ✓ Weryfikacja elementów poddanych rozciąganiu (i zginaniu)
- **Wymiarowanie połączeń**
  - ✓ Połączenia śrubowe
  - ✓ Połączenia spawane
- **Podsumowanie**

# WPROWADZENIE



Program  
Uczenie się  
przez całe życie

# WPROWADZENIE

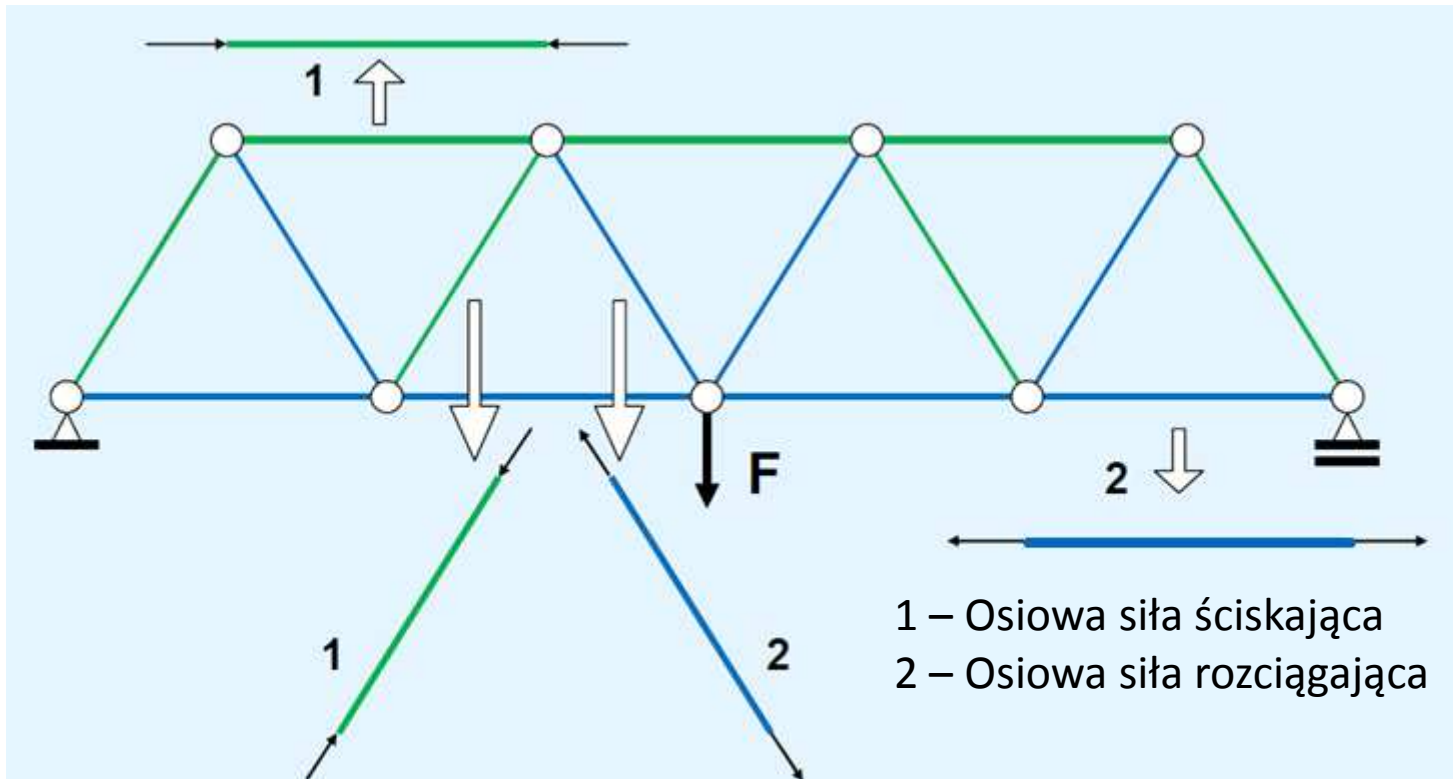


## ➤ Definicja:

- ✓ **Kratownica** jest konstrukcją prętową, złożoną z prostych wzajemnie połączonych elementów konstrukcyjnych, tworzących układy trójkątne.
- ✓ Poszczególne elementy są połączone w węzłach; zakłada się, że są to połączenia nominalnie przegubowe.
- ✓ Siły zewnętrzne działające na układ oraz reakcje na podporach są na ogół przyłożone do węzłów.
- ✓ Gdy wszystkie elementy i przyłożone siły znajdują się w jednej płaszczyźnie, układ jest określany jako płaski lub dwuwymiarowy.

# WPROWADZENIE

- Głównym oddziaływaniem na każdy element jest siła osiowa rozciągająca lub ściskająca.



Elementy kratownicy poddane działaniu sił osiowych

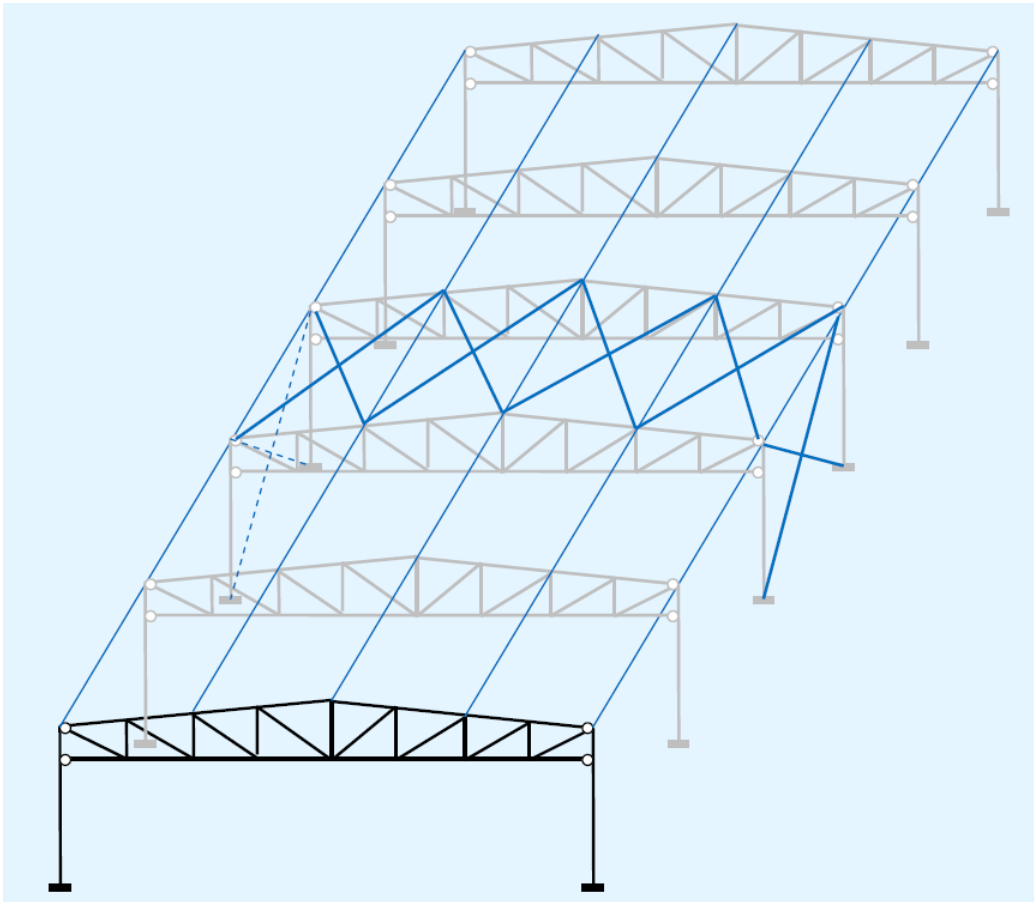
- Gdy połączenia w węzłach są sztywne, w prętach występuje zginanie.

## Zastosowanie kratownic w budynkach parterowych

- Przenoszenie obciążeń dachu:
  - ✓ obciążeń grawitacyjnych (ciężar własny, pokrycie dachowe oraz urządzenia znajdujące się na dachu lub podwieszane do konstrukcji, obciążenie śniegiem);
  - ✓ oddziaływań związanych z wiatrem (w tym unoszenie przez wiatr wywołane podciśnieniem).
  
- Zapewnienie stateczności :
  - ✓ wiatrownice na poziomie dachu lub na poziomach pośrednich (jeśli są wymagane);
  - ✓ stężenia pionowe w ścianach bocznych i /lub szczytowych.



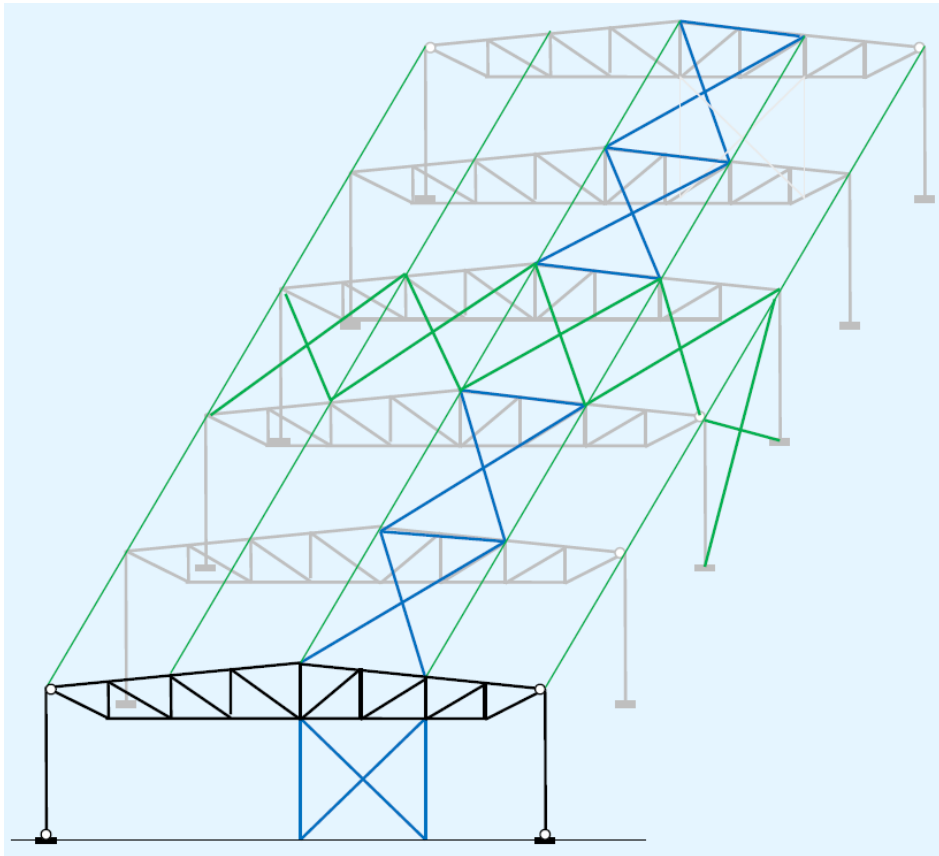
# WPROWADZENIE



## Rodzaje głównych układów nośnych budynków parterowych

### Układ ramy portalowej

- Stateczność poprzeczna zapewniona przez kratownice portalowe;
- Stateczność podłużna zapewniona przez wiatrownice i stężenia pionowe (oznaczone kolorem **niebieskim**);
- Brak stężeń podłużnych.

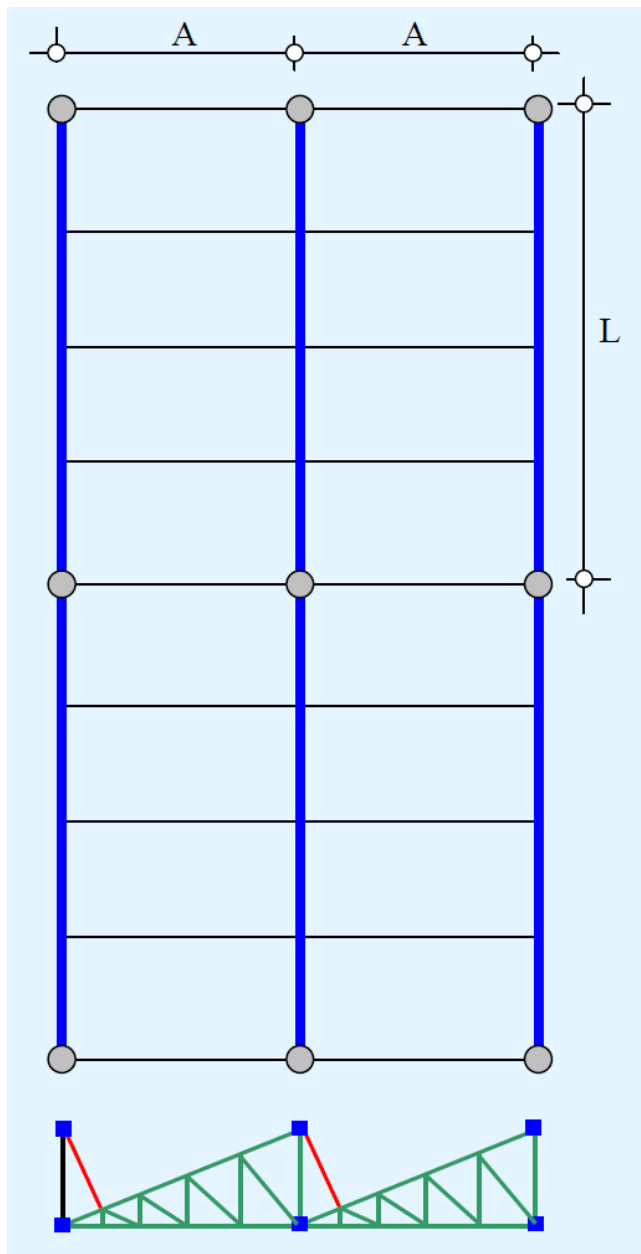


## Rodzaje głównych układów nośnych budynków parterowych

### Układ belkowo - słupowy

- Kratownice pionowe są swobodnie podparte na słupach;
- Stateczność poprzeczna jest zapewniona przez wiatrownicę wzdłużną i stężenia pionowe ścian szczytowych (oznaczone na **niebiesko**);
- Stateczność poprzeczna jest zapewniona przez wiatrownicę poprzeczną i stężenia pionowe (oznaczone kolorem **zielonym**).

# WPROWADZENIE



## Rodzaje głównych układów nośnych budynków parterowych

### Dach pilasty

- Główne belki (zaznaczone na **niebiesko**) to są kratownice z pasami równoległymi; ich rozpiętość  $L$  stanowi dłuższy bok siatki słupów;
- Belki drugorzędne (**zielone**) są kratownicami o kształcie trójkątnym i krótszej rozpiętości  $A$  (odległość między kratownicami głównymi);
- Elementy zaznaczone na **czerni** podpierają okna skierowane na północ.

## Główne typy dźwigarów kratowych



W **kratownicy Pratta**, krzyżulce są rozciągane pod wpływem obciążeń grawitacyjnych. Ten typ kratownicy jest stosowany przy dominujących obciążeniach grawitacyjnych.



W tej kratownicy krzyżulce są rozciągane pod wpływem obciążeń unoszących (ssanie wiatru) i są stosowane, gdy tego typu obciążenia są dominujące, np. w budynkach otwartych.



W **kratownicy Warrena**, krzyżulce są poddane naprzemiennie rozciąganiu i ściskaniu. Ten rodzaj kratownicy jest również wykorzystywany jako tężnik poziomy bram lub belek podsuwnicowych.

Powyższe rodzaje dźwigarów mogą być stosowane zarówno w układach portalowych, jak i w prostych układach słupowo-belkowych o dużych rozpiętościach, od 20m do 100m.

# WPROWADZENIE

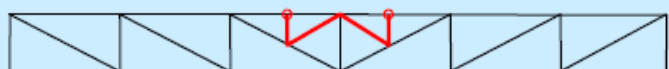
## Główne typy dźwigarów kratowych (ciąg dalszy)



Wyróżnia się dwa rodzaje **kratownicy typu X**:

- Jeżeli krzyżulce są projektowane na ściskanie, kratownica typu X jest złożeniem dwóch kratownic Warrena.
- Jeżeli nośność krzyżulców na ściskanie jest pomijana, zachowanie jest takie samo jak w przypadku kratownicy Pratta.

Kratownice o takim kształcie są częściej stosowane jako wiatrownice, w których krzyżulce są bardzo długie.



Możliwe jest dodanie elementów drugorzędnych, aby:

- stworzyć pośrednie punkty przyłożenia obciążeń;
- ograniczyć długość wyboyczeniową elementów ściskanych (bez wpływu na zachowanie całej konstrukcji).

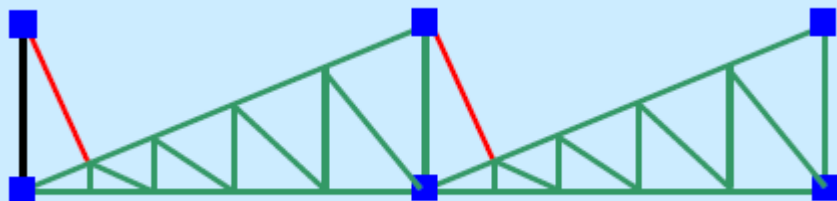


W przypadku wyżej przedstawionych typów kratownic, możliwe jest zastosowanie pojedynczego lub dwustronnego pochylenia górnego pasa kratownicy podpierającej dach. Niniejszy przykład przedstawia kratownicę dwuspadową.

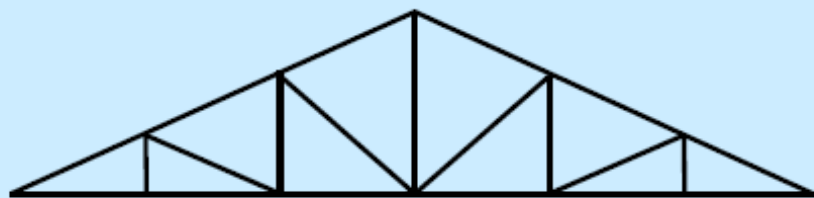
Powyższe kratownice mogą być stosowane zarówno w układach portalowych, jak i układach słupowo-belkowych

# WPROWADZENIE

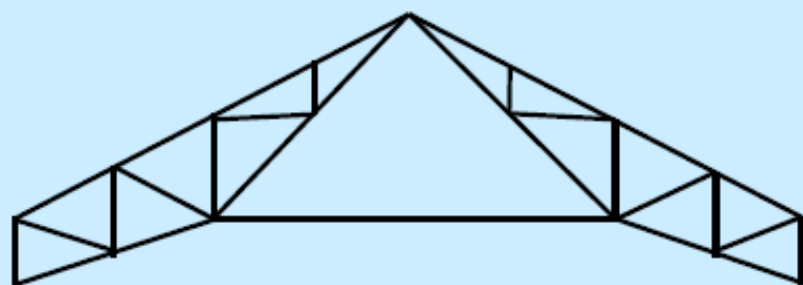
## Główne typy dźwigarów kratowych (ciąg dalszy)



Jednospadowy pas górny tej kratownicy trójkątnej jest częścią tzw. dachu pilastego.



Ten rodzaj kratownicy jest częściej stosowany w konstrukcjach dachowych budynków o mniejszej rozpiętości (od 10 do 15 m).



Ten rodzaj kratownicy może być zastosowany do większych rozpiętości.

Przedstawione wyżej kratownice mogą być stosowane jako swobodnie podparte

# SZCZEGÓŁY KONSTRUKCYJNE



Program  
Uczenie się  
przez całe życie

## SZCZEGÓŁY KONSTRUKCYJNE

### Informacje ogólne na temat geometrii kratownic stosowanych na konstrukcje dachowe

- Kratownice są zwykle ekonomicznym rozwiązaniem w przypadku rozpiętości powyżej 20 (25)m;
- Stosunek rozpiętości do wysokości kratownicy powinien zawierać się w przedziale od 10 do 15;
- Nachylenie krzyżulców do pasów powinno zawierać się w przedziale pomiędzy  $35^\circ$  a  $55^\circ$ ;
- Obciążenie skupione powinno być przyłożone wyłącznie w węzłach;
- Zastosowana orientacja krzyżulców powinna zapewniać rozciąganie najdłuższych prętów (krótsze pręty skratowania są poddawane ścisłaniu).

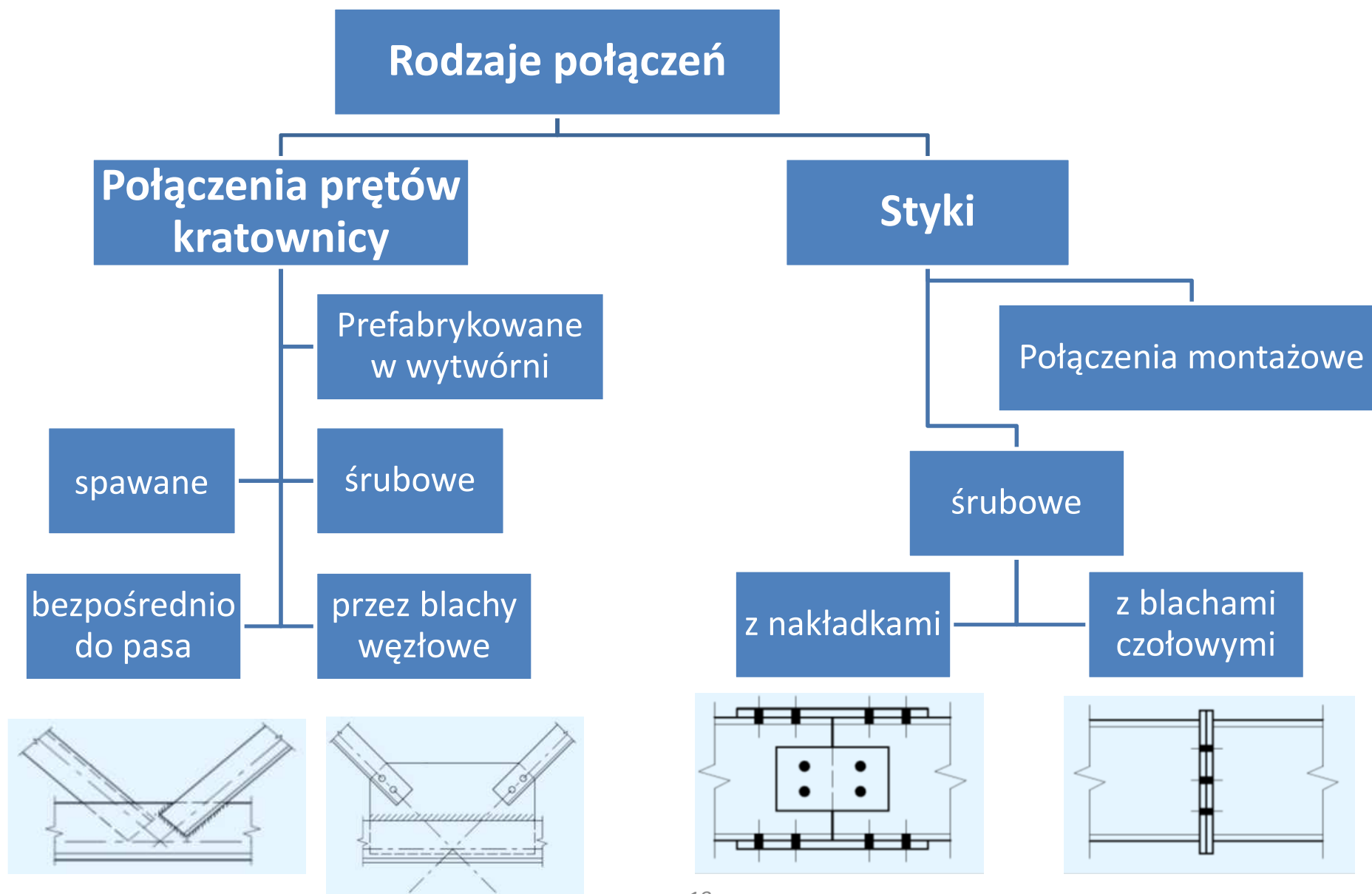


# SZCZEGÓŁY KONSTRUKCYJNE

## Przekroje elementów kratownicy

- Kształtowniki powinny być symetryczne na zginanie z płaszczyzny pionowej kratownicy;
- W przypadku elementów ściskanych, nośność przy wyboczeniu w płaszczyźnie kratownicy powinna być zbliżona do nośności przy wyboczeniu z płaszczyzny kratownicy;
- Przykładowe propozycje przekrojów pasów: dwuteowniki IPE, HEA, HEB, teowniki, przekroje rurowe lub złożone z dwóch ceowników (UPE), albo przekroje złożone z kątowników połączonych na blachy węzłowe i przewiązki;
- Przykładowe propozycje przekrojów skratowań: pojedyncze lub podwójne kątowniki połączone przewiązkami, przekroje zamknięte.

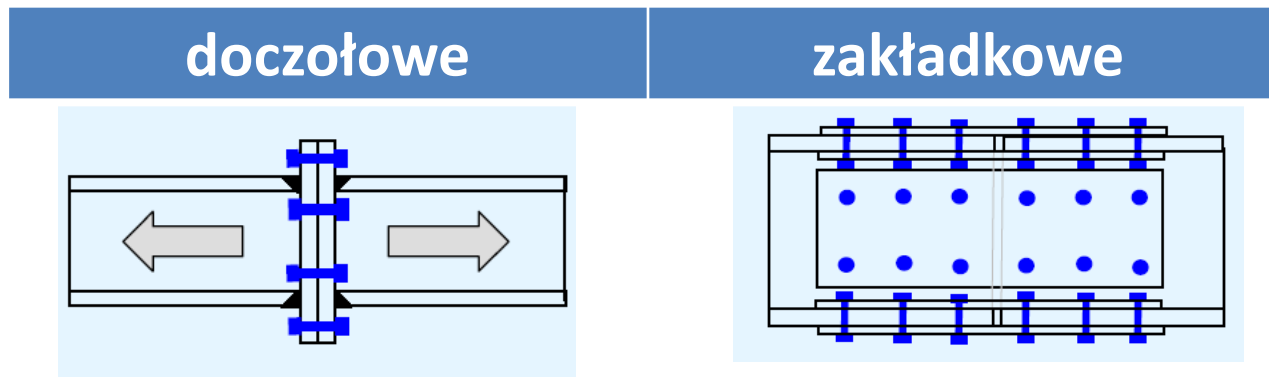
# SZCZEGÓŁY KONSTRUKCYJNE



# SZCZEGÓŁY KONSTRUKCYJNE

## Ciągłość pasa

- Projektowanie połączeń śrubowych pasa kratownicy zależy od przekroju łączonego pasa.
- Rodzaje zalecanych połączeń:

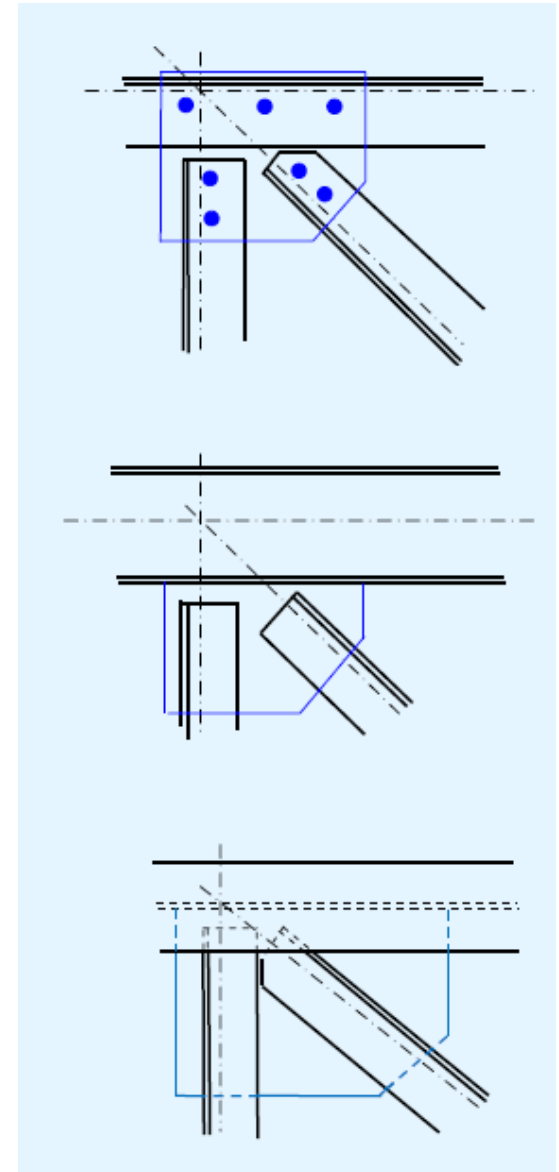


- Jeśli pasy są wykonane z:
  - ✓ pojedynczych dwuteowników, można stosować oba rozwiązania;
  - ✓ przekroje złożone ze zdwojonych kątowników lub ceowników, to zwykle zalecane są połączenia zakładkowe;
  - ✓ przekrojów zamkniętych, to zalecane jest połączenie doczołowe.

# SZCZEGÓŁY KONSTRUKCYJNE

## Połączenie krzyżulców z pasami dźwigara

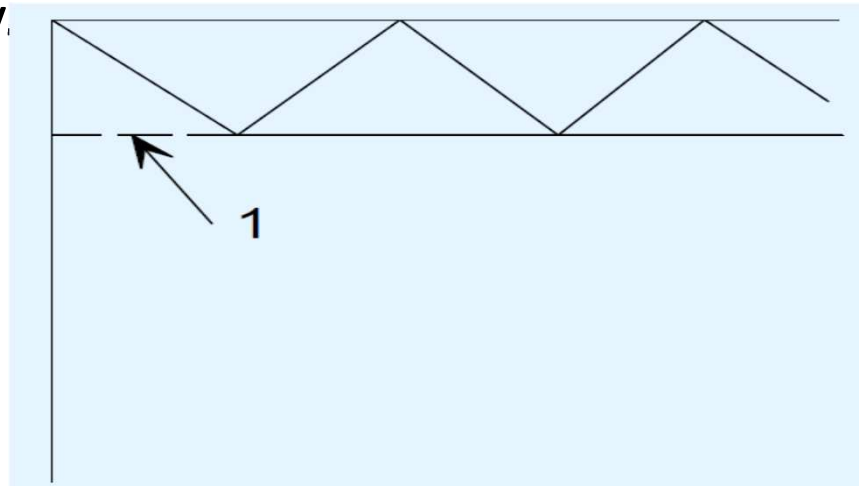
- Gdy pasy wykonane są z elementów podwójnych (2L lub 2UPE), powszechnie stosowaną praktyką jest umieszczanie blach węzłowych (spawanych lub mocowanych za pomocą śrub) pomiędzy dwoma elementami składowymi pasa. Krzyżulce i słupki są połączone z blachą węzłową, zwykle przy użyciu połączeń śrubowych.
- Gdy pasy są wykonane z dwóch dwuteowników IPE lub HEA/HEB, najczęściej stosowaną metodą łączenia jest użycie blachy węzłowej przyspawanej do pasa. Blachę węzłową mocuje się do pasa, gdy dwuteownik jest umieszczony pionowo (średnik pionowy), lub do środka, gdy kształtownik jest umieszczony płasko (średnik poziomy).



# SZCZEGÓŁY KONSTRUKCYJNE

## Stateczność ramy

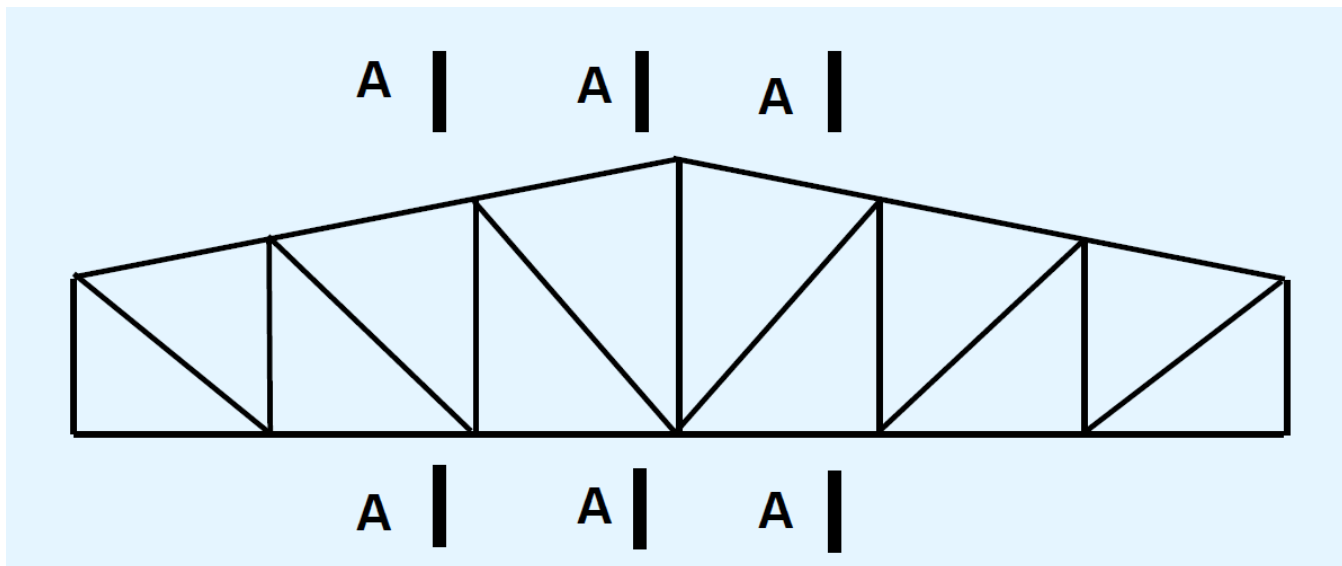
- Stateczność ramy z kratownicą jest zapewniona stężeniami w obu kierunkach prostopadłych, przy czym kratownica jest przegubowo połączona ze słupami podpierającymi.
- Przy wykonywaniu połączenia przegubowego, jeden z prętów pasa kratownicy staje się zbędny (1) w związku z czym można pozwolić na to, aby w połączeniu ze słupem możliwy był przesuw w kierunku osi pasa kratownicy.



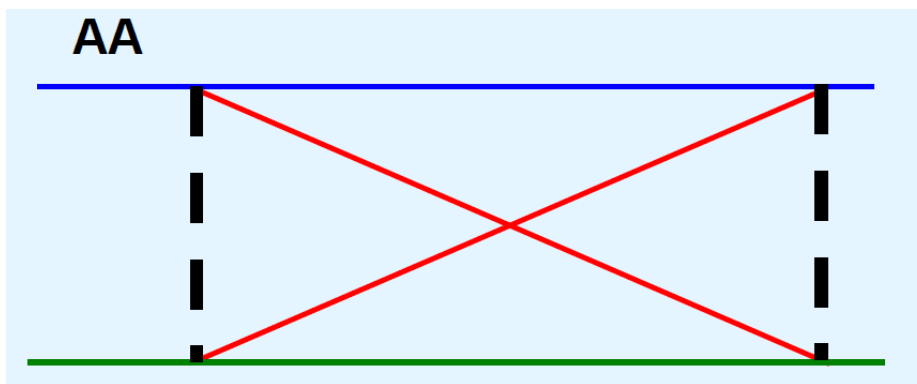
- Stateczność w kierunku podłużnym zwykle zapewniają stężenia pionowe.

# SZCZEGÓŁY KONSTRUKCYJNE

## Stateczność poprzeczna



## Kratownica



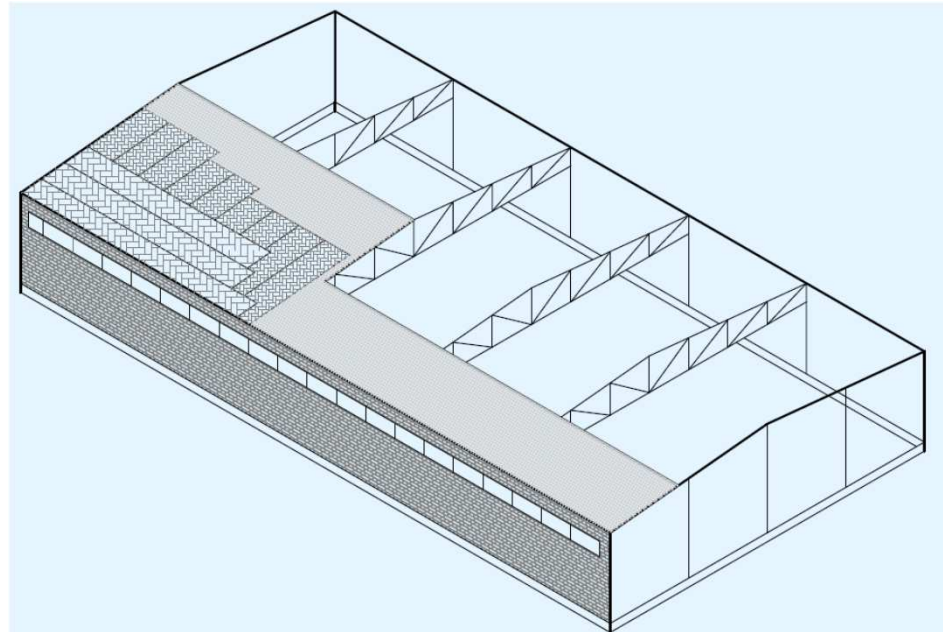
## Tężnik między kratownicami

- **Pogrubione czarne linie przerywane:** dwie sąsiadujące ze sobą kratownice
- **Niebieski:** płatew uzupełniająca tężnik w części górnej
- **Zielony:** element wzdłużny zamykający tężnik w części dolnej
- **Czerwony:** pionowy tężnik dachowy

# SZCZEGÓŁY KONSTRUKCYJNE

## Stateczność poprzeczna

- Stateczność poprzeczną górnych pasów kratownic zwykle zapewniają płatwie (oraz jeden panel stężeń, jak w przypadku ram portalowych). Natomiast w przypadku dachów bezpłatwowych, sztywna konstrukcja powierzchniowa z blach może usztywniać górne pasy kratownic bez konieczności stosowania dodatkowych stężeń.



Okładzina dachowa działająca jak stężająca konstrukcja powierzchniowa w ramie z utwierdzoną kratownicą

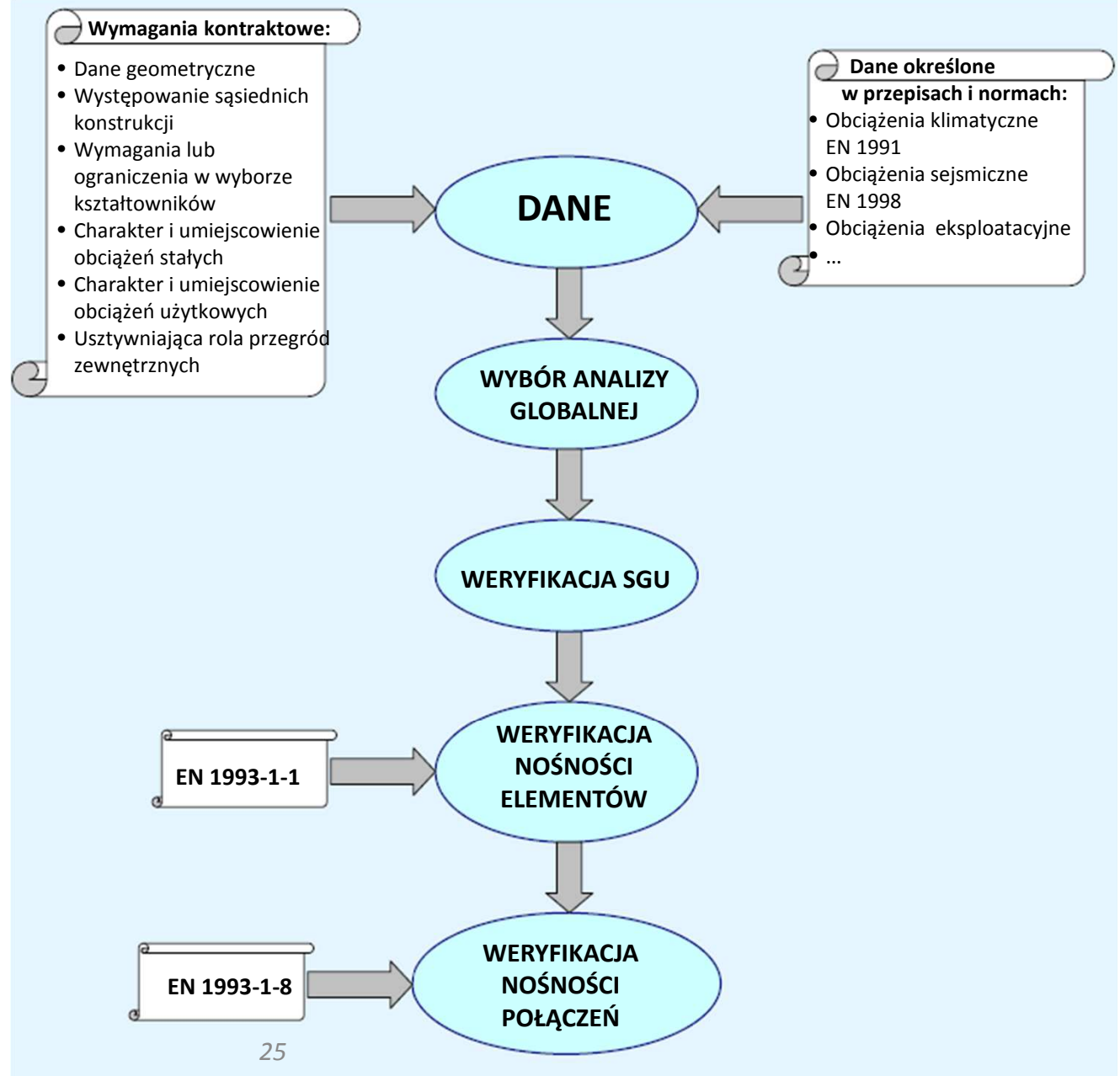
# OBLICZENIA



Program  
Uczenie się  
przez całe życie



# OBLICZENIA – INFORMACJE OGÓLNE



Schemat blokowy projektowania kratownic

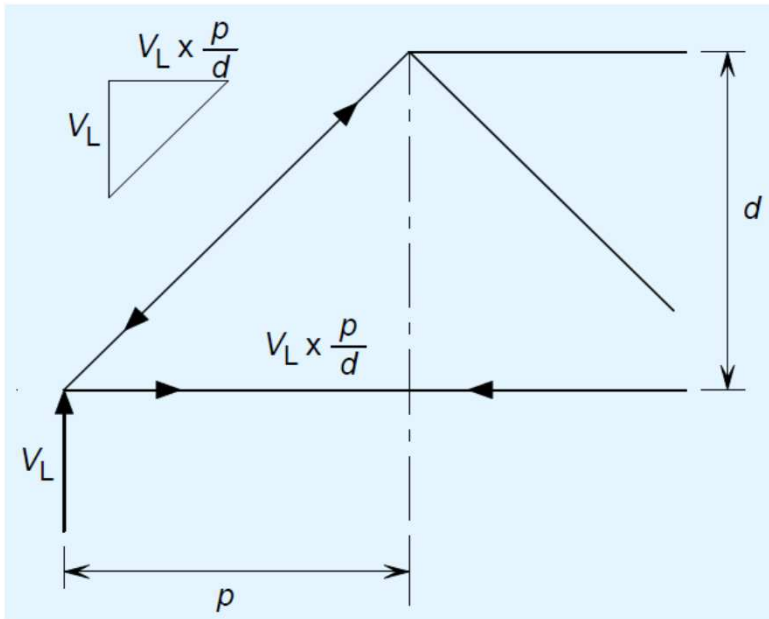
# OBLICZENIA – PROJEKTOWANIE WSTĘPNE

## Etapy projektowania wstępnego

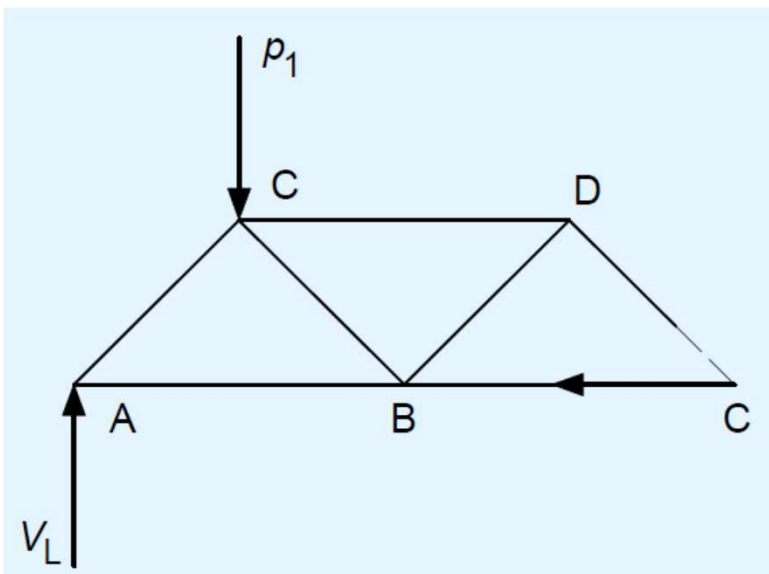
- Ustalić obciążenie na kratownicę;
- Określić wysokość kratownicy i rozmieszczenie skratowania;
- Określić siły działające w prętach kratownicy, przyjmując, że cała kratownica ma węzły przegubowe (przy użyciu oprogramowania komputerowego lub ręcznie, stosując proste metody obliczeniowe);
- Wybrać miarodajny pręt pasa ściskanego;
- Wybrać miarodajny pręt pasa rozciąganego;
- Wybrać pręty skratowania, dbając przy tym, aby ich połączenia z pasami nie były skomplikowane;
- Sprawdzić ugięcie kratownicy.

# OBLICZENIA – PROJEKTOWANIE WSTĘPNE

## Obliczanie sił w kratownicy z węzłami przegubowymi (obliczenia ręczne)



➤ Obliczanie sił w połączeniach



➤ Wykorzystanie momentów względem węzła D do określenia siły CB

# OBLICZENIA – PROJEKTOWANIE WSTĘPNE

## Wybór pręta ściskanego pasa kratownicy

- Nośność na wyboczenie określa się na podstawie odległości pomiędzy punktami węzłowymi przy wyboczeniu w płaszczyźnie;
- Wyboczenie z płaszczyzny zależy od odległości pomiędzy elementami wzdłużnymi podpierającymi pas – zwykle są to płatwie lub tężniki.

## Wybór pręta rozciąganego pasa kratownicy

- Krytycznym przypadkiem obliczeniowym może być unoszenie spowodowane ssaniem wiatru, gdy pas dolny jest poddany ścisnaniu;
- Wyboczenie z płaszczyzny może często być krytyczne. Na ogół stosuje się układ stężeń na poziomie dolnego pasa kratownicy, aby zapewnić jego podparcie w kombinacji, zakładającej odwrócenie kierunku obciążenia.

# OBLICZENIA – ANALIZA GLOBALNA

- W rzeczywistości, zachowanie konstrukcji kratowych różni się od zachowania zakładanego teoretycznie i ich analiza globalna wymaga uwzględnienia odchyłek.
- W szczególności odchyłki te obejmują zginanie prętów (“momenty drugorzędne”) towarzyszące siłom osiowym, które może spowodować znaczne dodatkowe naprężenia w prętach kratownicy.
- Odchyłki uwzględniane w projektowaniu kratownic:
  - ✓ Nie wszystkie pręty kratownicy są połączone przegubowo w węzłach na obu końcach;
  - ✓ Pręty nie zawsze są współosiowe;
  - ✓ Obciążenia nie zawsze są przykładane bezpośrednio do węzłów.

## Modelowanie kratownicy

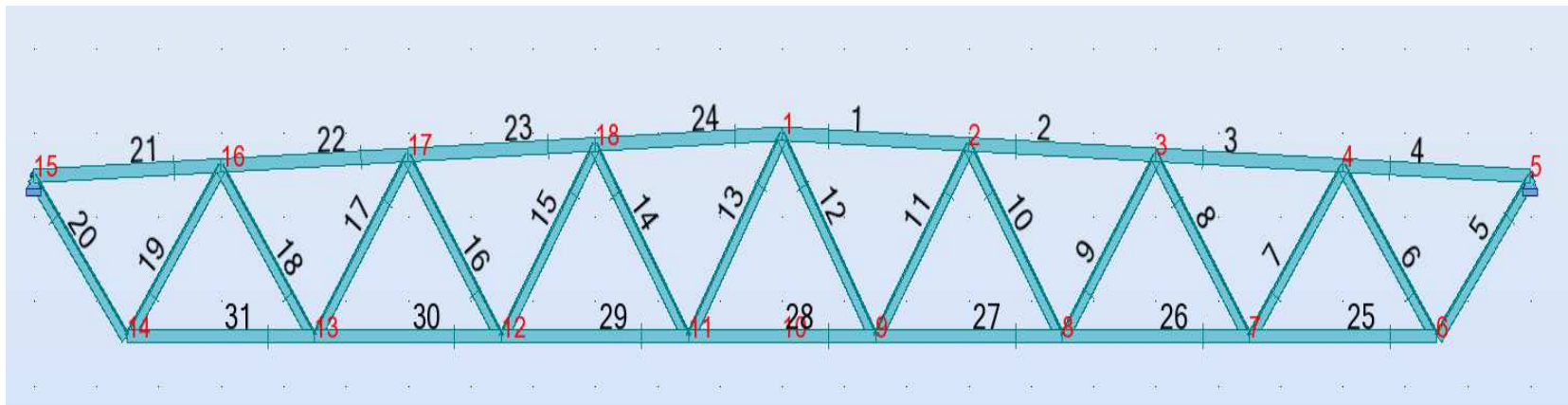
- Kratownica, gdy jest połączona ze słupami przegubowo, może być modelowana bez podpierających ją słupów;
- Jeżeli są stosowane wydzielone modele, w celu zweryfikowania nośności niektórych elementów konieczne może się okazać połączenie wyników z kilku analiz (przykład: górny pas kratownicy pełni również rolę pasa wiatrownicy);
- W przypadku zastosowania globalnego przestrzennego modelu, można zaobserwować zginanie „uboczne”, które często daje pozornie dokładne odwzorowanie zachowania się konstrukcji. Dlatego z reguły preferowane są modele płaskie.

# OBLICZENIA – ANALIZA GLOBALNA

## Modelowanie kratownicy

Model kratownicy jest zwykle reprezentowany przez:

- **Pasy ciągłe** (tym samym pręty pasów połączone sztywno w węzłach);
- **Elementy skratowania** (krzyżulce i słupki) połączone z pasami przegubowo.



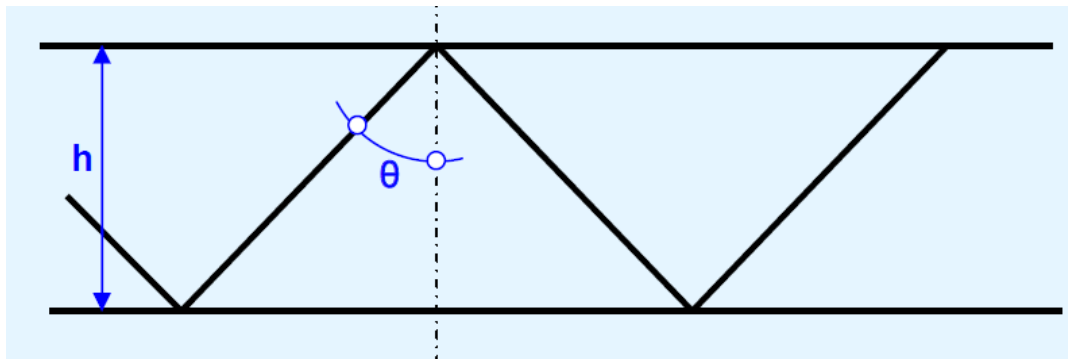
# OBLICZENIA – ANALIZA GLOBALNA

## Uproszczona analiza globalna

- Kratownicę o pasach równoległych i skratowaniu typu W, można przyrównać do belki dwuteowej. Takie porównanie zapewnia dobre przybliżenie.
- Globalna siła ścinająca  $V_{\text{global}}$  oraz globalny moment zginający  $M_{\text{global}}$  w belce równoważnej zmieniają się w bardzo niewielkim stopniu wzdłuż panelu i mogą być przyrównane do wartości średnich w tym panelu. Zatem obciążenie osiowe można oszacować następująco:

✓ w pasach  $N_{\text{ch}} = \pm M_{\text{global}} / h$

✓ w krzyżulcu  $N_{\text{d}} = \pm V_{\text{global}} / \cos \theta$





# OBLICZENIA – ANALIZA GLOBALNA

## Uproszczona analiza globalna

- Uproszczone oszacowanie można również przeprowadzić w przypadku ugięcia kratownicy przez obliczenie ugięcia belki równoważnej dla tego samego obciążenia. W tym celu korzysta się z teorii belki elementarnej, przyjmując moment bezwładności przekroju belki równoważnej:

$$I = \sum_{i=1}^2 A_{ch,i} \times d_i^2$$

gdzie:

$A_{ch,i}$  – pole przekroju pasa  $i$

$d_i$  – odległość od środka masy obu pasów do środka masy pasa  $i$

- W celu uwzględnienia nie ujętych we wzorach podstawowych globalnych odkształceń wynikających ze ścinania, stosuje się zredukowany moduł sprężystości.

# OBLICZENIA – ANALIZA GLOBALNA

## Siły drugorzędne

Momenty zginające i siły poprzeczne spowodowane:

- wpływem sztywności pasa dźwigara
- założeniem sztywnych węzłów

są dodawane do sił podłużnych (sił podstawowych) występujących w prętach obliczonych przy założeniu, że węzły są przegubowe.

W projektowaniu przyjęło się stosowanie ciągłych pasów i przegubowo połączonych prętów skratowania.

# OBLICZENIA – ANALIZA GLOBALNA

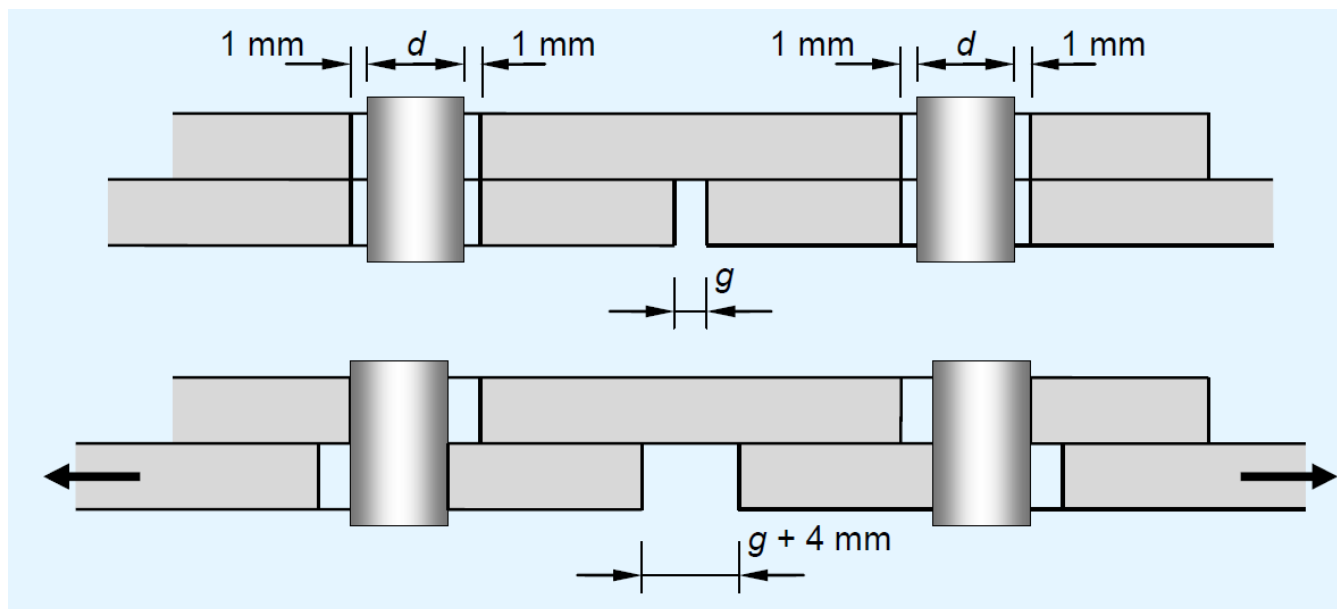
## Wpływ sił drugorzędnych

- W rzeczywistości przekształcanie połączeń przegubowych w węzły sztywne nie powoduje prawie żadnych zmian w siłach osiowych występujących w prętach;
- Zginanie elementu spowodowane drugorzędnymi momentami zginającymi przyczynia się jedynie do powstawania niewielkiej odchyłki w odległości pomiędzy końcami rozważanego elementu w porównaniu z oddziaływaniem tylko sił osiowych;
- Im większa sztywność pasów (które zwykle są ciągłe), w porównaniu do globalnej sztywności całej kratownicy, tym większe momenty powstają w pasach => **zginanie drugorzędne powinno być uwzględniane w projektowaniu pasów;**
- Porównując kratownicę z krzyżulcami sztywno połączonymi do kratownicy z węzłami przegubowymi, można zauważyć, że momenty na końcach prętów mieszczą się w tym samym zakresie co momenty wynikające z ciężaru własnego krzyżulców => **założenie krzyżulców przegubowych na obu końcach jest akceptowane.**

# OBLICZENIA – ANALIZA GLOBALNA

## Wpływ luzu powstałego w wyniku ugięcia

- Gdy połączenia pomiędzy elementami tworzącymi belkę kratownicy są połączeniami śrubowymi, w których śruby poddawane są ścinaniu (kategoria A w normie PN-EN 1993-1-8), luz wprowadzany w tych połączeniach może w znaczącym stopniu wpływać na przemieszczenie węzłów.



Wpływ luzu pod obciążeniem

# OBLICZENIA – ANALIZA GLOBALNA

## Wpływ luzu powstałego w wyniku ugięcia

- Ugięcie kratownicy powodowane luzem może zostać wyliczone przy uwzględnieniu wpływu obciążenia jednostkowego przyłożonego w połowie rozpiętości za pomocą równania Bertranda Fontviolanta:

gdzie:

$$v = \sum_{i=1}^{i=b} N_{1,i} \frac{F_i l_i}{ES_i}$$

$N_{1,i}$  – jest siłą osiową generowaną w pręcie  $i$  przez siłę jednostkową oddziałującą w punkcie, w którym jest obliczane ugięcie

$l_i$  – jest długością pręta  $i$

$S_i$  – jest polem powierzchni przekroju pręta  $i$

$b$  – jest liczbą elementów z połączeniami śrubowymi

$\frac{F_i l_i}{ES_i} \pm 4\text{mm}$  – jest zmianą długości pręta  $i$  spowodowaną zachowaniem luzu  $\pm 4\text{mm}$  w zależności od tego czy pas jest ściskany czy rozciągany.

# OBLICZENIA – ANALIZA GLOBALNA

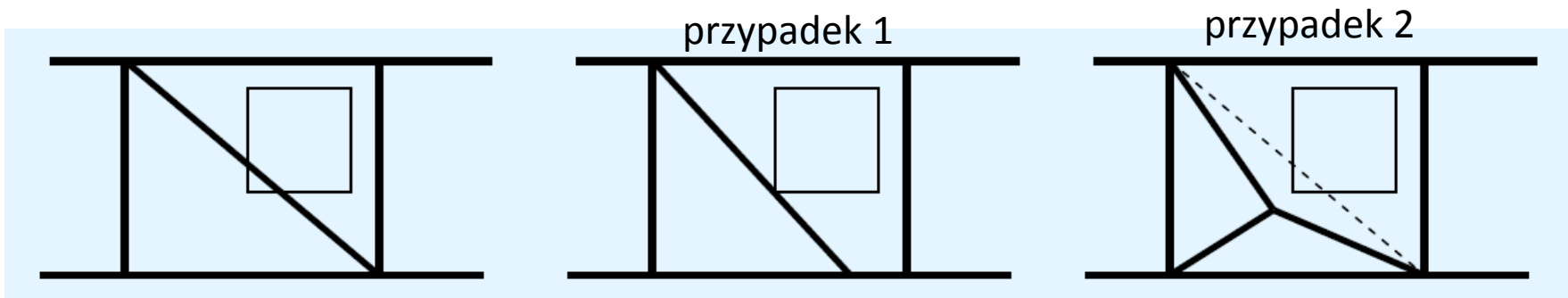
## Wpływ luzu powstałego w wyniku ugięcia

- W przypadku kratownic istotna jest kontrola luzu w połączeniach.
- Aby uzyskać kontrolę luzu spowodowanego ugięciem, konieczne jest:
  - ✓ ograniczanie luzów w połączeniach kategorii A: wiercenie z naddatkiem +1 mm lub nawet +0,5 mm i stosowanie śrub ścinanych na części niegwintowanej trzpienia (w celu ograniczenia luzu spowodowanego odkształceniem ); lub
  - ✓ stosowanie śrub pasowanych; lub
  - ✓ stosowanie śrub do połączeń sprężanych (kategorii C); lub
  - ✓ stosowanie połączeń spawanych zamiast śrubowych.

# OBLICZENIA – ANALIZA GLOBALNA

## Modyfikacja kratownicy w celu przeprowadzenia instalacji

- Często okazuje się, że w celu zapewnienia wystarczającego przekroju do przeprowadzenia instalacji (np. przez kanał o dużym przekroju) konieczna jest modyfikacja kratownicy
- Można skorzystać z kilku rozwiązań:
  - ✓ Można zwiększyć powierzchnię przejścia przez wprowadzenie niewspółśrodkowości połączenia jednego z pasów dźwigara (przypadek 1); lub
  - ✓ “złamać” prosty kształt krzyżulca, tworząc trójkątne panele przez wyprowadzenie krzyżulca z punktu przełamania (przypadek 2).



Miejscowa modyfikacja kratownicy spowodowana przeprowadzeniem kanału

# WYMIAROWANIE ELEMENTÓW



Program  
Uczenie się  
przez całe życie



# WYMIAROWANIE ELEMENTÓW PODDANYCH ŚCISKANIU

- **Nośność elementów ściskanych** jest obliczana przy założeniu różnych wariantów niestateczności:
  - ✓ miejscowe wyboczenie ścianki kształtownika jest kontrolowane przez jego klasyfikację i, w razie konieczności, właściwości przekroju efektywnego (klasa 4);
  - ✓ Wyboczenie elementu konstrukcyjnego w obliczeniach nośności jest kontrolowane przez użycie współczynnika redukcyjnego  $\chi$  (uzyskanego na podstawie smukłości elementu, która zależy od siły krytycznej  $N_{cr}$  przy wyboczeniu sprężystym);
  - ✓ W przypadku większości kratownic, wystarczy obliczyć jedynie wyboczenie giętne elementów ściskanych w płaszczyźnie i z płaszczyzny kratownicy.

# WYMIAROWANIE ELEMENTÓW PODDANYCH ŚCISKANIU

## Weryfikacja nośności obliczeniowej przekroju przy osiowym ściskaniu

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1 \quad \text{EN 1993-1-1 § 6.2.4(1)}$$

gdzie:

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{dla przekrojów klasy 1, 2, 3} \quad \text{EN 1993-1-1 § 6.2.4(2)}$$
$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{dla przekrojów klasy 4}$$

$N_{Ed}$  - wartość obliczeniowa siły ściskającej

$A$  - pole przekroju

$A_{eff}$  – efektywne pole przekroju, zgodnie z EN 1993-1-5

$f_y$  – granica plastyczności

$\gamma_{M0}$  – współczynnik częściowy do obliczania nośności przekrojów,  
niezależnie od klasy przekroju  $\gamma_{M0} = 1,00$

# WYMIAROWANIE ELEMENTÓW PODDANYCH ŚCISKANIU

## Weryfikacja nośności pręta przy wyboczeniu

EN 1993-1-1 § 6.3.1.1

gdzie:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} \quad \text{dla przekrojów klasy 1, 2, 3}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}} \quad \text{dla przekrojów klasy 4}$$

$N_{b,Rd}$  – obliczeniowa nośność na wyboczenie elementów ściskanych

$\chi$  – współczynnik redukcyjny wg odpowiedniej krzywej wyboczenia

$\gamma_{M1}$  – współczynnik częściowy do obliczania nośności elementów

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

# WYMIAROWANIE ELEMENTÓW PODDANYCH ŚCISKANIU

## Obliczenie współczynnika redukcyjnego

EN 1993-1-1 § 6.3.1.2

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1$$

gdzie:

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

$\bar{\lambda}$  - miarodajna smukłość względna

$\alpha$  - parametr imperfekcji odpowiadający poszczególnym krzywom wyboczenia

Krzywa wyboczeniowa	$a_0$	a	b	c	d
Parametr imperfekcji $\alpha$	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

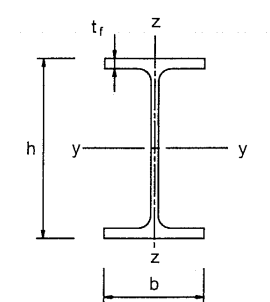
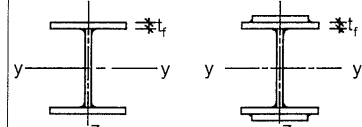
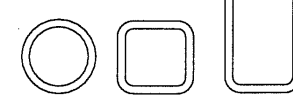
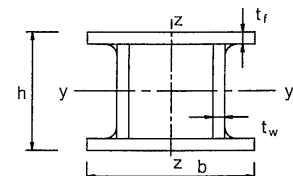
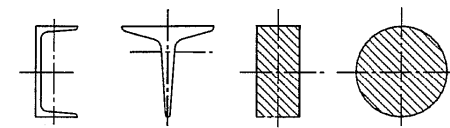
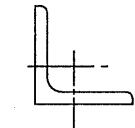
EN 1993-1-1 § 6.3.1.2

Tablica 6.1

# WYMIAROWANIE ELEMENTÓW PODDANYCH ŚCISKANIU

## Przyporządkowanie krzywych wyboczeniowych

EN 1993-1-1 § 6.3.1.2 Tablica 6.2

Rodzaj elementu i typ przekroju	Ograniczenia	Wyboczenie względem osi	Krzywa wyboczenia	
			S 235 S 275 S 355 S 420	S 460
Dwuteowniki walcowane 	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y - y z - z	a	$a_0$
			b	$a_0$
	$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$	y - y z - z	b	a
			c	a
$t_f \leq 100 \text{ mm}$	y - y z - z	b	a	
		c	a	
$t_f > 100 \text{ mm}$	y - y z - z	d	c	
		d	c	
Dwuteowniki spawane 	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y - y z - z	b c	b c
	$t_f > 40 \text{ mm}$	y - y z - z	c d	c d
Kształtowniki rurowe 	wykończone na gorąco	dowolna	a	$a_0$
	wykończone na zimno	dowolna	c	c
Elementy skrzynkowe spawane 	dowolne z wyjątkiem jak niżej	dowolna	b	b
	grube spoiny: $a > 0,5t_f$ $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	dowolna	c	c
Ceowniki, teowniki i pręty pełne 	dowolne	dowolna	c	c
Kątowniki 	dowolne	dowolna	b	b

# WYMIAROWANIE ELEMENTÓW PODDANYCH ŚCISKANIU

Obliczenie smukłości względnej  $\bar{\lambda}$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{1}{\lambda_1}$$

EN 1993-1-1 § 6.3.1.2

w przypadku przekrojów klasy 1, 2, 3

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \sqrt{\frac{A_{eff}}{A}}$$

w przypadku przekrojów klasy 4

gdzie:

$L_{cr}$  - długość wyboczeniowa w rozpatrywanej płaszczyźnie wyboczenia

$i$  - promień bezwładności przekroju brutto względem odpowiedniej osi

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9\varepsilon$$

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

# WYMIAROWANIE ELEMENTÓW PODDANYCH ŚCISKANIU

## Określenie długości wyboczeniowej

EN 1993-1-1 Załącznik BB § BB.1

PASY					
w płaszczyźnie			z płaszczyzny		
dwuteowniki	inne przekroje otwarte	przekroje zamknięte	dwuteowniki	inne przekroje otwarte	przekroje zamknięte
0,9L	1,0L	0,9L	1,0L <sub>s</sub>	1,0L <sub>s</sub>	0,9L <sub>s</sub>

gdzie:

- $L$  - długość teoretyczna w płaszczyźnie układu (odległość pomiędzy węzłami)
- $L_s$  - długość teoretyczna z płaszczyzny układu (odległość pomiędzy punktami podparcia bocznego)

# WYMIAROWANIE ELEMENTÓW PODDANYCH ŚCISKANIU

## Określenie długości wyboczeniowej

EN 1993-1-1 Załącznik BB § BB.1

SKRATOWANIE		
w płaszczyźnie (z wyłączeniem kątowników)		z płaszczyzny
zapewniony odpowiedni stopień zamocowania prętów (połączenie na co najmniej 2 śruby lub połączenie spawane)	zapewniony odpowiedni stopień zamocowania prętów (połączenie z 1 śrubą )	wszystkie przypadki
0,9L	1,0L	1,0L

$L$  – długość teoretyczna (odległość pomiędzy węzłami)



# WYMIAROWANIE ELEMENTÓW PODDANYCH ŚCISKANIU

## Skratowanie z kątowników

EN 1993-1-1 Załącznik BB § BB.1.2

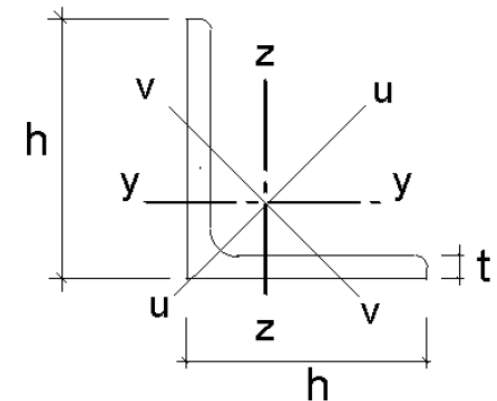
- Jeśli pasy i połączenia z nimi (na co najmniej 2 śruby), zapewniają odpowiedni stosunek zamocowania kątowników, to można pomijać mimośrodowość konstrukcyjne, przyjmując jednocześnie smukłość zastępczą.
- Smukłość zastępcza:

$$\bar{\lambda}_{\text{eff},v} = 0,35 + 0,7\bar{\lambda}_v \quad \text{przy wyboczeniu względem osi } v-v$$

$$\bar{\lambda}_{\text{eff},y} = 0,50 + 0,7\bar{\lambda}_y \quad \text{przy wyboczeniu względem osi } y-y$$

$$\bar{\lambda}_{\text{eff},z} = 0,50 + 0,7\bar{\lambda}_z \quad \text{przy wyboczeniu względem osi } z-z$$

gdzie  $\bar{\lambda}$  zostało zdefiniowane w EN 1993-1-1 § 6.3.1.2



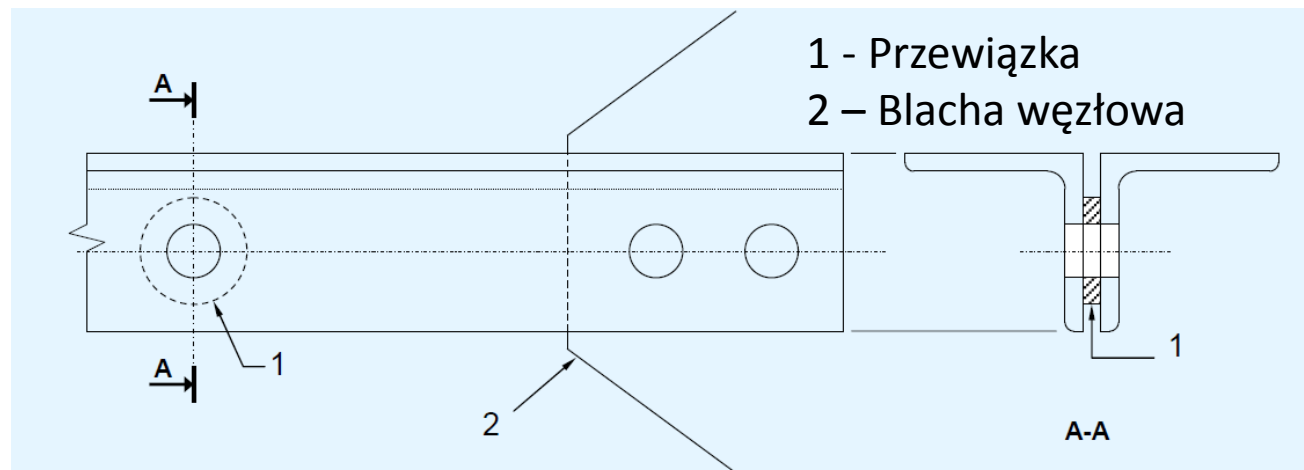
- Jeśli zastosowano połączenie na 1 śrubę to w obliczeniach należy uwzględnić mimośród konstrukcyjny oraz przyjmować  $L_{cr} = L$ .

# WYMIAROWANIE ELEMENTÓW PODDANYCH ŚCISKANIU

## Określenie nośności przy ściskaniu prętów złożonych

- Powszechnie stosowanym rozwiązaniem jest kształtowanie kratownicy z prętów złożonych z dwóch kątowników lub dwóch ceowników (UPE);
- W [Załączniku BB EN 1993-1-1](#) brakuje określenia czy szczegółowe zasady dotyczące kątowników stosowanych na pręty kratownicy również dotyczą prętów złożonych z dwóch kątowników: uwzględniając założenia upraszczające zalecane jest przyjęcie  $L_{cr} = 0,9L$ ;
- Aby zapewnić, że takie elementy złożone będą zachowywać się odpowiednio przy wyboczeniu giętnym, oba pręty składowe są połączone za pomocą niewielkich przewiązek.

Pręt złożony z dwóch kątowników



# WYMIAROWANIE ELEMENTÓW PODDANYCH ŚCISKANIU

- Pręty złożone muszą być połączone bez luzów;
- Szczelina pomiędzy kątownikami oraz grubość przewiązek powinna być taka sama jak grubość blachy węzłowej, z którą połączony jest dany element złożony;
- Maksymalny rozstaw połączeń pomiędzy elementami bliskogałęziowymi jest ograniczony przez [EN 1993-1-1](#) do  $15i_{\min}$  ( $i_{\min}$  – minimalny promień bezwładności pojedynczej gałęzi). W innym przypadku bardziej skomplikowane obliczenia będą uwzględniały wpływ podatności postaciowej pręta złożonego.

# WYMIAROWANIE ELEMENTÓW PODDANYCH ŚCISKANIU I ZGINANIU

## Weryfikacja nośności przekroju przy zginaniu

gdzie:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

EN 1993-1-1 § 6.2.5

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{w przypadku przekrojów klasy 1 i 2}$$

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{w przypadku przekrojów klasy 3}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff,min} f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{w przypadku przekrojów klasy 4}$$

$M_{Ed}$  – obliczeniowa wartość momentu zginającego

$W_{pl}$  – plastyczny wskaźnik przekroju

$W_{el,min}$  – min. sprężysty wskaźnik wytrzymałości

$W_{eff,min}$  – min. efektywny wskaźnik wytrzymałości

} odpowiadające  
największym  
wartościom naprężeń  
w stanie sprężystym.

# WYMIAROWANIE ELEMENTÓW PODDANYCH ŚCISKANIU I ZGINANIU

## Zginanie z siłą podłużną

EN 1993-1-1 § 6.2.9

➤ Przekroje klasy 1 i 2:  $M_{Ed} \leq M_{N,Rd}$

$M_{N,Rd}$  – zredukowana nośność plastyczna przy zginaniu z siłą podłużną  $N_{Ed}$

W przypadku dwuteowników walcowanych i spawanych z jednakowymi pasami, gdy wpływ ewentualnych otworów na łączniki jest pomijalny, można zastosować następujące uproszczenie:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} (1 - n) / (1 - 0,5a) \quad \text{lecz} \quad M_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd}$$

$$\text{dla } n \leq a: M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd}$$
$$\text{dla } n > a: M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \left[ 1 - \left( \frac{n - a}{1 - a} \right)^2 \right]$$

gdzie:  $n = N_{Ed} / N_{pl,Rd}$

$$a = (A - 2bt_f) / A \quad \text{lecz} \quad a \leq 0,5$$

W przypadku innych przekrojów należy skorzystać z EN 1993-1-1 § 6.2.9(5)

# WYMIAROWANIE ELEMENTÓW PODDANYCH ŚCISKANIU I ZGINANIU

## Zginanie z siłą podłużną

EN 1993-1-1 § 6.2.9

➤ Przekroje klasy 3 i 4:

$$\sigma_{x,Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$\sigma_{x,Ed}$  – wartość obliczeniowa naprężeń normalnych od momentu i siły podłużnej, z uwzględnieniem ewentualnych otworów na łączniki (patrz EN 1993-1-1 § 6.2.4 i § 6.2.5);

W przypadku przekrojów klasy 4  $\sigma_{x,Ed}$  jest obliczane z zastosowaniem pola przekroju współpracującego i dodatkowo stosuje się warunek:

$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{Ny}}{W_{eff,y,min} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{Nz}}{W_{eff,z,min} f_y / \gamma_{M0}} \leq 1$$

gdzie:

$e_N$  – przesunięcie względem odpowiedniej osi środka ciężkości przekroju współpracującego przy równomiernym ściskaniu

# WYMIAROWANIE ELEMENTÓW PODDANYCH ŚCISKANIU I ZGINANIU

**Weryfikacja nośności przekroju przy ścinaniu**  $\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$   
EN 1993-1-1 § 6.2.6

✓ Przy braku skręcania obliczeniowa nośność plastyczna przy ścinaniu:

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

✓ Nośność przekroju przy ścinaniu sprężystym:  $\frac{\tau_{Ed}}{f_y / (\sqrt{3} \gamma_{M0})} \leq 1,0$

gdzie:  $\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed} S}{I \times t}$  dla przekrojów dwuteowych:  $\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w}$  jeżeli  $A_f/A_w \geq 0,6$

$V_{Ed}$  – wartość obliczeniowa siły poprzecznej

$A_v$  – pole przekroju czynnego przy ścinaniu według EN 1993-1-1 § 6.2.6(3)

$S$  - moment statyczny względem głównej osi przekroju części przekroju między punktem, w którym oblicz się  $\tau_{Ed}$ , a brzegiem przekroju

$I$  – moment bezwładności całego przekroju

$t$  - grubość w rozpatrywanym punkcie

$A_f$  - pole przekroju pasa

$A_w$  - pole przekroju środnika:  $A_w = h_w t_w$

$h_w, t_w$  - odpowiednio wysokość i grubość środnika

# WYMIAROWANIE ELEMENTÓW PODDANYCH ŚCISKANIU I ZGINANIU

## Wpływ siły poprzecznej i siły podłużnej na nośność przy zginaniu

EN 1993-1-1 § 6.2.10

- Jeżeli  $V_{Ed} \leq 0,5V_{pl,Rd}$  i  $h_w/t_w \leq 72\varepsilon/\eta$  ( $\eta$  jest określone w EN 1993-1-5 lub zachowawczo  $\eta = 1,0$ ), nośność przekroju wyznaczona na podstawie EN 1993-1-1 § 6.2.9 nie ulega redukcji ze względu na ścinanie.
- Jeżeli  $V_{Ed} > 0,5V_{pl,Rd}$  zredukowaną nośność na zginanie z siłą podłużną należy obliczyć z uwzględnieniem zredukowanej granicy plastyczności  $(1-\rho)f_y$  w polu czynnym przy ścinaniu, gdzie:

$$\rho = \left( \frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2$$



# WYMIAROWANIE ELEMENTÓW PODDANYCH ŚCISKANIU I ZGINANIU

## Warunki nośności elementów ściskanych i zginanych z uwzględnieniem niestateczności

EN 1993-1-1 § 6.3.3

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

gdzie:

$N_{Ed}$ ,  $M_{y,Ed}$  i  $M_{z,Ed}$  – wartości obliczeniowe siły ściskającej i maksymalnych momentów zginających względem osi y-y i z-z

$\Delta M_{y,Ed}$ ,  $\Delta M_{z,Ed}$  – ewentualne momenty spowodowane przesunięciem środka ciężkości przekroju klasy 4 wg EN 1993-1-1 § 6.2.9.3

$\chi_y$  i  $\chi_z$  – współczynniki wyboczenia giętnego wg § 6.3.1

$\chi_{LT}$  współczynnik zwichrzenia wg § 6.3.2

$k_{yy}$ ,  $k_{yz}$ ,  $k_{zy}$ ,  $k_{zz}$  – współczynniki interakcji

# WYMIAROWANIE ELEMENTÓW PODDANYCH ŚCISKANIU I ZGINANIU

- Wartości do wyznaczania  $N_{Rk} = f_y A_i$ ,  $M_{i,Rk} = f_y W_i$  i  $\Delta M_{i,Ed}$

klasa	1	2	3	4
$A_i$	A	A	A	$A_{eff}$
$W_y$	$W_{pl,y}$	$W_{pl,y}$	$W_{el,y}$	$W_{eff,y}$
$W_z$	$W_{pl,z}$	$W_{pl,z}$	$W_{el,z}$	$W_{eff,z}$
$\Delta M_{y,Ed}$	0	0	0	$e_{N,y} N_{Ed}$
$\Delta M_{z,Ed}$	0	0	0	$e_{N,z} N_{Ed}$

EN 1993-1-1 § 6.3.3

- Współczynniki interakcji  $k_{yy}$ ,  $k_{yz}$ ,  $k_{zy}$ ,  $k_{zz}$  można obliczać różnymi metodami. Wartości tych współczynników można wyznaczać na podstawie [Załącznika A EN 1993-1-1](#) (alternatywna metoda 1) lub [Załącznika B EN 1993-1-1](#) (alternatywna metoda 2).

Załącznik krajowy do normy [PN-EN 1993-1-1](#) zaleca stosowanie alternatywnej metody 2.

# WYMIAROWANIE ELEMENTÓW PODDANYCH ROZCIĄGANIU

## Weryfikacja prętów rozciąganych

EN 1993-1-1 § 6.2.3

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

gdzie:

$N_{t,Rd}$  – obliczeniowa nośność przy rozciąganiu

- W przypadku połączeń spawanych:  $N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}}$
- W przypadku połączeń śrubowych w zależności od kategorii połączenia: [EN 1993-1-8 § 3.1.1\(4\)](#)

**Kategoria A:** połączenie typu dociskowego

**Kategoria B:** połączenie cierne w stanie granicznym użytkowości

**Kategoria C:** połączenie cierne w stanie granicznym nośności

# WYMIAROWANIE ELEMENTÓW PODDANYCH ROZCIĄGANIU

## Nośność prętów rozciąganych z połączeniami śrubowymi

EN 1993-1-1 § 6.2.3

- W przypadku przekrojów z otworami na śruby w połączeniu kategorii A lub B, obliczeniowa nośność przy rozciąganiu  $N_{t,Rd}$ :

$$N_{t,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{Obliczeniowa nośność plastyczna przekroju brutto} \\ N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \quad \text{Obliczeniowa nośność graniczna przekroju netto} \end{array} \right.$$

- W przypadku połączeń kategorii C obliczeniowa nośność  $N_{t,Rd}$ :

$$N_{t,Rd} = N_{net,Rd} = \frac{A_{net} f_y}{\gamma_{M0}} \quad A_{net} = A - t n d_0$$

gdzie:

$A$  – pole przekroju brutto

$t$  – grubość półki teownika

$A_{net}$  – pole przekroju netto

$n$  – liczba otworów w rzędzie

$\gamma_{M2} = 1,25$

$d_0$  – średnica otworu na łączniki

$\gamma_{M2}$  – wsp. częściowy do wyznaczania nośności na rozerwanie przekrojów z otworami

# WYMIAROWANIE ELEMENTÓW PODDANYCH ROZCIĄGANIU

## Nośność prętów rozciąganych z połączeniami śrubowymi

### Kątowniki połączone jednym ramieniem

EN 1993-1-8 § 3.10.3

- Pojedynczy rozciągany kątownik połączony szeregiem śrub na jednym ramieniu, może być traktowany jako obciążony osiowo, przy czym nośność obliczeniowa takiego elementu jest określona jako:

przy 1 śrubie	przy 2 śrubach	przy 3 i większej liczbie śrub
$N_{u,Rd} = \frac{2,0(e_2 - 0,5d_0)t \times f_u}{\gamma_{M2}}$	$N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 A_{net} \times f_u}{\gamma_{M2}}$	$N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 A_{net} \times f_u}{\gamma_{M2}}$

gdzie:

$\beta_2$  i  $\beta_3$  – współczynniki redukcyjne zależne od rozstawu  $p_1$

$A_{net}$  – pole przekroju netto kątownika; dla kątowników nierównoramiennych łączonych węższym ramieniem,  $A_{net}$  przyjmuje się równe polu przekroju netto zastępczego kątownika o szerokości obu ramion równej szerokości ramienia węższego

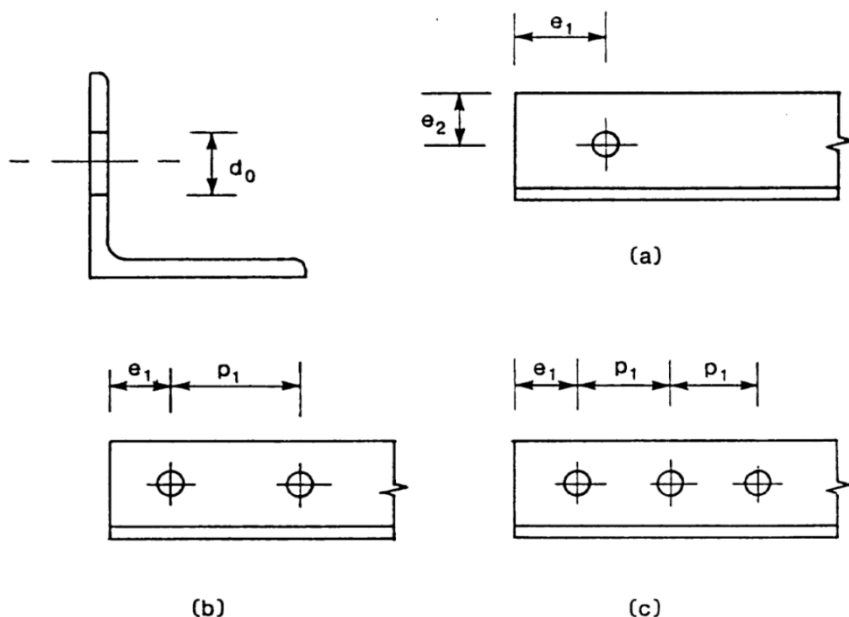
$f_u$  – wytrzymałość na rozciąganie stali

# WYMIAROWANIE ELEMENTÓW PODDANYCH ROZCIĄGANIU

## Nośność prętów rozciąganych z połączeniami śrubowymi

### Kątowniki połączone jednym ramieniem

EN 1993-1-8 § 3.10.3



(a) 1 śruba

(b) 2 śruby

(c) 3 śruby

EN 1993-1-8 § 3.10.3 Tablica 3.8

Rozstaw	$p_1$	$\leq 2,5d_0$	$\geq 5,0d_0$
2 śruby	$\beta_2$	0,4	0,7
3 śruby	$\beta_3$	0,5	0,7

Dla pośrednich wartości  $p_1$   
wartość  $\beta$  można interpolować

- Podobne założenia powinny być uwzględniane dla innych rozciąganych elementów łączonych niesymetrycznie.

# WYMIAROWANIE ELEMENTÓW PODDANYCH ROZCIĄGANIU I ZGINANIU

## Weryfikacja prętów rozciąganych i zginanych

gdzie:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

EN 1993-1-1 § 6.2.1(7)

EN 1993-1-1 § 6.2.3

EN 1993-1-1 § 6.2.5

$N_{t,Rd}$  – obliczeniowa nośność przy rozciąganiu

$M_{c,Rd}$  – obliczeniowa nośność na zginanie z uwzględnieniem otworów na łączniki

## Uwzględnienie otworów na łączniki przy obliczaniu nośności obliczeniowej

- Otwory na łączniki w pasie rozciąganym można pomijać w obliczeniach, pod warunkiem:

$$\frac{A_{f,net} \times 0,9 f_u}{\gamma_{M2}} \geq \frac{A_f f_y}{\gamma_{M0}}$$

gdzie:

$A_f$  – pole przekroju pas rozciąganego

- Otwory na łączniki w rozciąganej strefie środka można pomijać w obliczeniach, jeśli powyższy warunek jest spełniony dla całej strefy rozciąganej przekroju.

# WYMIAROWANIE POŁĄCZEŃ



Program  
Uczenie się  
przez całe życie



# WYMIAROWANIE POŁĄCZEŃ – POŁĄCZENIA ŚRUBOWE

## ➤ Kategorie połączeń śrubowych

EN 1993-1-8 Tablica 3.2

Kategoria	Kryteria	Uwagi
Połączenia zakładkowe		
A – Połączenie typu dociskowego	$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Sprężenie nie jest wymagane. Można stosować śruby od klasy 4.6 do 10.9.
B – Połączenie cierne w SGU	$F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$ $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Zaleca się śruby do sprężania klas 8.8 lub 10.9. Odporność na poślizg w SGU, patrz EN 1993-1-8 § 3.9.
C – Połączenie cierne w SGN	$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$	Zaleca się śruby do sprężania klas 8.8 lub 10.9 Odporność na poślizg w SGN, patrz EN 1993-1-8 § 3.9; $N_{net,Rd}$ patrz EN 1993-1-1.
Połączenia doczołowe		
D – Połączenie niesprężane	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Sprężenie nie jest wymagane. Można stosować śruby od klasy 4.6 do 10.9.
E – Połączenie sprężane	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Zaleca się śruby do sprężania klas 8.8 lub 10.9.

# WYMIAROWANIE POŁĄCZEŃ – POŁĄCZENIA ŚRUBOWE

## ➤ Nośność pojedynczych łączników na ścinanie

✓  $F_{v,Rd}$  – Nośność na ścinanie w jednej płaszczyźnie  $F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}}$

gdy płaszczyzna ścinania przechodzi przez gwintowaną część śruby  
( $A$  jest polem czynnego przekroju śruby  $A_s$ ):

- $\alpha_v = 0,6$  dla klas 4.6, 5.6. 8.8
- $\alpha_v = 0,5$  dla klas 4.8, 5.8. 10.9

gdy płaszczyzna ścinania nie przechodzi przez gwintowaną część śruby  
( $A$  jest polem przekroju trzpienia  $A$ ) i  $\alpha_v = 0,6$

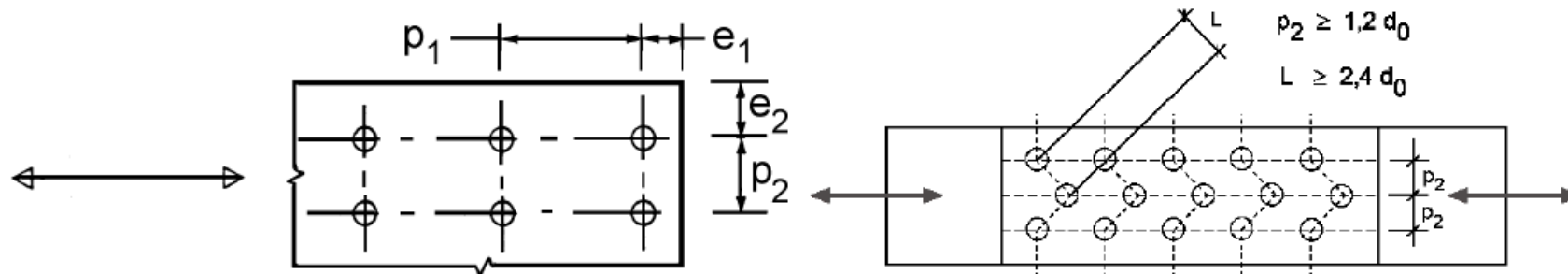
✓  $F_{b,Rd}$  – Nośność na docisk  $F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}}$

$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right)$  ← dla śrub skrajnych →  $k_1 = \min\left(1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right)$

$\alpha_b = \min\left(\frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right)$  ← dla śrub pośrednich →  $k_1 = \min\left(1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right)$

# WYMIAROWANIE POŁĄCZEŃ – POŁĄCZENIA ŚRUBOWE

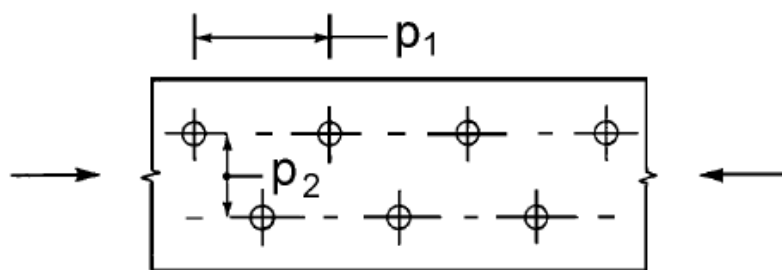
## ➤ Symbole odległości czołowych i bocznych oraz rozstawów łączników



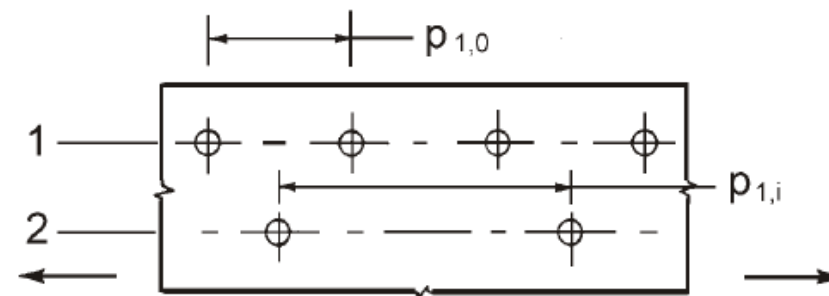
$$1,2d_0 \leq \begin{pmatrix} e_1 \\ e_2 \end{pmatrix} \leq \begin{cases} 4t + 40\text{mm} \\ 8t \text{ or } 125\text{mm} \end{cases}$$

Konstrukcje wykonane według EN 10025 z wyjątkiem stali według EN 10025-5

Konstrukcje wykonane według EN 10025-5



Rozstawy w układzie przestawionym w elementach ściskanych



1 – szereg zewnętrzny, 2 – szereg wewnętrzny  
Rozstawy w układzie przestawionym w elementach rozciąganych

$$2,2d_0 \leq p_1 \leq \min(14t, 200\text{mm})$$

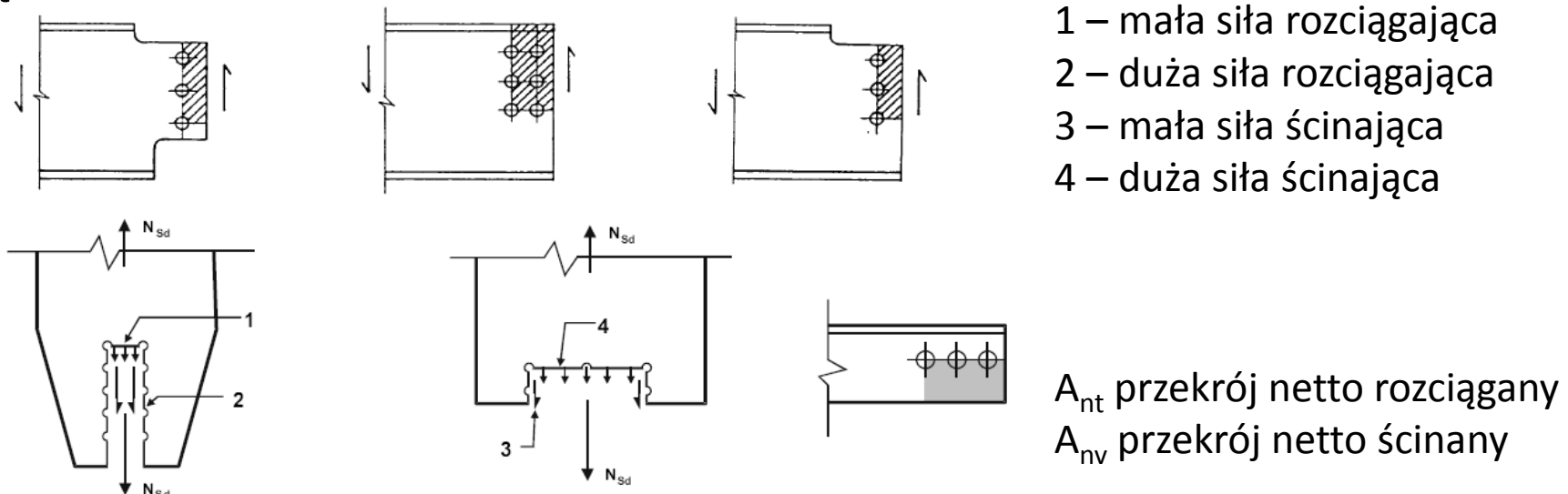
$$2,4d_0 \leq p_2 \leq \min(14t, 200\text{mm})$$

$$p_{1,0} \leq \min \begin{cases} 14t \\ 200\text{mm} \end{cases} \quad p_{1,i} \leq \min \begin{cases} 28t \\ 400\text{mm} \end{cases}$$

# WYMIAROWANIE POŁĄCZEŃ – POŁĄCZENIA ŚRUBOWE

## ➤ Wymiarowanie ze względu na rozerwanie blokowe

Rozerwanie blokowe następuje przez jednoczesne ścięcie przekroju netto wzdłuż kierunku obciążenia i rozerwanie przekroju netto w poprzek kierunku obciążenia.



- ✓ W przypadku symetrycznej grupy śrub obciążonej osiowo, obliczeniowa nośność na rozerwanie blokowe spełnia warunek:

$$V_{Ed} \leq V_{eff,1,Rd} = f_u A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) f_y A_{nv} / \gamma_{M0}$$

- ✓ W przypadku grupy śrub obciążonej mimośrodowo, obliczeniowa nośność na rozerwanie blokowe spełnia warunek:

$$V_{Ed} \leq V_{eff,2,Rd} = 0,5 f_u A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) f_y A_{nv} / \gamma_{M0}$$

# WYMIAROWANIE POŁĄCZEŃ – POŁĄCZENIA ŚRUBOWE

## ➤ Nośność obliczeniowa pojedynczych łączników na rozciąganie

✓  $B_{p,Rd}$  – nośność na przeciąganie  $B_{p,Rd} = 0,6\pi d_m t_p f_u / \gamma_{M2}$

gdzie:  $d_m$  – średnia ze średnic wpisanej i opisanej na łbie śruby  
lub nakrętce (przyjmuje się mniejszą wartość średnią)

$t_p$  – grubość blachy pod śrubą lub nakrętką

✓  $F_{t,Rd}$  – nośność na rozciąganie  $F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$

gdzie:

$k_2 = 0,63$  dla śrub z łbem wpuszczanym; w innych przypadkach:  $k_2 = 0,9$ .

## ➤ Ścinanie z rozciąganiem

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

# WYMIAROWANIE POŁĄCZEŃ – POŁĄCZENIA ŚRUBOWE

## ➤ Nośność obliczeniowa na poślizg

gdzie:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,C}$$

$n$  – liczba styków ciernych

$F_{p,C}$  – siła sprężenia  $F_{p,C} = 0,7 f_{ub} A_s$

$\mu$  – współczynnik tarcia z [Tablicy 3.7 EN 1993-1-8](#)

$k_s$  – współczynnik z [Tablicy 3.6 EN 1993-1-8](#)

$\gamma_{M3} = 1,25$  – wsp. częściowy przy nośności na poślizg

EN 1993-1-1 § 3.9.1

Klasa powierzchni ciernej (patrz EN 1090)	Wsp. tarcia $\mu$
A	0,5
B	0,4
C	0,3
D	0,2

Opis	$k_s$
Śruby w otworach normalnych	1,0
Śruby w otworach powiększonych lub owalnych krótkich wydłużonych prostopadle do kierunku obciążenia	0,85
Śruby w otworach owalnych długich wydłużonych prostopadle do kierunku obciążenia	0,7
Śruby w otworach owalnych krótkich wydłużonych równolegle do kierunku obciążenia	0,76
Śruby w otworach owalnych długich wydłużonych równolegle do kierunku obciążenia	0,63

# WYMIAROWANIE POŁĄCZEŃ – POŁĄCZENIA SPAWANE

## ➤ **Nośność obliczeniowa spoin pachwinowych** EN 1993-1-8 § 4.5.3.2(6)

✓ Przyjmuje się równomierny rozkład naprężeń w przekroju spoiny, oraz składowe naprężenia normalne i styczne:

$\sigma_{\perp}$  - naprężenie normalne prostopadłe do przekroju spoiny

$\tau_{\perp}$  - naprężenie styczne prostopadłe do osi spoiny

$\tau_{\parallel}$  - naprężenie styczne równoległe do osi spoiny

Naprężeń normalnych  $\sigma_{\parallel}$  równoległych do osi nie uwzględnia się przy sprawdzaniu nośności spoiny.

✓ Nośność obliczeniową spoiny pachwinowej uznaje się za wystarczającą, jeśli spełnione są następujące warunki :

$$\sigma_w = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) \quad \text{oraz} \quad \sigma_{\perp} \leq 0,9 f_u / \gamma_{M2}$$

gdzie:  $\beta_w$  – odpowiedni współczynnik korelacji EN 1993-1-8 Tablica 4.1

# WYMIAROWANIE POŁĄCZEŃ – POŁĄCZENIA SPAWANE

EN 1993-1-8 Tablica 4.1

Norma i gatunek stali			Współczynnik korelacji $\beta_w$
EN 10025	EN 10210	EN 10219	
S 235 S 235 W	S 235 H	S 235 H	0,8
S 275 S 275 N/NL S 275 M/ML	S 275 H S 275 NH/NLH	S 275 H S 275 NH/NLH S 275 MH/MLH	0,85
S 355 S 355 N/NL S 355 M/ML S 355 W	S 355 H S 355 NH/NLH	S 355 H S 355 NH/NLH S 355 MH/MLH	0,9
S 420 N/NL S 420 M/ML		S 420 MH/MLH	1,0
S 460 N/NL S 460 M/ML S 460 Q/QL/QL1	S 460 NH/NLH	S 460 NH/NLH S 460 MH/MLH	1,0



# PODSUMOWANIE



Program  
Uczenie się  
przez całe życie

## PODSUMOWANIE

- Zastosowanie konstrukcji kratowych umożliwia kształtowanie budynków o zróżnicowanych kształtach i rozpiętościach.
- Niniejsza prezentacja stanowi przewodnik do projektowania kratownic w budynkach parterowych uwzględniający zagadnienia związane z kształtowaniem układów nośnych i szczegółów konstrukcyjnych, analizą globalną jak również wymiarowaniem prętów kratownicy (pasów i skratowania) oraz połączeń (styki pasów, połączenie skratowania z pasami).

# BIBLIOGRAFIA



Program  
Uczenie się  
przez całe życie

# BIBLIOGRAFIA

- PN-EN 1993-1-1 – Eurokod 3 Projektowanie konstrukcji stalowych - Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków
- PN-EN 1993-1-8 – Eurokod 3 Projektowanie konstrukcji stalowych - Część 1-8: Projektowanie węzłów



# Program Uczenie się przez całe życie

Moduły szkoleniowe SKILLS zostały opracowane przez konsorcjum organizacji, podanych na dole slajdu.  
Materiał jest w objęty licencją Creative Commons 

Ten projekt został zrealizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej.  
Publikacje w ramach tego projektu odzwierciedlają jedynie stanowisko ich autorów i Komisja Europejska  
nie ponosi odpowiedzialności za umieszczoną w nich zawartość merytoryczną.

