



Program Uczenie się przez całe życie

Projekt SKILLS



PROJEKTOWANIE I OBLICZANIE PŁATWI WALCOWANYCH NA GORAĆO



Program
Uczenie się
przez całe życie

CELE MODUŁU SZKOLENIOWEGO

- Umiejętność projektowania płatwi z kształtowników walcowanych na gorąco
- Umiejętność obliczania i sprawdzania płatwi z kształtowników walcowanych na gorąco
- Umiejętność uwzględniania w obliczeniach poszycia stabilizującego płatwie

Zawartość

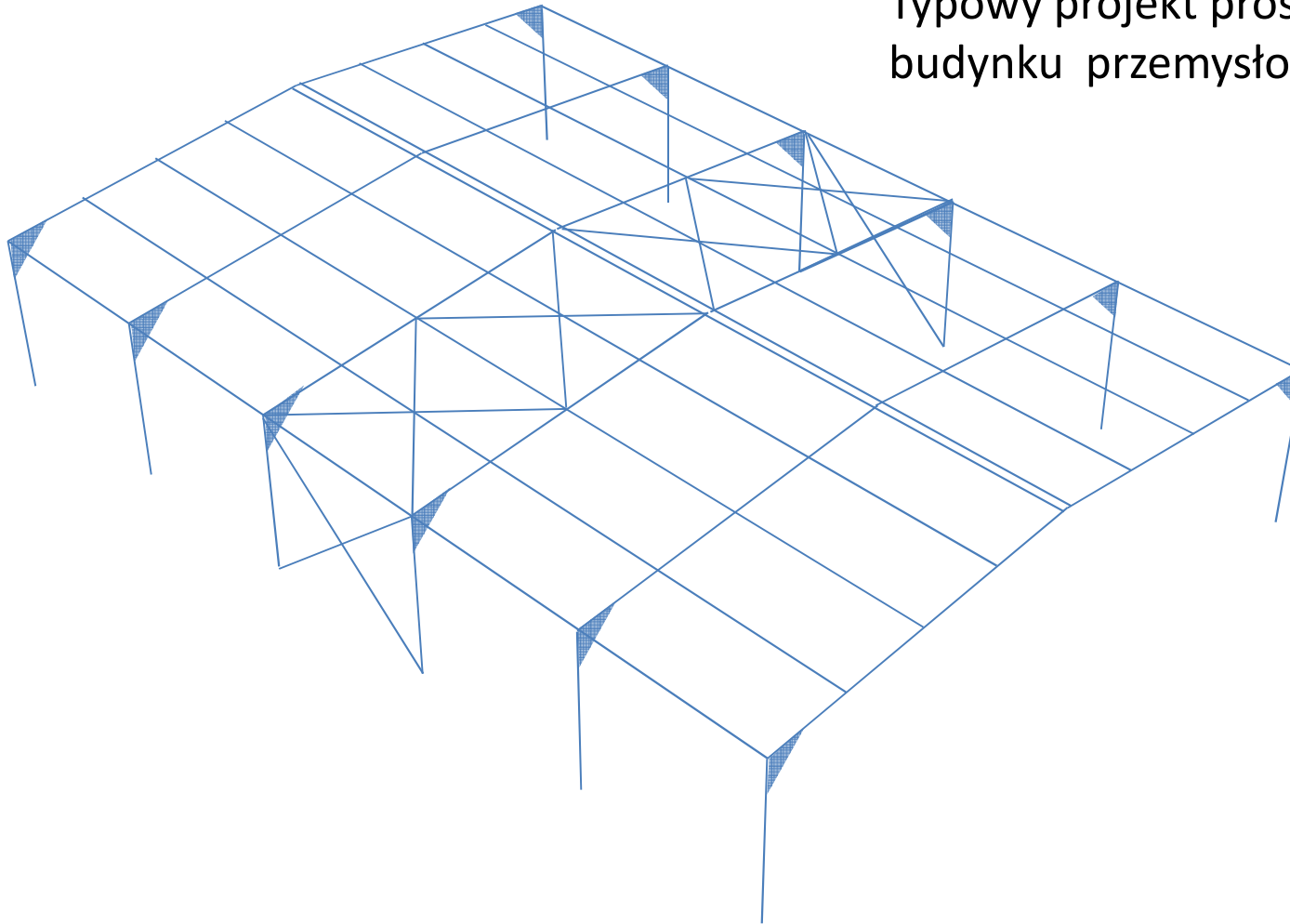
- **Wstęp**
- **Projektowanie i detale konstrukcyjne**
- **Obliczenia**
 - ✓ Oddziaływania i obciążenia
 - ✓ Nośność przekroju
 - ✓ Zwichrzenie
- **Stabilizacja płatwi przez pokrycie**
 - ✓ Pojęcia
 - ✓ Skutki przy sprawdzaniu płatwi
 - ✓ Sprawdzenie elementów poszycia
- **Wnioski**

WSTĘP



Program
Uczenie się
przez całe życie

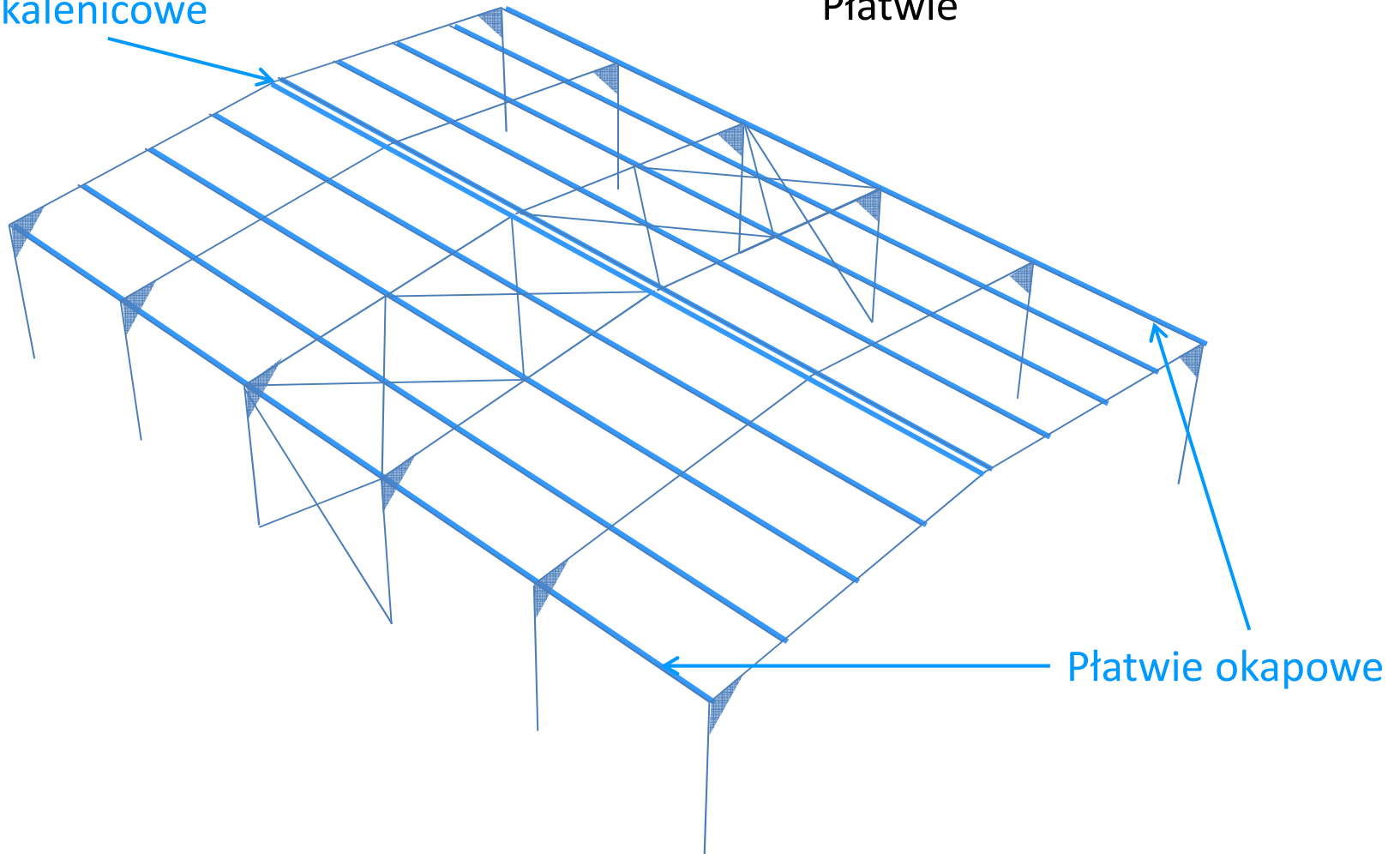
Typowy projekt prostego
budynku przemysłowego



WSTĘP

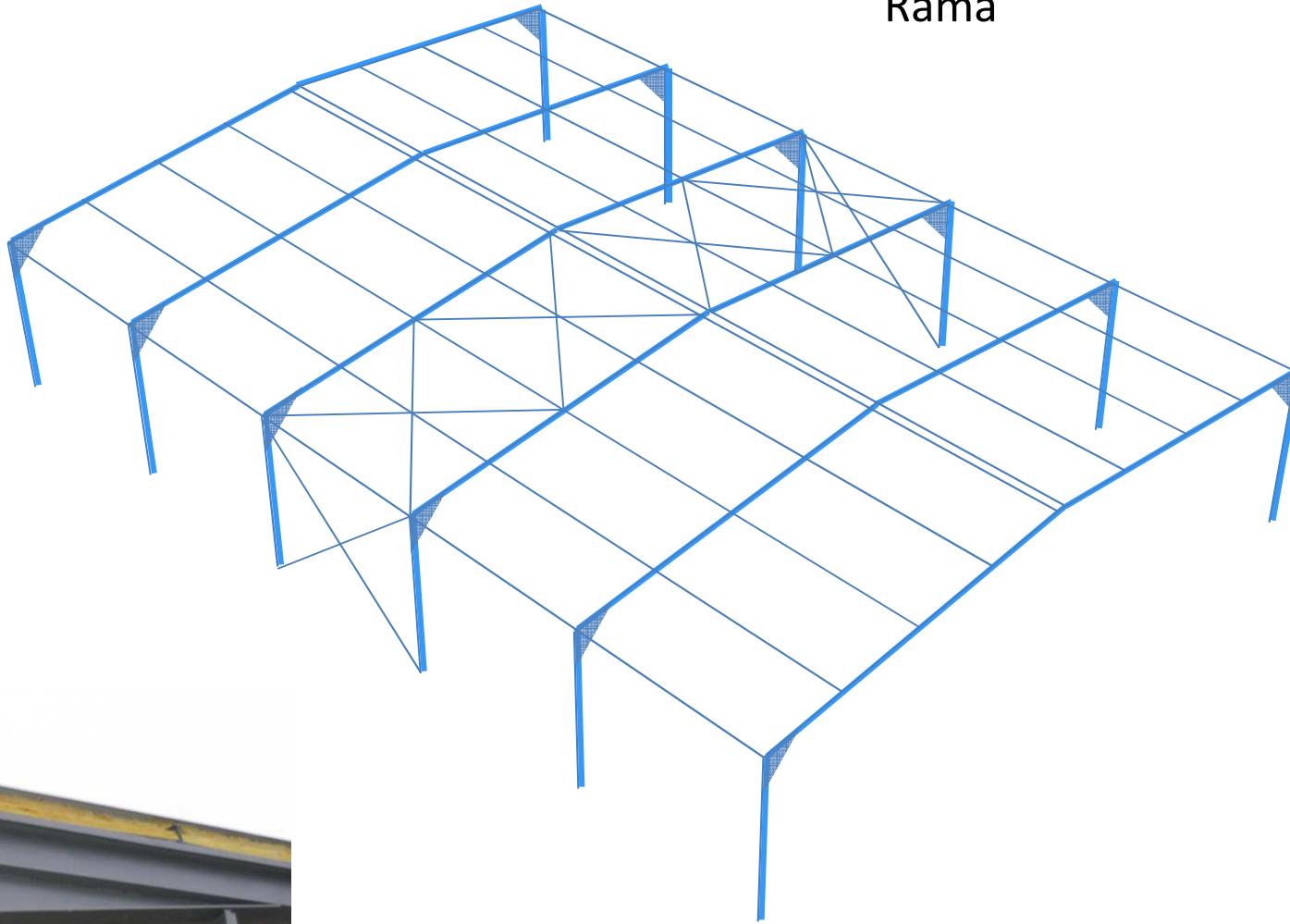
Płatwie kalenicowe

Płatwie



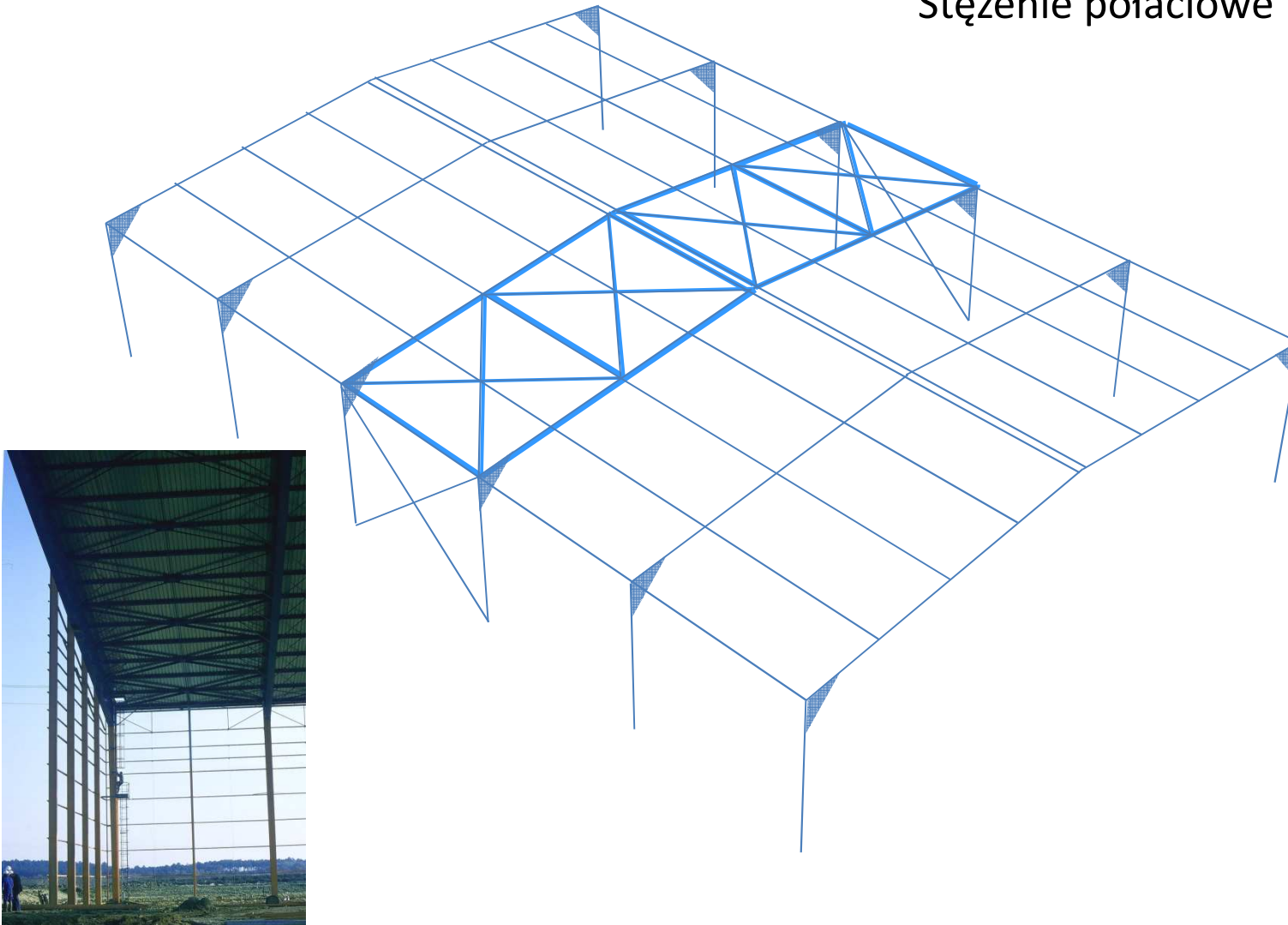
WSTĘP

Rama



WSTĘP

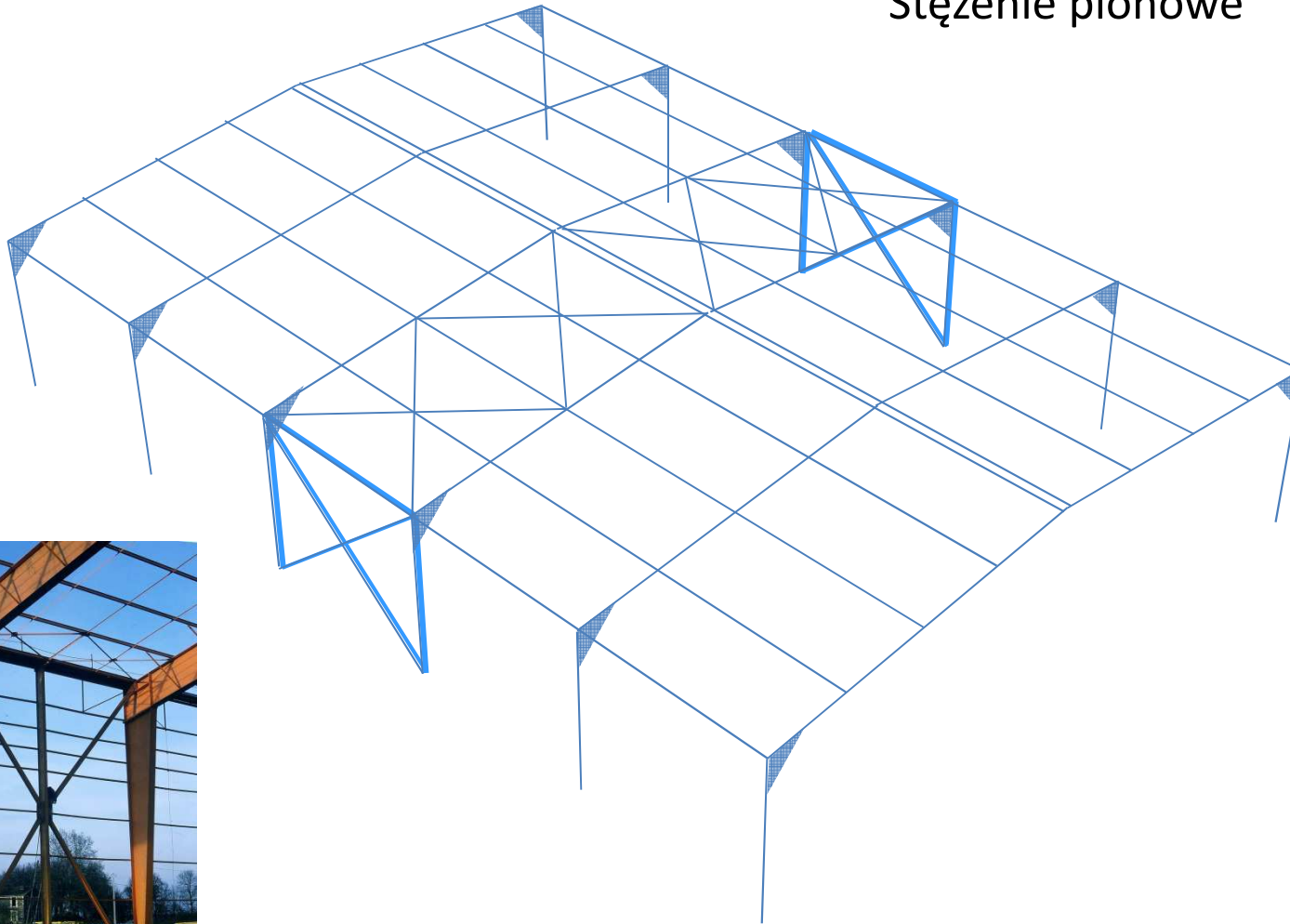
Stężenie połączeniowe



Fot. APK

WSTĘP

Stężenie pionowe



Fot. APK

WSTĘP



WSTĘP



Fot. APK

- Funkcja płatwi w strukturze budynku
 - ✓ Przeniesienie obciążeń pionowych na elementy główne (ramy)
 - ✓ Przeniesienie obciążeń poziomych na stężenia
 - ✓ Udział w stabilizacji budynku, jako słupki dźwigara wiatrowego i stężenia połączowego
 - ✓ Stabilizacja rygli

PROJEKTOWANIE I DETALE KONSTRUKCYJNE



Program
Uczenie się
przez całe życie

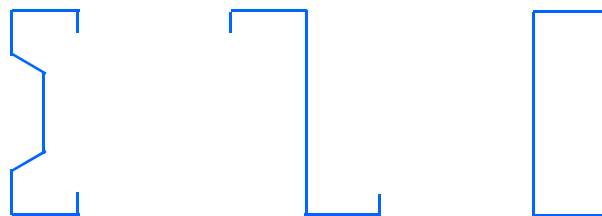
PROJEKTOWANIE I DETALE KONSTRUKCYJNE

➤ Wybór przekroju

- ✓ Kształtowniki walcowane na gorąco (IPE, UPE)



- ✓ Kształtowniki profilowane na zimno (Sigma, Z, C)



➤ Wybór typu elementu

- ✓ Kratownica



- ✓ Kształtowniki ażurowe: w szczególnych przypadkach



- Kryteria wyboru przekroju
 - ✓ Rozpiętość płatwi (duża czy mała?)
 - ✓ Obciążenia płatwi (wiatr, śnieg, obciążenia związane z utrzymaniem pokrycia)
 - ✓ Schemat statyczny płatwi
 - ✓ Siła w płatwi (moment zginający i siła osiowa?)

PROJEKTOWANIE I DETALE KONSTRUKCYJNE

➤ Kształtowniki walcowane na gorąco

✓ Seria «I»: wybór, gdy dominuje zginanie

IPEa IPE IPN IPEo lekki

✓ Seria «H»: wybór, gdy podwyższone ryzyko wyboczenia

HEAA HEA HEB HEM ciężki

lekki

ciężki

PROJEKTOWANIE I DETALE KONSTRUKCYJNE

➤ Schemat statyczny

- ✓ Płatwie na dwóch podporach przegubowych



- ✓ Płatwie na trzech podporach



- ✓ Płatwie ciągłe na długości budynku

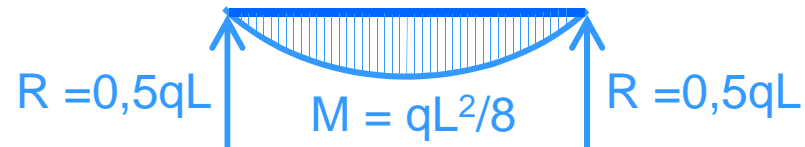


- ✓ Płatwie wieloprzęsłowe z przegubami



PROJEKTOWANIE I DETALE KONSTRUKCYJNE

- ✓ Płatwie na dwóch podporach przegubowych
- Płatwie statycznie wyznaczalne

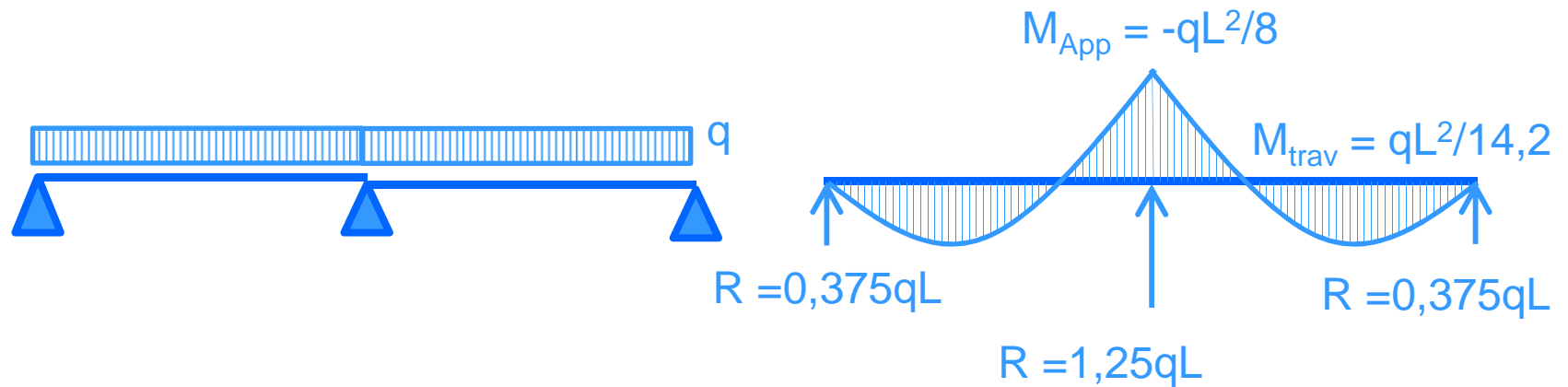


Korzyści: łatwy montaż
 łatwy transport

Wady: większe ugięcie ($5/384 qL^4/EI$)
 większy moment zginający
 większy ciężar płatwi

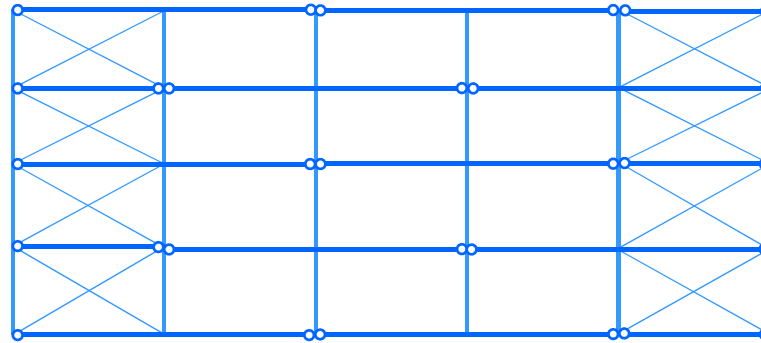
PROJEKTOWANIE I DETALE KONSTRUKCYJNE

- ✓ Płatwie na trzech podporach przegubowych



- Korzyści:
- łatwy montaż
 - łatwy transport
 - zmniejszenie ugięcia (max: 42% ugięcia płatwi statycznie wyznaczalnej)
- Wady:
- większy moment zginający
 - średni ciężar

- ✓ Płatwie na trzech podporach przegubowych

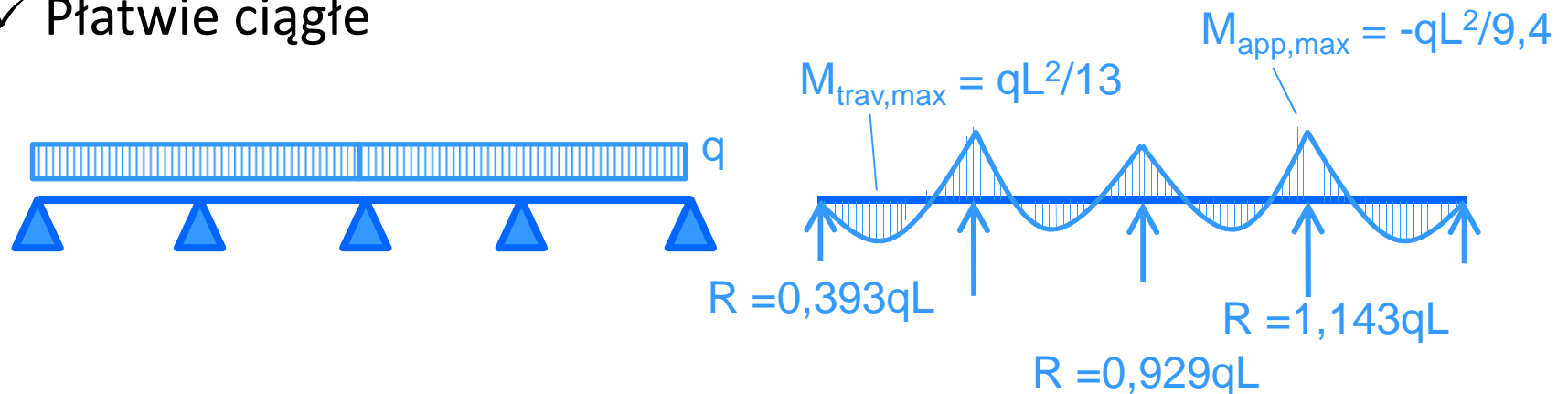


- Zmienne położenie płatwi ciągłych
 - Równomierny rozkład sił na rygle (skutek ciągłości)
 - Płatwie na dwóch podporach przegubowych przy skrajnych ryglach:

Uwaga na zróżnicowane ugięcie
Ryzyko nagromadzenia wody

PROJEKTOWANIE I DETALE KONSTRUKCYJNE

✓ Płatwie ciągłe



Korzyści:

małe ugięcie (max: 20% ugięcia płatwi statycznie wyznaczalnej)
mały ciężar

Wady:

kosztowny montaż (węzły uciągające)
trudność zapewnienia sztywności połączenia

PROJEKTOWANIE I DETALE KONSTRUKCYJNE

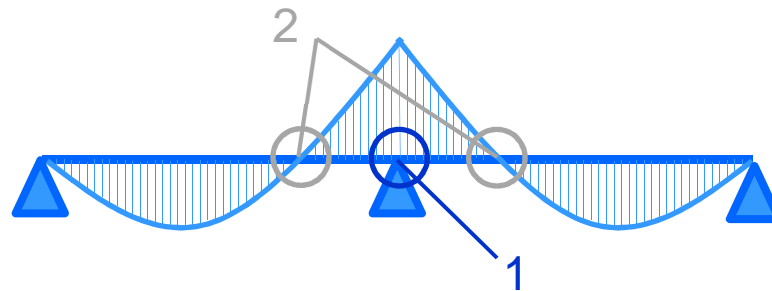
✓ Styki uciągające – Lokalizacja

- Na podporze (1):

Korzyść: łatwy montaż

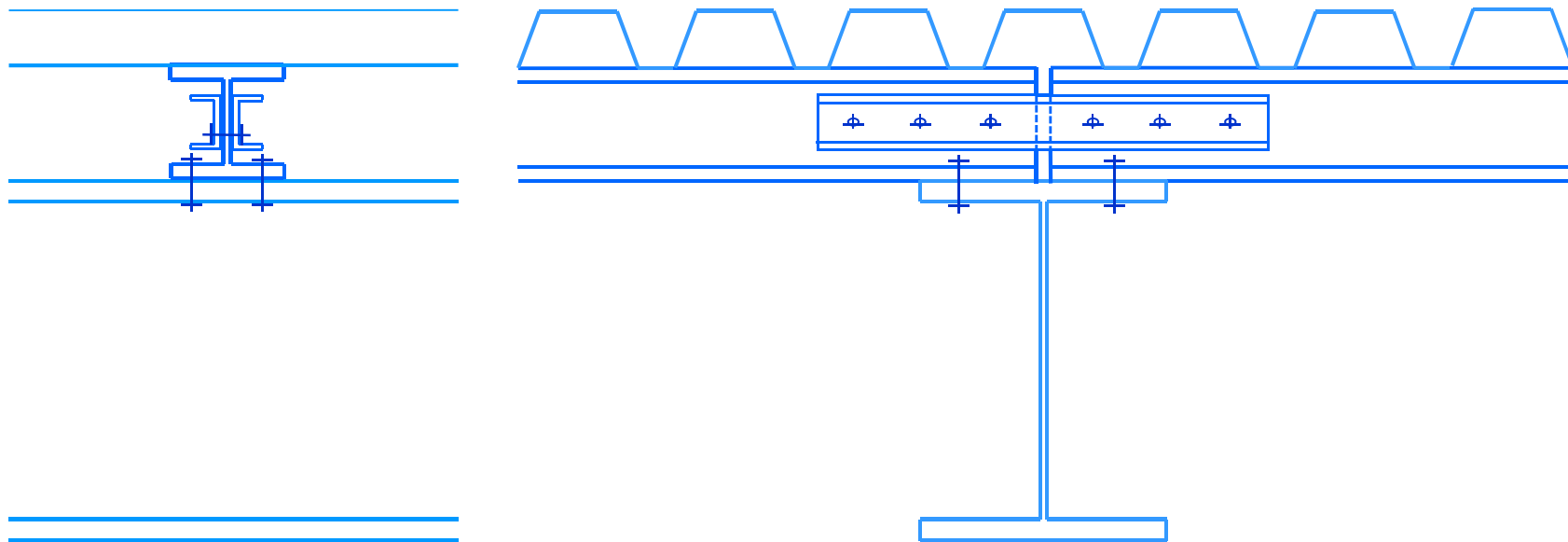
Wada: większe siły

- W przęśle (2): Korzyść: mniejsze siły
Wada: trudniejszy montaż



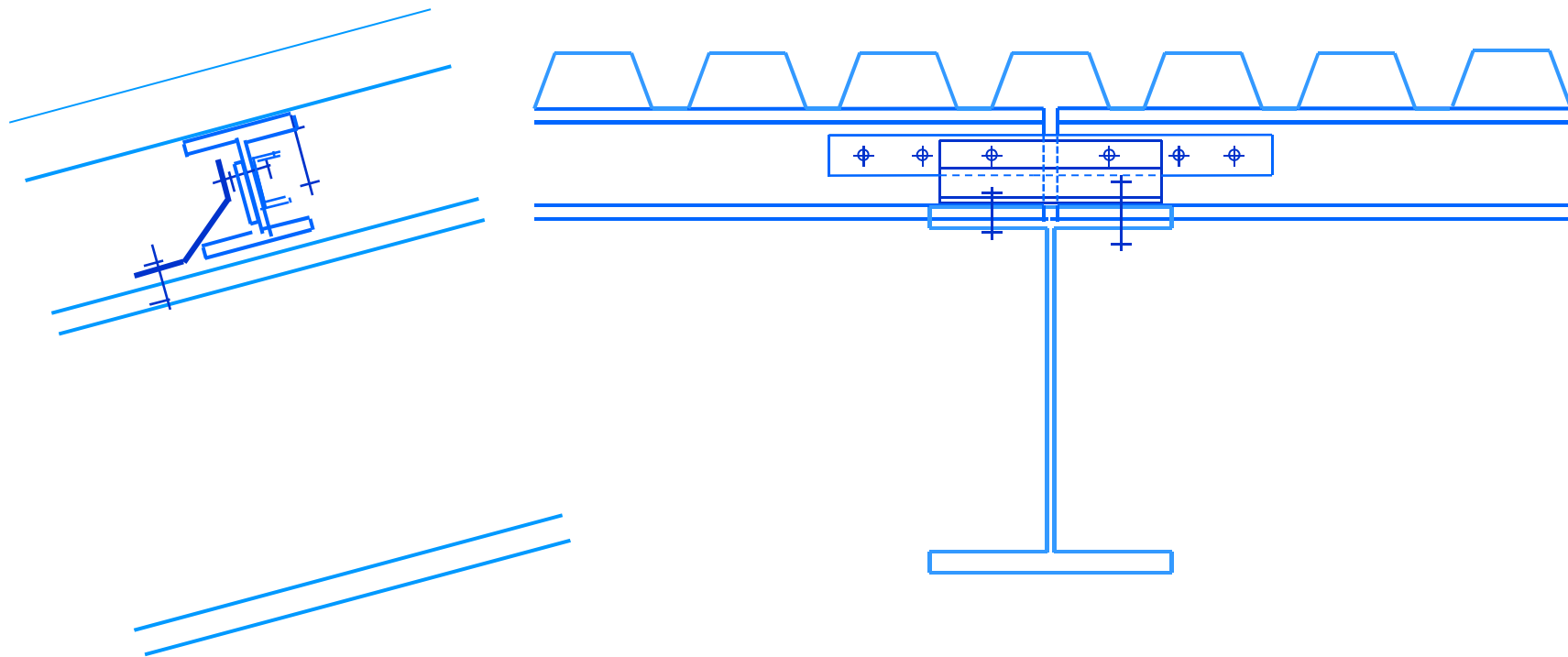
PROJEKTOWANIE I DETALE KONSTRUKCYJNE

✓ Styki uciągające na podporze



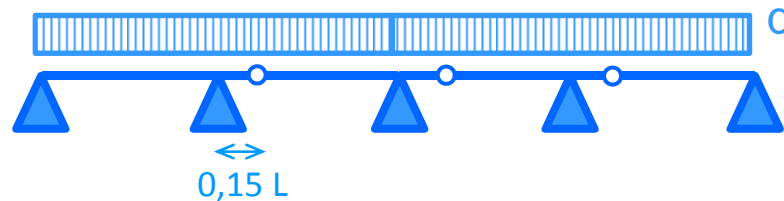
PROJEKTOWANIE I DETALE KONSTRUKCYJNE

- ✓ Styki uciągające na podporze



PROJEKTOWANIE I DETALE KONSTRUKCYJNE

- ✓ Płatwie wieloprzęsłowe z przegubami

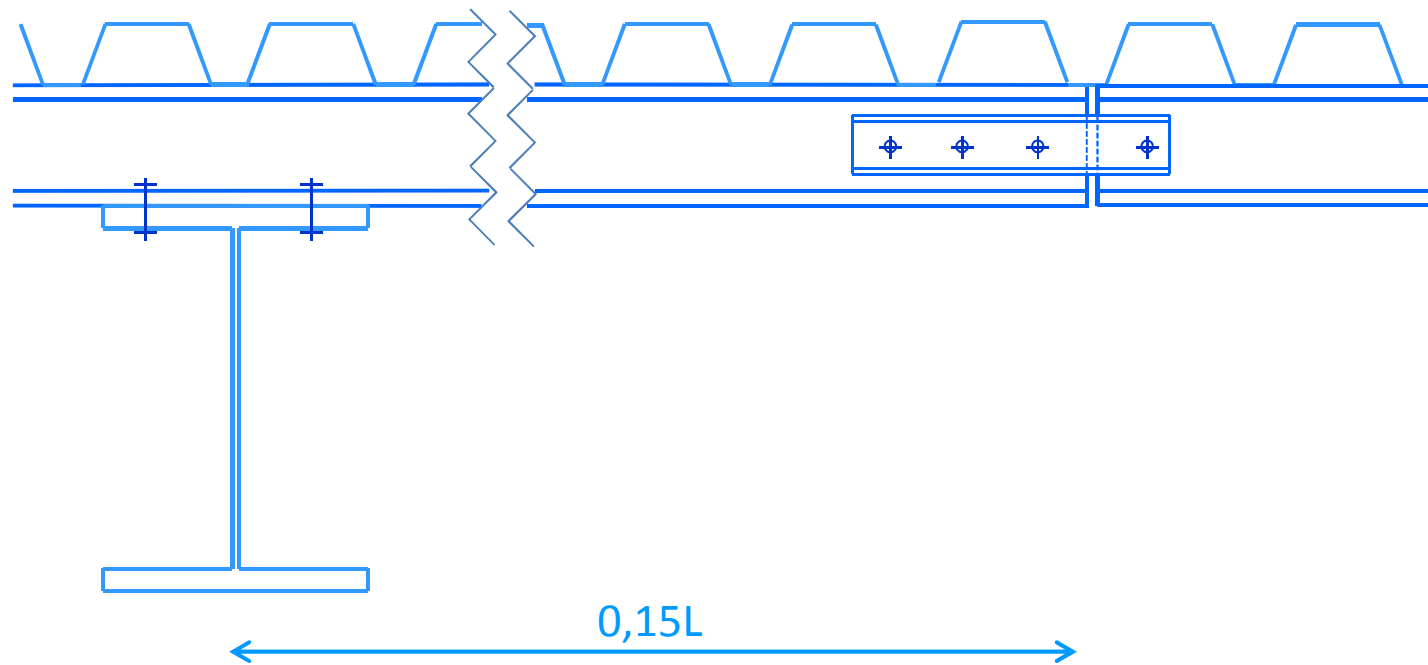


Korzyść : prosty montaż

Wady: uciążliwa wymiana przęsła płatwi
 → powstanie mechanizmu

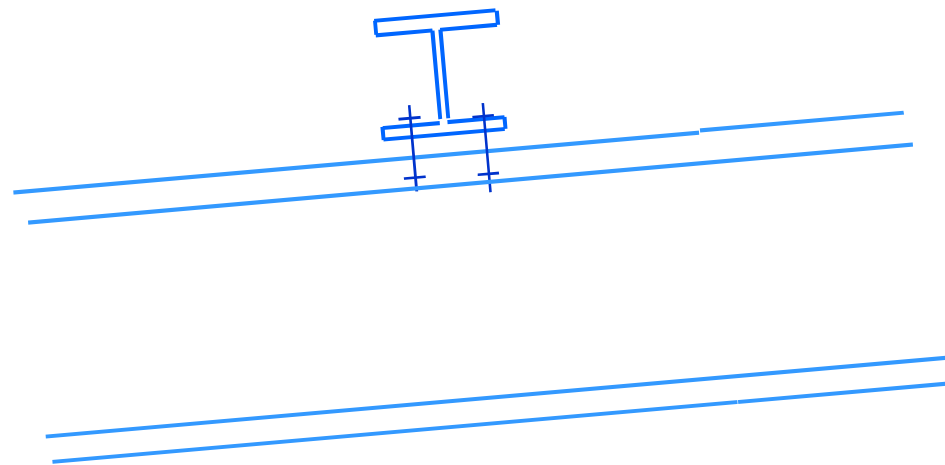
PROJEKTOWANIE I DETALE KONSTRUKCYJNE

- ✓ Połączenie przegubowe w płatwi wieloprzęstowej z przegubami



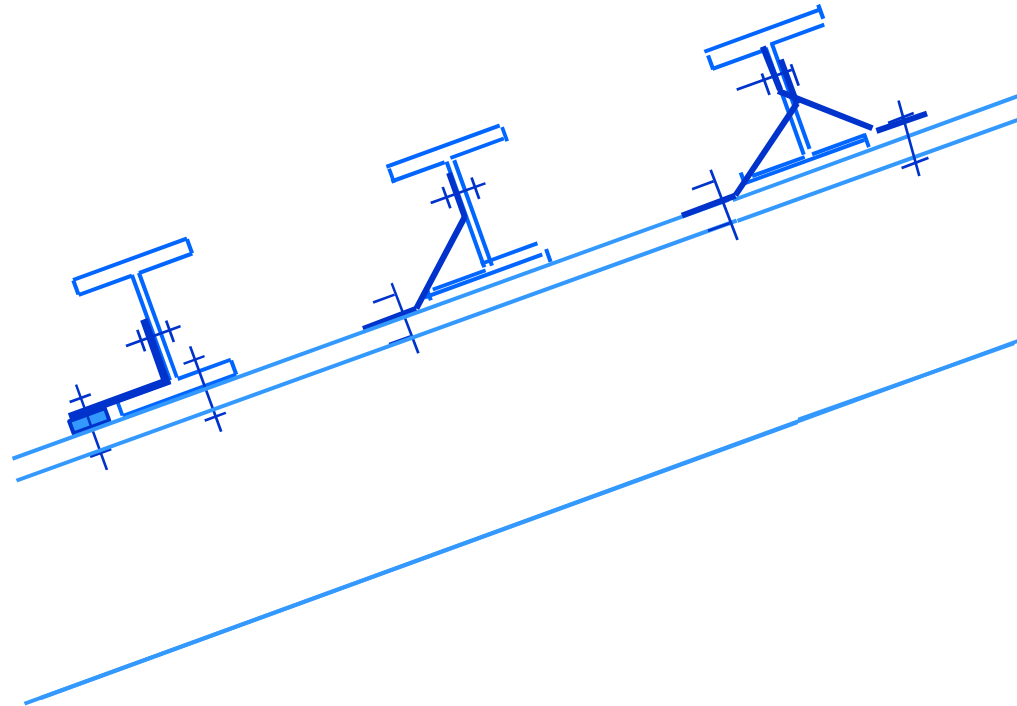
PROJEKTOWANIE I DETALE KONSTRUKCYJNE

- ✓ Zamocowanie na belce – spadek $< 10\%$
 - Wystarczające połączenie śrubowe

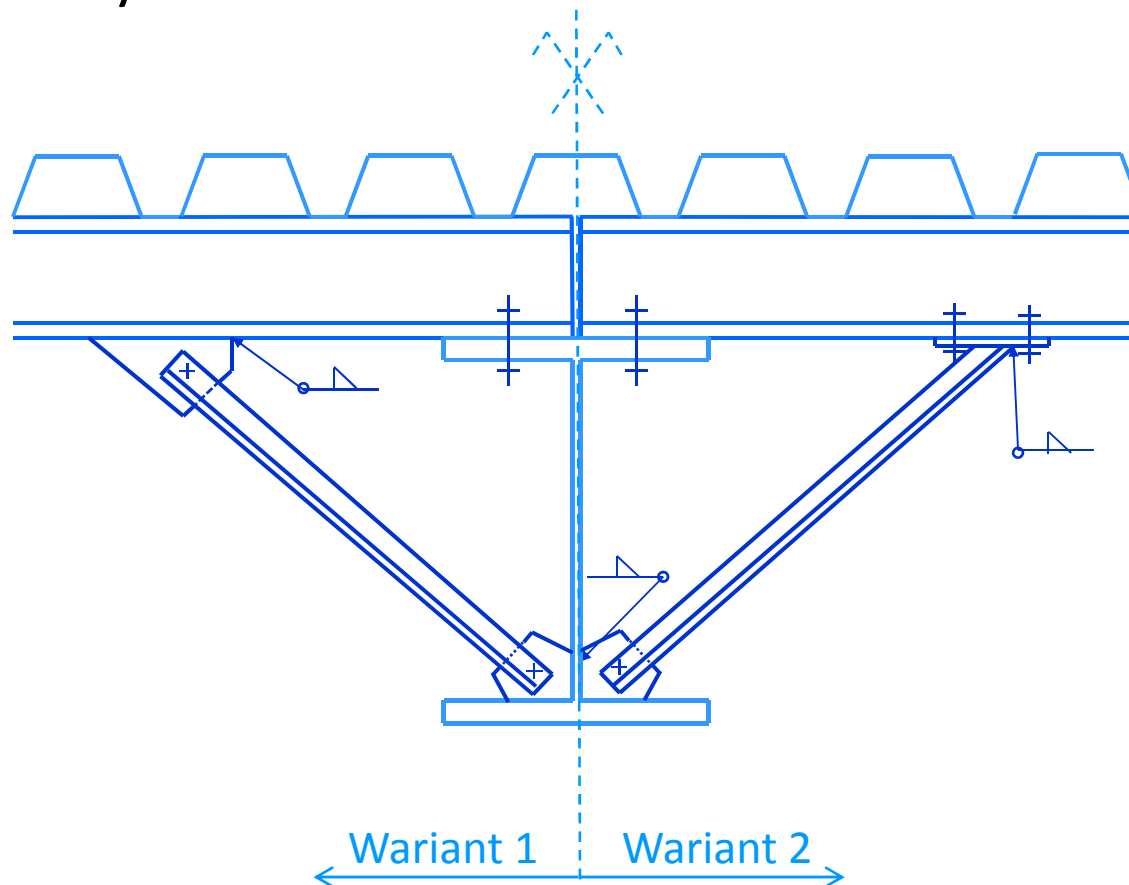


PROJEKTOWANIE I DETALE KONSTRUKCYJNE

- ✓ Zamocowanie na belce – spadek > 10%
 - Połączenie śrubowe niewystarczające – Uwaga na obrót płatwi



➤ Płatwie usztywnione zastrzałami



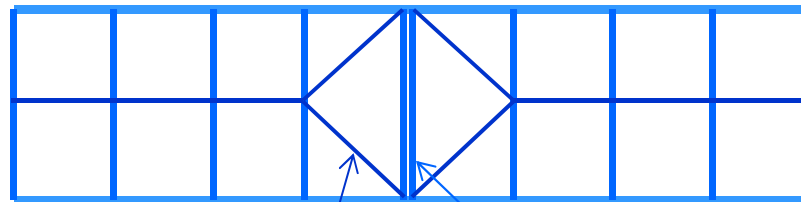
➤ Płatwie usztywnione zastrzałami

- ✓ Układ płatew – zastrzał = stabilizacja przeciwskrętna rygla
- ✓ Układ płatew – zastrzał zapewnia ciągłość płatwi
- ✓ Przekrój zastrzału: kątownik, podwójny kątownik
- ✓ Uwaga : ściskanie w płatwi wywołane przez usztywnienie
- ✓ Uwaga : zmiana rozkładu momentu (podpory pośrednie płatwi)
- ✓ Uwaga : dodatkowe siły stabilizujące obciążające płatwie

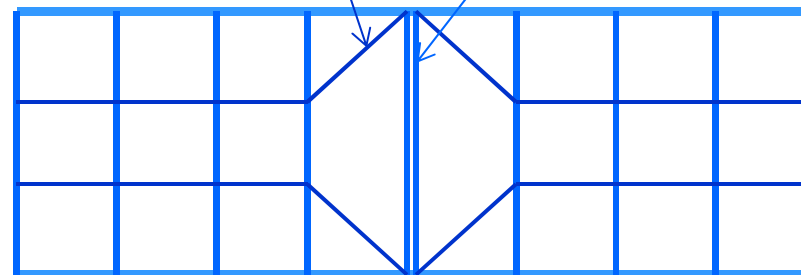
PROJEKTOWANIE I DETALE KONSTRUKCYJNE

➤ Ściągi

✓ Ściągi pojedyncze



✓ Ściągi podwójne



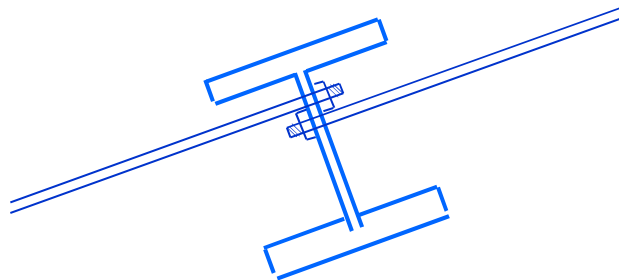
Ściągi ukośne Płatwie kalenicowe

PROJEKTOWANIE I DETALE KONSTRUKCYJNE

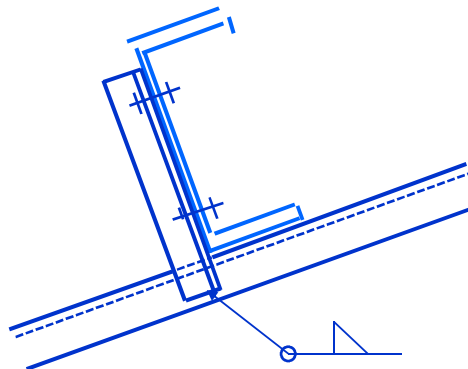
➤ Ściąg

- ✓ Zmniejszenie rozpiętości płatwi w odniesieniu do momentu zginającego względem osi mniejszej bezwładności
- ✓ Przekazanie na rygle obciążeń równoległych do płaszczyzny dachu
- ✓ Przekrój:

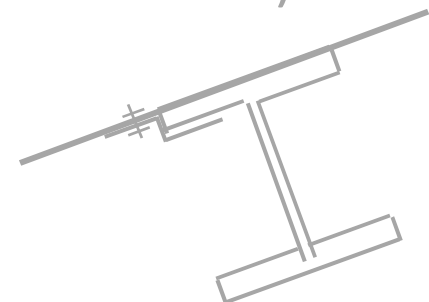
pręty gwintowane



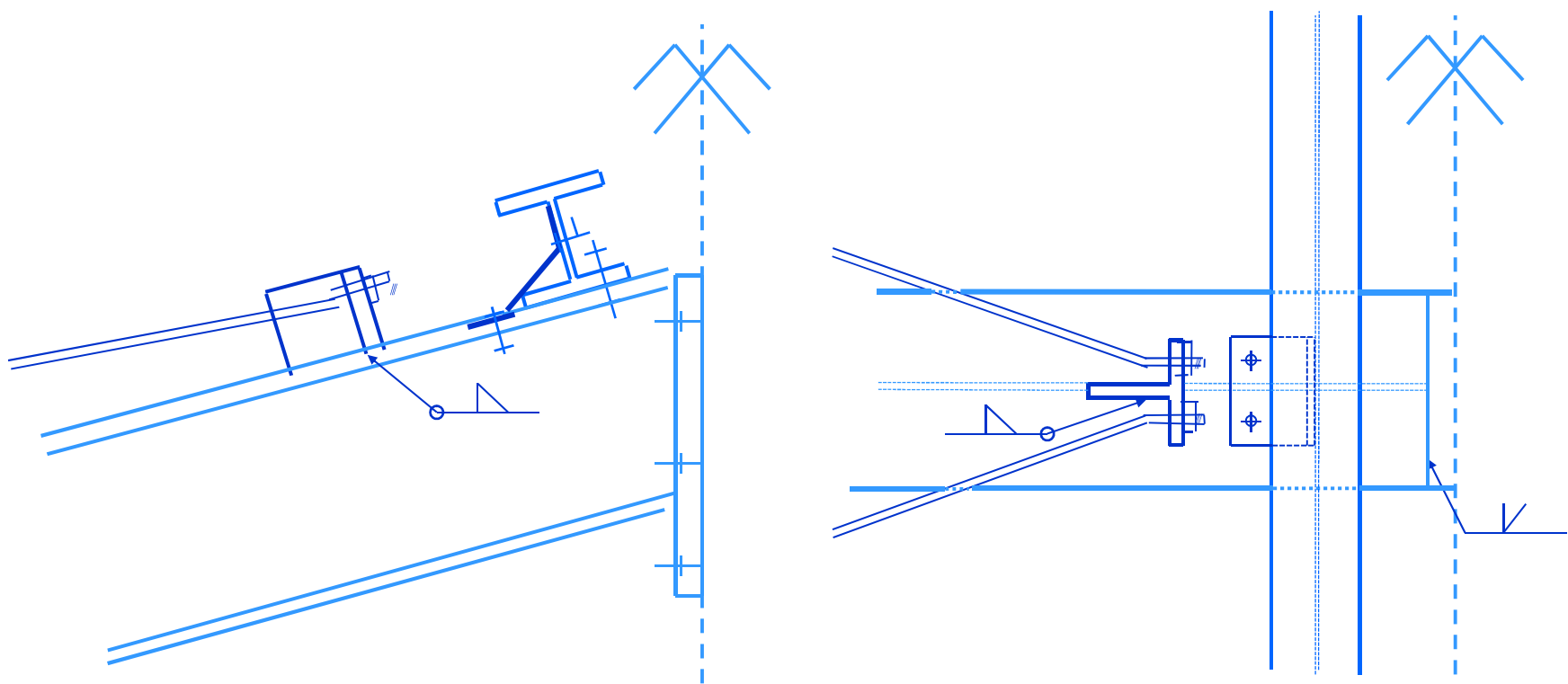
kątowniki



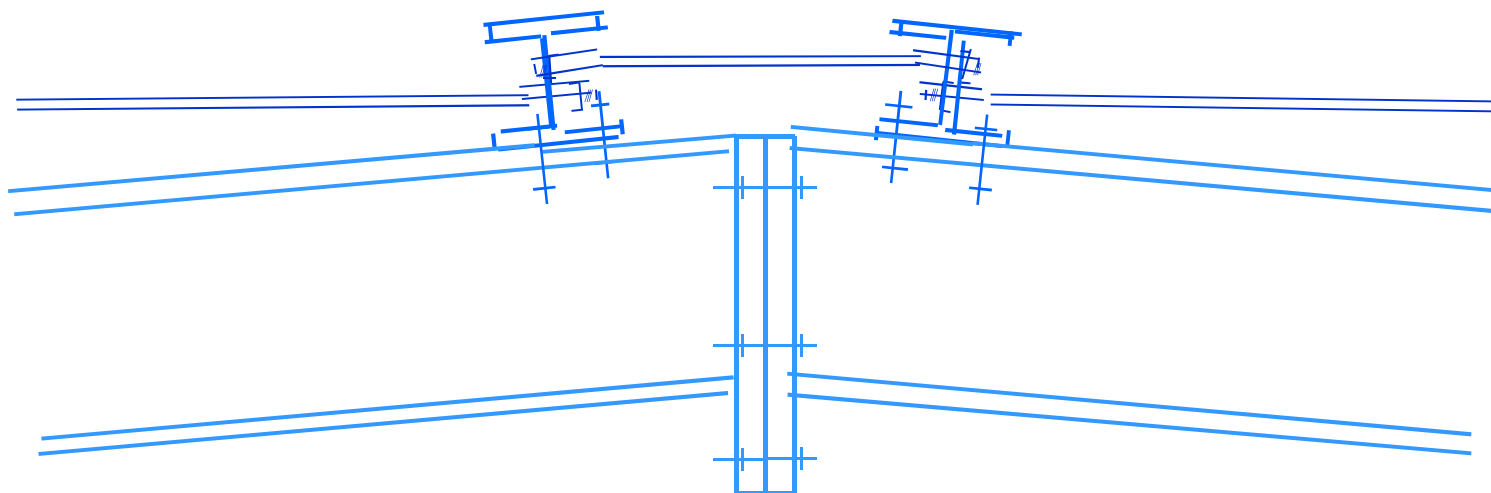
płaskowniki
(rzadko stosowane)



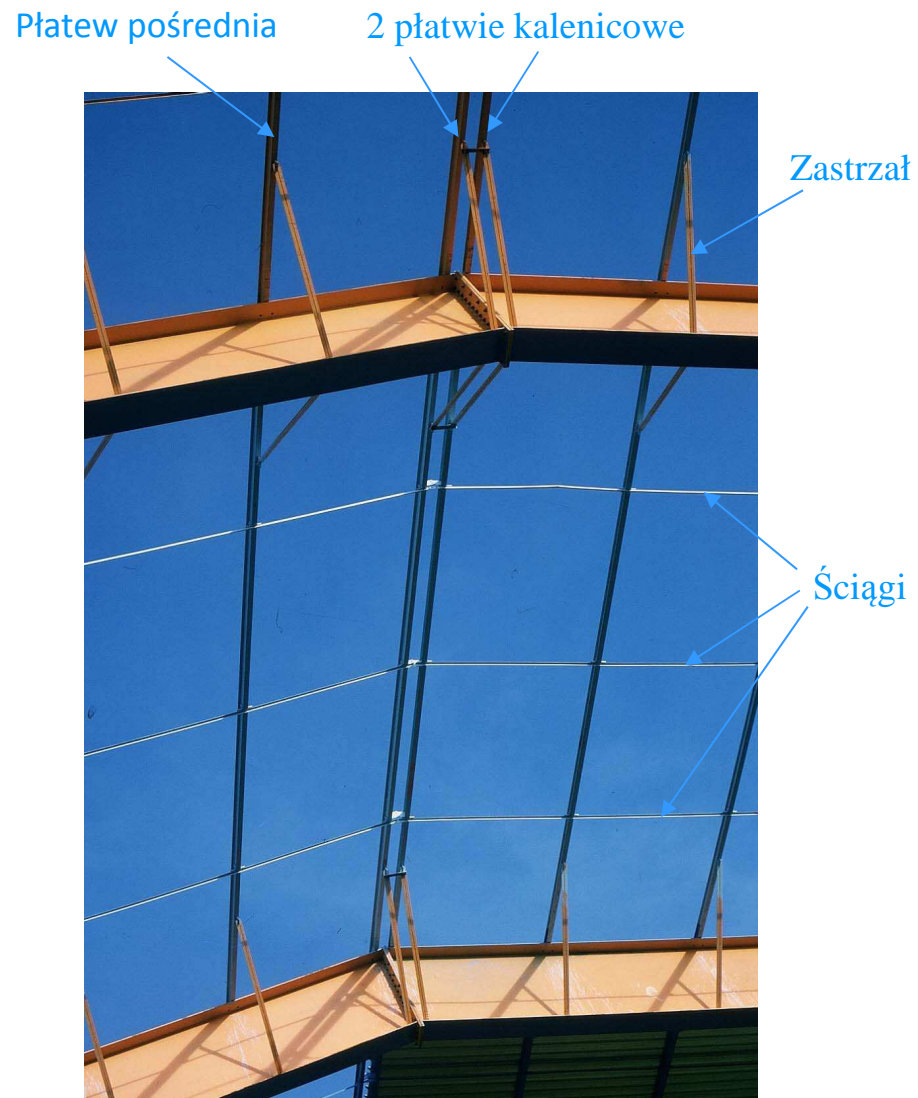
➤ Ściąg – Detal płatwi kalenicowej



➤ Ściąg – Detal płatwi kalenicowej



PROJEKTOWANIE I DETALE KONSTRUKCYJNE



Fot. APK

OBLICZENIA

ODDZIAŁYWANIA I OBCIĄŻENIA



Program
Uczenie się
przez całe życie

OBLICZENIA – ODDZIAŁYWANIA I OBCIĄŻENIA

➤ 3 typy oddziaływań zmiennych

✓ Obciążenie śniegiem

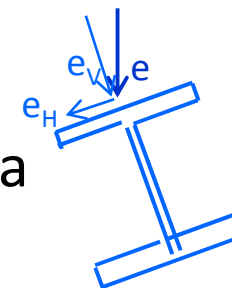
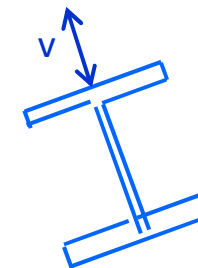
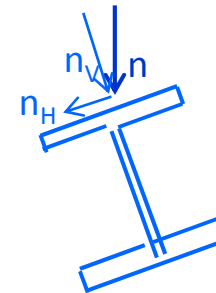
→ PN-EN 1991-1-3

✓ Obciążenie wiatrem

→ PN-EN 1991-1-4

✓ Obciążenia związane z konserwacją pokrycia

→ EN 1991-1-1



OBLICZENIA – ODDZIAŁYWANIA I OBCIĄŻENIA

➤ Obciążenia użytkowe dachów

✓ Klasyfikacja dachów

PN-EN 1991-1-1 § 6.3.4

Kategoria	Sposób użytkowania
H	Dachy bez dostępu z wyjątkiem zwykłego utrzymania i napraw
I	Dachy z dostępem ze sposobem użytkowania zgodnie z kategoriami A do D (mieszkanie, biuro, sklepy...).
K	Dachy z dostępem z przeznaczeniem do specjalnych usług, np. takich jak powierzchnie lądowania helikopterów.

OBLICZENIA – ODDZIAŁYWANIA I OBCIĄŻENIA

➤ Obciążenia użytkowe dla kategorii H

Dach	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
Kategoria H	q_k	Q_k

UWAGA 1 Dla Ia kategorii H wartości q_k mogą być wybrane z zakresu 0,00 kN/m² do 1,0 kN/m² i Q_k z zakresu 0,9 kN do 1,5kN.
Wartościami zalecanymi są:
 $q_k = 0,4 \text{ kN/m}^2$, $Q_k = 1,0 \text{ kN}$
....

UWAGA 3 Można przyjąć, że obciążenie q_k jest przyłożone na powierzchni A, która może być podana w Załączniku Krajowym. Wartością zalecaną dla A jest 10 m², z zakresu od zera do powierzchni całkowitej dachu.

UWAGA 4 Na dachach (szczególnie kategorii H), nie trzeba uwzględniać obciążeń użytkowych w kombinacjach z obciążeniami od śniegu i/lub wiatru.

OBLICZENIA – ODDZIAŁYWANIA I OBCIĄŻENIA

➤ Obciążenia użytkowe dla kategorii H

- ✓ Wartości z poprzedniej tablicy nie uwzględniają niekontrolowanego gromadzenia materiałów budowlanych, które może wystąpić w czasie prac związanych z utrzymaniem budynku. [PN-EN 1991-1-1 § 6.3.4.2 \(2\)](#)
- ✓ Należy przeprowadzić oddzielne sprawdzenie dachów przy założeniu niezależnie działającego obciążenia skupionego Q_k i dla obciążenia równomiernie rozłożonego q_k . [PN-EN 1991-1-1 § 6.3.4.2 \(3\)P](#)
- ✓ Zaleca się obliczać dachy o konstrukcji innej niż z lekkimi przekryciami na obciążenie 1,5 kN na powierzchni kwadratu o bokach 50 mm. [PN-EN 1991-1-1 § 6.3.4.2 \(4\)](#)

OBLICZENIA – ODDZIAŁYWANIA I OBCIĄŻENIA

- Siły występujące w płatwiach
 - ✓ Przeniesienie obciążeń pionowych na rygle
 - Moment zginający w płaszczyźnie i siła ścinająca
 - Moment zginający z płaszczyzny i siła ścinająca
 - Moment skręcający (zwykle pomijany)
 - ✓ Przeniesienie obciążeń poziomych na stężenia wiatrowe
 - Siła normalna we wszystkich rzędach płatwi

OBLICZENIA

NOŚNOŚĆ PRZEKROJU



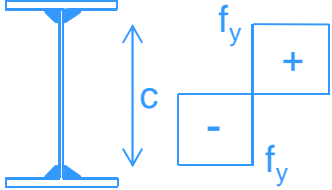
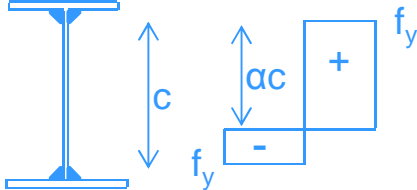
Program
Uczenie się
przez całe życie

OBLICZENIA – NOŚNOŚĆ PRZEKROJU

➤ Klasyfikacja przekroju

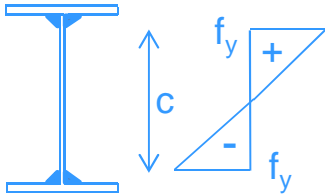
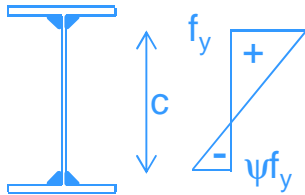
✓ Wewnętrzne części ściskane

EN 1993-1-1 § 5.6

Klasa	Część zginana	Część ściskana i zginana	
			
		$\alpha > 0,5$	$\alpha \leq 0,5$
1	$c/t \leq 72\varepsilon$	$c/t \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$	$c/t \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$
2	$c/t \leq 83\varepsilon$	$c/t \leq \frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1}$	$c/t \leq \frac{41,5\varepsilon}{\alpha}$

OBLICZENIA – NOŚNOŚĆ PRZEKROJU

- Klasyfikacja przekroju
 - ✓ Wewnętrzne części ściskane

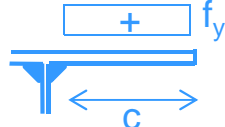
Klasa	Część zginana	Część ściskana i zginana	
			
3	$c/t \leq 124\varepsilon$	$\psi > -1$	$\psi \leq -1$
		$c/t \leq \frac{42\varepsilon}{0,67 + 0,33\psi}$	$c/t \leq 62\varepsilon(1-\psi)\sqrt{-\psi}$
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$			

OBLICZENIA – NOŚNOŚĆ PRZEKROJU

➤ Klasyfikacja przekroju

✓ Wspornikowe części pasów

PN-EN 1993-1-1 § 5.6

Klasa	Część ściskana
	
1	$c/t \leq 9\varepsilon$
2	$c/t \leq 10\varepsilon$
3	$c/t \leq 14\varepsilon$

→ Pasy kształtowników walcowanych zwykle klasy 1, 2

OBLICZENIA – NOŚNOŚĆ PRZEKROJU

- Nośność przekroju – Moment zginający w płaszczyźnie

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$$

PN-EN 1993-1-1 § 6.2.5

Klasa 1 i 2	Klasa 3	Klasa 4
$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}}$	$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} f_y}{\gamma_{M0}}$	$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff} f_y}{\gamma_{M0}}$

✓ Otwory na łączniki w pasie rozciągającym można pomijać w obliczeniach, jeśli spełniony jest warunek:

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

OBLICZENIA – NOŚNOŚĆ PRZEKROJU

➤ Nośność przekroju – Moment zginający w płaszczyźnie

- ✓ Otwory na łączniki w rozciąganej strefie środka można pomijać w obliczeniach jeśli dla całej strefy rozciąganej przekroju spełniony jest warunek:

$$\frac{A_{\text{zone,net}} 0,9f_u}{\gamma_{M2}} \geq \frac{A_{\text{zone}} f_y}{\gamma_{M0}}$$

- ✓ Nie uwzględnia się w obliczeniach otworów zwykłych, jeśli mają być wypełnione łącznikami.

OBLICZENIA – NOŚNOŚĆ PRZEKROJU

➤ Nośność przekroju – Ścinanie

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$$

PN-EN 1993-1-1 § 6.2.6 (1)

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

A_V dla przekrojów walcowanych I i H,
obciążonych równoległe do środka

$$A_V = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f \geq \eta h_w t_w$$

A_V dla przekrojów walcowanych I i H,
obciążonych równoległe do pótek

$$A_V = A - h_w t_w$$

Gatunek stali \leq S460 $\rightarrow \eta = 1,2$

Gatunek stali $>$ S460 $\rightarrow \eta = 1,0$

OBLICZENIA – NOŚNOŚĆ PRZEKROJU

➤ Nośność przekroju – Stateczność przy ścinaniu

✓ Sprawdzenie według PN-EN 1993-1-5, jeśli:

$$\frac{h_w}{t_w} > 72 \frac{\varepsilon}{\eta} \quad \text{PN-EN 1993-1-1 § 6.2.6 (6)}$$

→ To sprawdzenie jest zawsze zadowalające w przypadku płatwi z kształtowników walcowanych na gorąco

OBLICZENIA – NOŚNOŚĆ PRZEKROJU

➤ Nośność przekroju – Zginanie i ścinanie

✓ Sprawdzenie, jeżeli: $V_{Ed} > 0,5V_{c,Rd}$ PN-EN 1993-1-1 § 6.2.8 (1)

✓ Redukcja granicy plastyczności uwzględniana przy obliczaniu nośności przy zginaniu:

$$f_{y,red} = (1 - \rho)f_y$$

✓ lub: w przypadku belek z dwuteowników bisymetrycznych, zginanych względem osi największej bezwładności:

$$M_{y,V,Rd} = \frac{\left[W_{pl,y} - \frac{\rho A_w^2}{4t_w} \right] f_y}{\gamma_{M0}}, \text{ lecz } M_{y,V,Rd} \leq M_{y,c,Rd}$$

OBLICZENIA – NOŚNOŚĆ PRZEKROJU

➤ Nośność przekroju – Zginanie i ścinanie

✓ Współczynnik redukcji ρ :

PN-EN 1993-1-1 § 6.2.8 (3)

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

OBLICZENIA – NOŚNOŚĆ PRZEKROJU

➤ Nośność przekroju – Zginanie i siła podłużna – Klasa 1 i 2

- ✓ W przypadku dwuteowników I i H można pomijać redukcję nośności przy zginaniu względem osi największej bezwładności, jeżeli:

$$N_{Ed} \leq 0,25N_{pl,Rd} \quad \text{i} \quad N_{Ed} \leq \frac{0,5h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}}$$

- ✓ W przypadku dwuteowników I i H można pomijać redukcję nośności przy zginaniu względem osi najmniejszej bezwładności, jeżeli:

$$N_{Ed} \leq \frac{h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{PN-EN 1993-1-1 § 6.2.9.1 (4)}$$

OBLICZENIA – NOŚNOŚĆ PRZEKROJU

- Nośność przekroju – Zginanie i siła podłużna – Klasa 1 i 2

Nośność plastyczna przy zginaniu względem osi największej bezwładności	$n \leq a/2$	$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd}$
	$n > a/2$	$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} (1 - n)/(1 - 0,5a)$
Nośność plastyczna przy zginaniu względem osi najmniejszej bezwładności	$n \leq a$	$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd}$
	$n > a$	$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \left[1 - \left(\frac{n - a}{1 - a} \right)^2 \right]$
$n = N_{Ed,Rd} / N_{pl,Rd}$ i $a = (A - 2bt_f) / A$, lecz $a \leq 0,5$		

OBLICZENIA – NOŚNOŚĆ PRZEKROJU

➤ Nośność przekroju – Zginanie i siła podłużna – Klasa 1 i 2

✓ Zginanie dwukierunkowe:

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right)^{\alpha} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right)^{\beta} \leq 1 \quad \text{PN-EN 1993-1-1 § 6.2.9.1 (5)}$$

✓ Dla dwuteowników I i H

$$\alpha = 2 \quad \text{i} \quad \beta = 5n \quad , \text{lecz} \quad \beta \geq 1$$

OBLICZENIA – NOŚNOŚĆ PRZEKROJU

- Nośność przekroju – Zginanie i siła podłużna – Klasa 3

$$\sigma_{x,Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{PN-EN 1993-1-1 § 6.2.9.2}$$

- Nośność przekroju – Zginanie i siła podłużna – Klasa 4

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

PN-EN 1993-1-1 § 6.2.9.3

OBLICZENIA – NOŚNOŚĆ PRZEKROJU

➤ Nośność przekroju – Zginanie, ścinanie i siła podłużna

✓ Nośność, jak przy interakcji zginanie – siła podłużna, jeżeli:

$$V_{Ed} \leq 0,5V_{c,Rd} \quad \text{PN-EN 1993-1-1 § 6.2.10 (2)}$$

✓ W przeciwnym razie przyjmuje się dla przekroju czynnego przy ścinaniu zredukowaną granicę plastyczności:

$$(1 - \rho)f_y$$

OBLICZENIA

KRYTERIUM STATECZNOŚCI W PRZYPADKU PŁATWI NIESTĘŻONYCH



Program
Uczenie się
przez całe życie

OBLICZENIA – KRYTERIUM STATECZNOŚCI

- Belki zginane o stałym przekroju

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0$$

PN-EN 1993-1-1 § 6.3.2.1

- ✓ Nośność elementu na zwichrzenie:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

- ✓ Współczynnik zwichrzenia (redukcyjny):

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}}$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

PN-EN 1993-1-1 § 6.3.2.2

OBLICZENIA – KRYTERIUM STATECZNOŚCI

➤ Parametr imperfekcji

Krzywa zwichrzenia	a	b	c	d
Parametr imperfekcji α_{LT}	0,21	0,34	0,49	0,76

➤ Krzywa zwichrzenia

Przekrój poprzeczny	Ograniczenia	Krzywa zwichrzenia
Dwuteowniki walcowane	$h/b \leq 2$	a
	$h/b > 2$	b
Dwuteowniki spawane	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d
Inne przekroje	-	d

OBLICZENIA – KRYTERIUM STATECZNOŚCI

➤ Belki zginane i ściskane **niestężone**

PN-EN 1993-1-1 § 6.3.3

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

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

- ✓ $\Delta M_{y,Ed}$ i $\Delta M_{z,Ed}$: Momenty spowodowane przesunięciem osi obojętnej przekroju klasy 4
- ✓ k_{yy} , k_{zz} , k_{yz} , k_{zy} : Współczynniki interakcji według Załącznika A lub B normy PN-EN 1993-1-1

Załącznik krajowy do normy PN-EN 1993-1-1 zaleca stosowanie alternatywnej metody 2 wg Załącznika B.

OBLICZENIA – KRYTERIUM STATECZNOŚCI

➤ Współczynnik wyboczenia

PN-EN 1993-1-1 § 6.3.1.2

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

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

✓ Parametr imperfekcji

Krzywa wyboczenia	a ₀	a	b	c	d
Parametr imperfekcji α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

OBLICZENIA – KRYTERIUM STATECZNOŚCI

✓ Krzywa wyboczenia

Przekroje poprzeczne	Ograniczenia		Wyboczenie względem osi	Krzywa wyboczenia	
				Inne	S 460
Dwuteowniki walcowane	$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40\text{mm}$	y – y z – z	a b	a_0 a_0
		$40\text{ mm} < t_f \leq 100\text{ mm}$	y – y z – z	b c	a a
	$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100\text{mm}$	y – y z – z	b c	a a
		$t_f > 100\text{ mm}$	y – y z – z	d d	c c

OBLICZENIA – KRYTERIUM STATECZNOŚCI

- ✓ Smukłość względna

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{Rk}}{N_{cr}}}$$

- ✓ Siła krytyczna względem osi y

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 E I_y}{L_{cr,y}} \quad \rightarrow L_{cr,y} \text{ jest odległością między 2 ryglami}$$

- ✓ Siła krytyczna względem osi z

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 E I_z}{L_{cr,z}} \quad \rightarrow L_{cr,z} \text{ jest odległością między 2 ryglami **lub** rygłem i ściąganiem}$$

OBLICZENIA

KRYTERIUM STATECZNOŚCI W PRZYPADKU PŁATWI (CZĘŚCIOWO) STĘŻONYCH



Program
Uczenie się
przez całe życie

OBLICZENIA – KRYTERIUM STATECZNOŚCI

- Belki zginane i ściskane (**częściowo**) stężone

$$\frac{\chi_{op} \alpha_{ult,k}}{\gamma_{M1}} \geq 1,0$$

PN-EN 1993-1-1 § 6.3.4

- ✓ $\alpha_{ult,k}$: jest najmniejszym współczynnikiem zwiększającym obciążenie obliczeniowe, przy którym krytyczny przekrój poprzeczny osiąga nośność charakterystyczną w warunkach płaskiego stanu deformacji
- ✓ χ_{op} : jest współczynnikiem niestateczności (redukcyjnym) odpowiadającym smukłości względnej $\bar{\lambda}_{op}$

- **Uwaga:** Ta metoda nie ma zastosowania przy zginaniu dwukierunkowym. Należy więc upewnić się, że element stabilizujący jest zdolny do przejęcia obciążeń działających w jego płaszczyźnie.

OBLICZENIA – KRYTERIUM STATECZNOŚCI

✓ Obliczenie $\bar{\lambda}_{op}$

$$\bar{\lambda}_{op} = \sqrt{\frac{\alpha_{ult,k}}{\alpha_{cr,op}}}$$

- $\alpha_{cr,op}$: jest minimalnym współczynnikiem zwiększającym obciążenie obliczeniowe działające w płaszczyźnie, przy którym rozpatrywana część konstrukcji osiąga wartość obciążenia krytycznego przy niestateczności sprężystej z płaszczyzny układu

OBLICZENIA – KRYTERIUM STATECZNOŚCI

- ✓ Propozycja obliczania $\alpha_{ult,k}$

$$\alpha_{ult,k} = \frac{1}{\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}}}$$

- $N_{Rk}, M_{y,Rk}$: charakterystyczna nośność **sprężysta** przekroju
- χ_y : współczynnik wyboczenia giętnego (redukcyjny) przy wyboczeniu w płaszczyźnie
- k_{yy} :
$$k_{yy} = \frac{C_{my,0}}{1 - \chi_y \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$$
- $C_{my,0}$: współczynnik równoważnego stałego momentu

OBLICZENIA – KRYTERIUM STATECZNOŚCI

✓ Propozycja obliczania $\alpha_{cr,op}$

- Obliczanie za pomocą odpowiedniego oprogramowania
- Lub: z zależności liniowej między wyboczeniem z płaszczyzny i zwichrzeniem

$$\alpha_{cr,op} = \frac{1}{\frac{1}{\text{Min}(\alpha_{cr,z}, \alpha_{cr,T})} + \frac{1}{\alpha_{cr,LT}}}$$

$$\alpha_{cr,z} = \frac{N_{cr,z}}{N_{Ed}}$$

$$\alpha_{cr,T} = \frac{N_{cr,T}}{N_{Ed}}$$

$$\alpha_{cr,LT} = \frac{M_{cr}}{M_{Ed}}$$

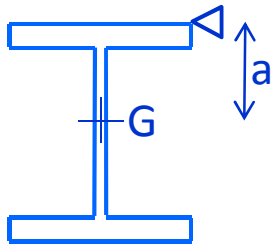
OBLICZENIA – KRYTERIUM STATECZNOŚCI

✓ Siła krytyczna przy wyboczeniu skrętnym

PN-EN 1993-1-1 Załącznik BB.3.3

$$N_{crT} = \frac{1}{i_s^2} \left(\frac{\pi^2 E I_z a^2}{L^2} + \frac{\pi^2 E I_w}{L^2} + G I_t \right)$$

$$i_s^2 = i_y^2 + i_z^2 + a^2$$



→ a : jest odległością między środkiem ciężkości płaty a osią poziomego stężenia ciągłego

→ wystarczająco sztywna blacha pokrycia może stanowić stężenie boczne

PŁATWIE STĘŻONE POSZYCIEM

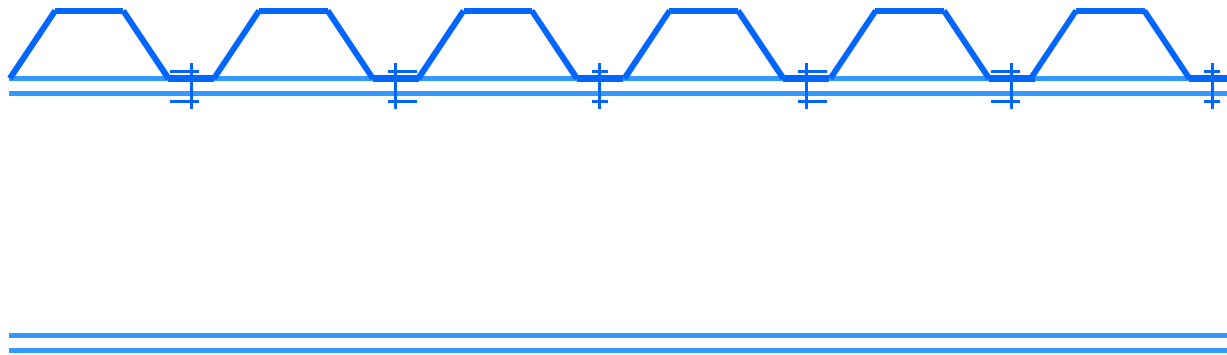


Program
Uczenie się
przez całe życie

PŁATWIE STĘŻONE POSZYCIEM

➤ Dotyczy rodzaju pokrycia

✓ Blacha trapezowa/blacha zgodna z PN-EN 1993-1-3



PŁATWIE STĘŻONE POSZYCIEM

➤ Klasy konstrukcji

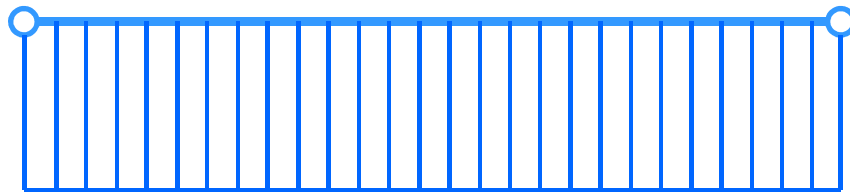
PN-EN 1993-1-3 §2 (6)

- ✓ Klasa konstrukcji I: konstrukcja, którą projektuje się z uwzględnieniem udziału kształtowników i blach profilowanych na zimno w nośności i stateczności całego układu.
- ✓ Klasa konstrukcji II: konstrukcja, którą projektuje się z uwzględnieniem udziału kształtowników i blach profilowanych na zimno w nośności i stateczności pojedynczych elementów.
- ✓ Klasa konstrukcji III: konstrukcja, którą projektuje się przy założeniu, że blachy profilowane na zimno jedynie przenoszą obciążenia na układ konstrukcyjny.

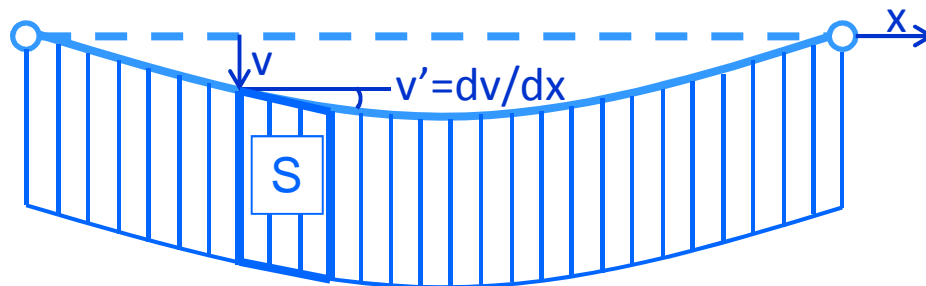
PŁATWIE STĘŻONE POSZYCIEM

➤ Efekt 1

- ✓ Blacha przeciwdziała przesunięciu bocznemu płatew w płaszczyźnie dachu



Płatew i blacha – stan nieodkształcony



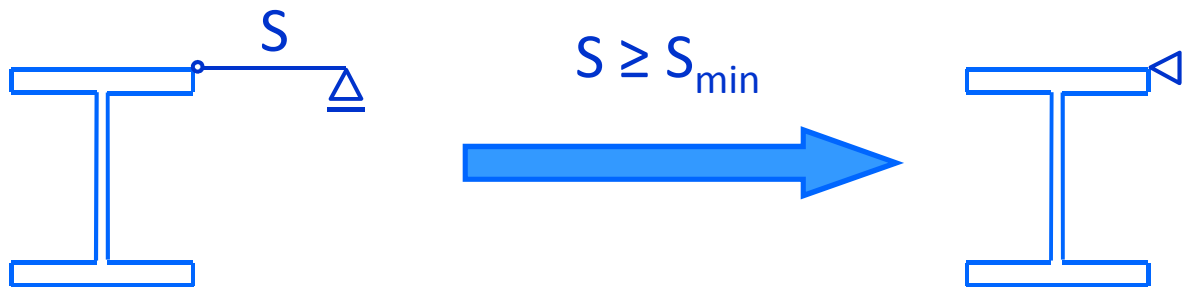
Płatew i blacha – stan odkształcony

→ blacha przeciwstawia się obrotowi dzięki swojej sztywności S

PŁATWIE STĘŻONE POSZYCIEM

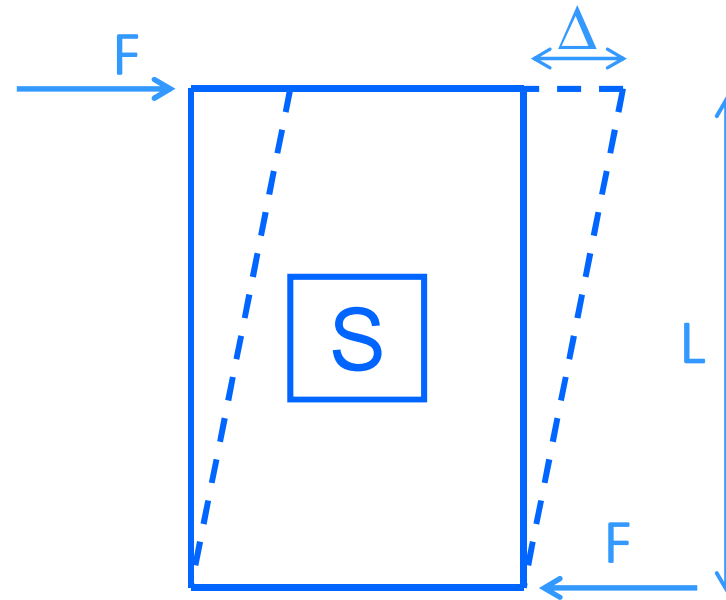
- Konsekwencje przy sprawdzaniu płatew
 - ✓ Płatew można uważać za stężoną w płaszczyźnie bocznej, jeżeli spełniony jest warunek

$$S \geq \left(EI_w \frac{\pi^2}{L^2} + GI_T + EI_z \frac{\pi^2}{L^2} 0,25h^2 \right) \frac{70}{h^2} = S_{\min} \text{ PN-EN 1993-1-1 BB.2.1}$$



PŁATWIE STĘŻONE POSZYCIEM

- Sztywność na ścinanie S



$$S = F \frac{\Delta}{L}$$

PŁATWIE STĘŻONE POSZYCIEM

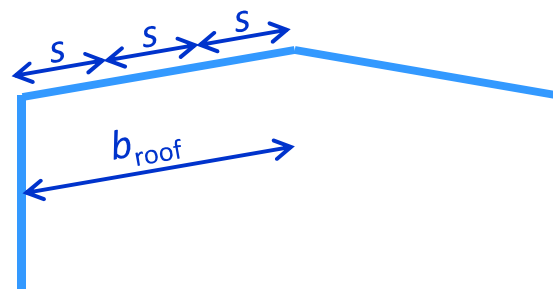
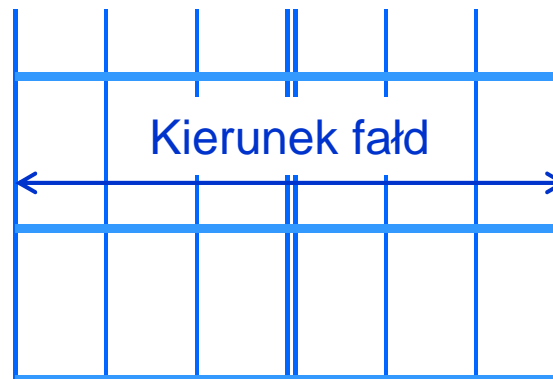
- Obliczanie sztywności na ścinanie S blachy stalowej

$$S = 1000\sqrt{t^3} \left(50 + 10^3\sqrt{b_{\text{roof}}} \right) \frac{s}{h_w} \quad \text{PN-EN 1993-1-3 10.1.1 (10)}$$

- ✓ S : sztywność na ścinanie w N·mm/mm
- ✓ t : grubość blachy w mm
- ✓ s : rozstaw płatwi w mm
- ✓ h_w : wysokość fałdy blachy w mm
- ✓ b_{roof} : szerokość dachu w mm

PŁATWIE STĘŻONE POSZYCIEM

- Obliczanie sztywności na ścinanie S blachy stalowej



PŁATWIE STĘŻONE POSZYCIEM

- Zakres stosowania wyrażenia

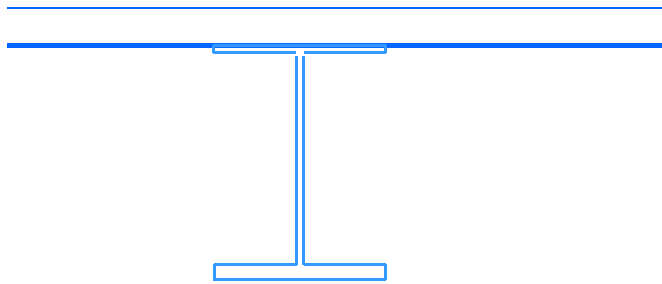
$$S = 1000\sqrt{t^3} \left(50 + 10\sqrt[3]{b_{\text{roof}}} \right) \frac{s}{h_w}$$

- ✓ Połączenie blachy do płatwi w każdej fałdzie, a jeżeli poszycie jest łączone w co drugiej fałdzie przyjmuje się $0,2S$ zamiast S
- ✓ Połączenie arkuszy blachy po obu stronach zakładki i na obu brzegach
- ✓ W przeciwnym razie: Wytyczne ECCS N°88

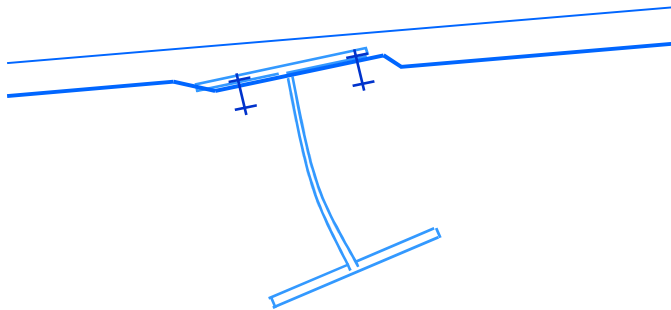
PŁATWIE STĘŻONE POSZYCIEM

➤ Efekt 2

- ✓ Blacha przeciwdziała skręcaniu płatwi



Płatew i blacha – stan nieodkształcony



Płatew i blacha – stan odkształcony

→ blacha i połączenie przeciwdziałają skręcaniu płatwi

PŁATWIE STĘŻONE POSZYCIEM

- Konsekwencje przy sprawdzaniu płatwi
 - ✓ Płatew można uważać za skutecznie stężoną przeciwskrętnie, jeśli spełniony jest warunek graniczny dla $C_{\theta,k}$


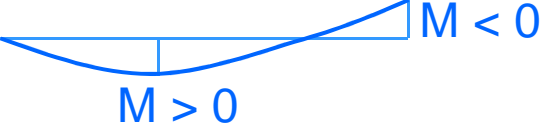
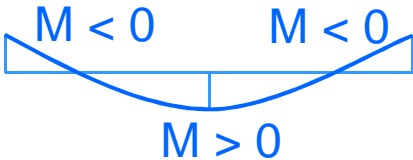

$$C_{\theta,k} \geq \frac{M_{pl,k}^2}{EI_z} K_{\theta} K_v$$

PN-EN 1993-1-1 BB.2.2

- ✓ K_v : 0,35 w przypadku analizy sprężystej
- ✓ K_v : 1,00 w przypadku analizy plastycznej
- ✓ K_{θ} : współczynnik uwzględniający rozkład momentów

PŁATWIE STĘŻONE POSZYCIEM

✓ Współczynnik K_θ

Przypadek	Rozkład momentów	bez stężeń poprzecznych	ze stężeniami poprzecznymi
1		4,0	0
2a		3,5	0,12
2b			0,23
3		2,8	0

PŁATWIE STĘŻONE POSZYCIEM

➤ Obliczanie $C_{\theta,k}$

- ✓ Sztywność $C_{\theta,k}$ w przypadku belki stabilizowanej ciągłym poszyciem można wyznaczać z zależności

$$\frac{1}{C_{\theta,k}} = \frac{1}{C_{\theta R,k}} + \frac{1}{C_{\theta C,k}} + \frac{1}{C_{\theta D,k}}$$

PN-EN 1993-1-1 BB.2.2

- ✓ $C_{\theta,Rk}$: sztywność obrotowa związana z poszyciem przy założeniu sztywnych połączeń
- ✓ $C_{\theta,Ck}$: sztywność obrotowa związana z połączeniami poszycia z belką
- ✓ $C_{\theta,Dk}$: sztywność dystorsyjna belki → w przypadku kształtowników walcowanych $C_{\theta D,k} = \infty$

PŁATWIE STĘŻONE POSZYCIEM

➤ Wartości $C_{\theta,Rk}$ i $C_{\theta,Ck}$

✓ Zachowanie mechaniczne zespołu blachy i połączeń

→ Wartości obliczone na podstawie badań

→ Uproszczone wzory doświadczalne zamieszczone w PN-EN 1993-1-3 § 10.1.5.2

→ Istotne czynniki:

Grubość blachy

Szerokość fałdy

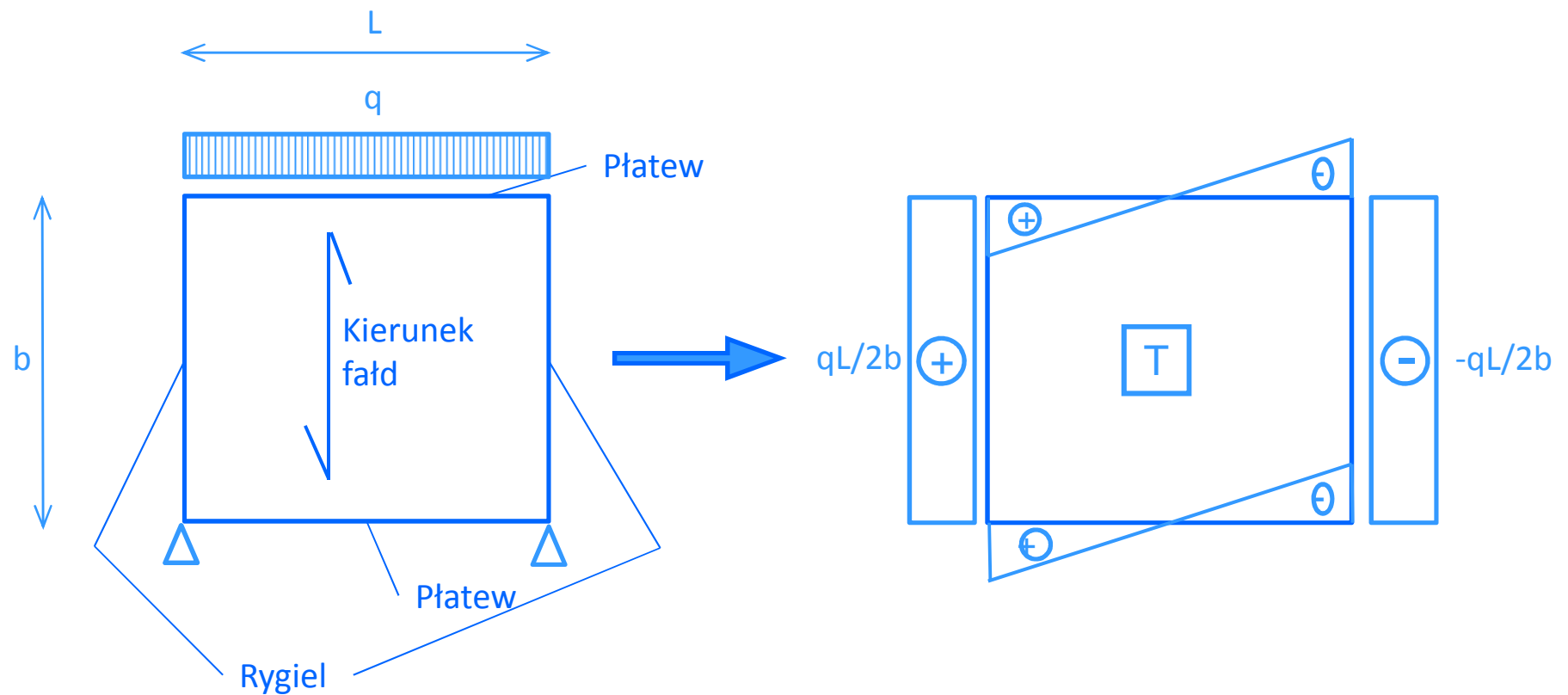
Szerokość półki kształtownika

Obciążenie

Rodzaj połączenia

PŁATWIE STĘŻONE POSZYCIEM

- Sprawdzenie blachy przy ścinaniu w jej płaszczyźnie
 - ✓ Hipoteza rozdziału ścinania w blasze



PŁATWIE STĘŻONE POSZYCIEM

➤ Sprawdzenie blachy przy ścinaniu w jej płaszczyźnie

✓ Kryteria weryfikacji według: Wytyczne ECCS N°88

→ Sprawdzenie na ścinanie połączenia między arkuszami blachy

→ Sprawdzenie na ścinanie połączeń między blachą i podporą

→ Sprawdzenie na zniszczenie końców blachy

→ Sprawdzenie wyboczenia blachy

Niedopuszczalne modele zniszczenia (nieplastyczne)

PŁATWIE STĘŻONE POSZYCIEM

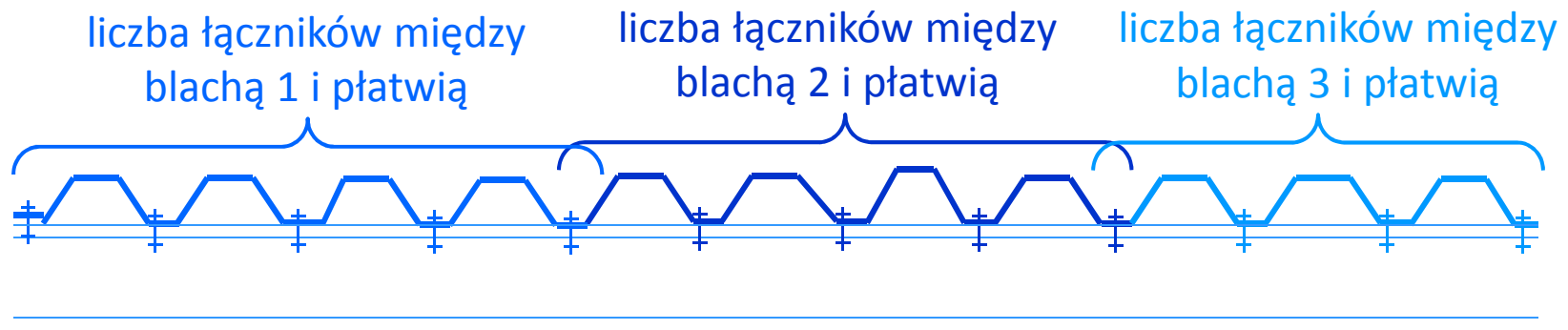
- ✓ Nośność przy ścinaniu połączenia między arkuszami blachy

$$P_{\max} = \frac{1}{n} \left[n_s F_s + \frac{\beta_1}{\beta_3} (n+1) F_p \right] \geq V_{\max}$$

- V_{\max} : jest maksymalną siłą ścinającą
- n : jest liczbą płatwi - 1
- n_s : jest liczbą łączników uszczelniających (w połączeniu arkuszy) bez wliczania łączników na płatwiach
- F_s : jest nośnością łącznika uszczelniającego
- β_1 : jest współczynnikiem uwzględniającym liczbę łączników między **1** blachą i płatwią
- β_3 : jest współczynnikiem uwzględniającym rozmieszczenie łączników między blachą i płatwią
- F_p : jest nośnością łącznika głównego (między blachą i płatwią)

PŁATWIE STĘŻONE POSZYCIEM

- ✓ Nośność przy ścinaniu połączenia między arkuszami blachy
→ β_1



PŁATWIE STĘŻONE POSZYCIEM

✓ Nośność przy ścinaniu połączenia między arkuszami blachy

→ β_1

Liczba łączników między 1 blachą i płatwią	Łączniki w zagłębieniach fałd	Łączniki na wierzchołkach fałd
2	0,13	1,00
3	0,30	1,00
4	0,44	1,04
5	0,58	1,13
6	0,71	1,22
7	0,84	1,33
8	0,97	1,45

PŁATWIE STĘŻONE POSZYCIEM

- ✓ Nośność przy ścinaniu połączenia między arkuszami blachy

→ β_3

Jeżeli połączenie w zagłębieniach fałd:

$$\beta_3 = 1,0$$

Jeżeli połączenie na wierzchołkach fałd :

$$\beta_3 = \frac{(n_f - 1)}{n_f}$$

- n_f : jest liczbą łączników między **1** blachą i płatwią

PŁATWIE STĘŻONE POSZYCIEM

➤ Niedopuszczalne modele zniszczenia (nieplastyczne)

- ✓ Ścięcie łączników w połączeniu blachy z płatwią
- ✓ Zniszczenie końców blachy
- ✓ Zniszczenie z powodu wyboczenia blachy

→ Sprawdzenie:

Nośność przy
niedopuszczalnych modelach
zniszczenia

>

Nośność przy ścinaniu połączenia
między arkuszami blachy

P_{\max}

PŁATWIE STĘŻONE POSZYCIEM

- ✓ Nośność połączeń między blachą i płatwią z uwzględnieniem efektu dźwigni

$$\frac{w}{\alpha_3 p} 0,6 F_p \geq P_{\max}$$

- w : jest odległością między płatwiami
- α_3 : jest współczynnikiem uwzględniającym płatwie pośrednie
- p : odległość między łącznikami
- F_p : jest nośnością łącznika głównego (łączącego płatew i blachę).

PŁATWIE STĘŻONE POSZYCIEM

✓ Nośność połączeń między blachą i płatwią

→ α_3

Liczba płatwi na głębokości przepony	α_3
2	1,00
3	1,00
4	0,90
5	0,80
6	0,71
7	0,64
8	0,58

PŁATWIE STĘŻONE POSZYCIEM

- ✓ Nośność ze względu na zniszczenie końców blachy

$$k \left(\frac{t^{1,5} w \cdot f_y}{d^{0,5}} \right) \geq P_{\max}$$

- t : jest grubością blachy
- w : jest odległością między płatwiami
- f_y : jest granicą plastyczności stali blachy
- d : jest odległością między fałdami
- k : jest przyjmowane równe 0,9 dla połączenia w każdej fałdzie
jest przyjmowane równe 0,3 dla połączenia w co drugiej fałdzie

PŁATWIE STĘŻONE POSZYCIEM

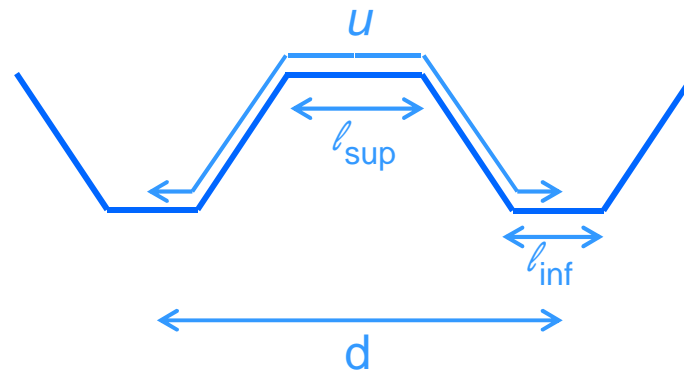
- ✓ Nośność na wyboczenie blachy
 - Zwykle bierze się pod uwagę wyboczenie lokalne i globalne
 - Wyboczenie lokalne jest nieistotne, jeżeli:

$$\frac{\ell}{t} \leq 2,9 \left(\frac{E}{f_y} \right)^{0,5}$$

- ℓ : jest szerokością małej półki blachy
- t : jest grubością blachy
- E : jest modułem Young'a materiału blachy
- f_y : jest granicą plastyczności materiału blachy

PŁATWIE STĘŻONE POSZYCIEM

- ✓ Nośność na wyboczenie blachy

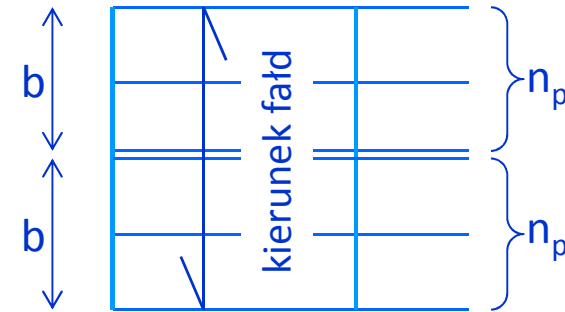


$$l = b_k = \text{Min}(l_{sup}, l_{inf})$$

PŁATWIE STĘŻONE POSZYCIEM

✓ Nośność na wyboczenie globalne blachy

$$V_g = \frac{14,4}{b} D_x^{0,25} D_y^{0,75} (n_p - 1)^2 \geq P_{\max}$$



- b : jest szerokością przepony
- n_p : jest liczbą wszystkich płatew na szerokości przepony

- $D_x = \frac{E.t^3 d}{12(1-\nu)u}$

- $D_y = \frac{E.I_y}{d}$

PŁATWIE STĘŻONE POSZYCIEM

✓ Nośność na wyboczenie lokalne przy ścinaniu blachy

→ Pas bez usztywnienia

$$V_{\ell} = 4,83E \left(\frac{t}{\ell} \right)^2 b.t$$



→ Pas z usztywnieniem

$$V_{\ell} = \frac{36b}{b_k^2} D_x^{0,25} D_y^{0,75}$$



$$D_y = \frac{E.t^3}{10,92}$$

$$D_x = \frac{EI_F}{b_k}$$

I_F : jest momentem bezwładności półki względem poziomej osi blachy

PŁATWIE STĘŻONE POSZYCIEM

✓ Interakcja globalnej i lokalnej utraty stateczności

$$V_{\text{red}} = \frac{V_g V_l}{V_g + V_l} \geq P_{\text{max}}$$

PODSUMOWANIE



Program
Uczenie się
przez całe życie

PODSUMOWANIE

- Płatwie są zwykle poddane zginaniu dwukierunkowemu i sile osiowej.
- Kryteriami wymiarowania płatwi są zwykle ugięcie i zwichrzenie.
- Uwzględnienie efektów stabilizacji płatwi przez poszycie może mocno zwiększyć nośność na zwichrzenie.
- Jeżeli poszycie jest brane pod uwagę w obliczeniach płatwi, należy uwzględnić siły stabilizujące przy weryfikacji poszycia.



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.

