



Program Uczenie się przez całe życie

Projekt SKILLS



RAMY PORTALOWE



Program
Uczenie się
przez całe życie

OMAWIANE ZAGADNIENIA

- **Analiza sprężysta konstrukcji uwzględniająca efekty drugiego rzędu i imperfekcje**
- **Procedura projektowania ram portalowych**
- **Procedura projektowania stężeń dachowych i ściennych**

SPIS TREŚCI

- **Wprowadzenie**
 - ✓ Prezentacja stalowych budynków halowych
 - ✓ Przykłady
- **Analiza globalna**
 - ✓ Informacje ogólne
 - ✓ Efekty drugiego rzędu
 - ✓ Imperfekcje
 - ✓ Sztywność węzłów
- **Procedura projektowania ram portalowych**
 - ✓ Stateczność konstrukcji ram
 - ✓ Stateczność słupów i rygli
- **Stężenia dachowe**
- **Stężenia ścienne**
- **Podsumowanie**

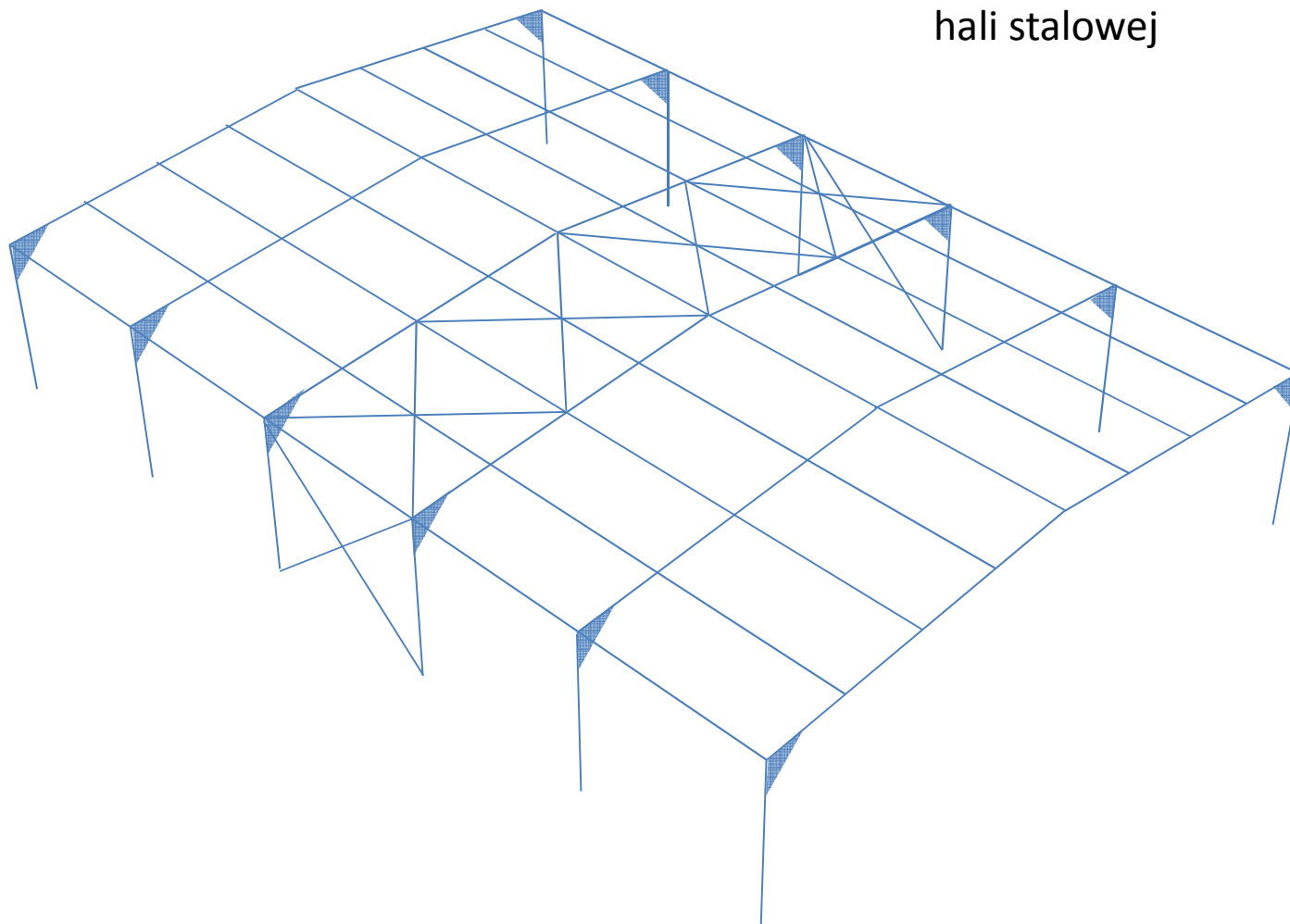
WPROWADZENIE



Program
Uczenie się
przez całe życie

WPROWADZENIE

Typowa konstrukcja
hali stalowej



WPROWADZENIE

Płatwie

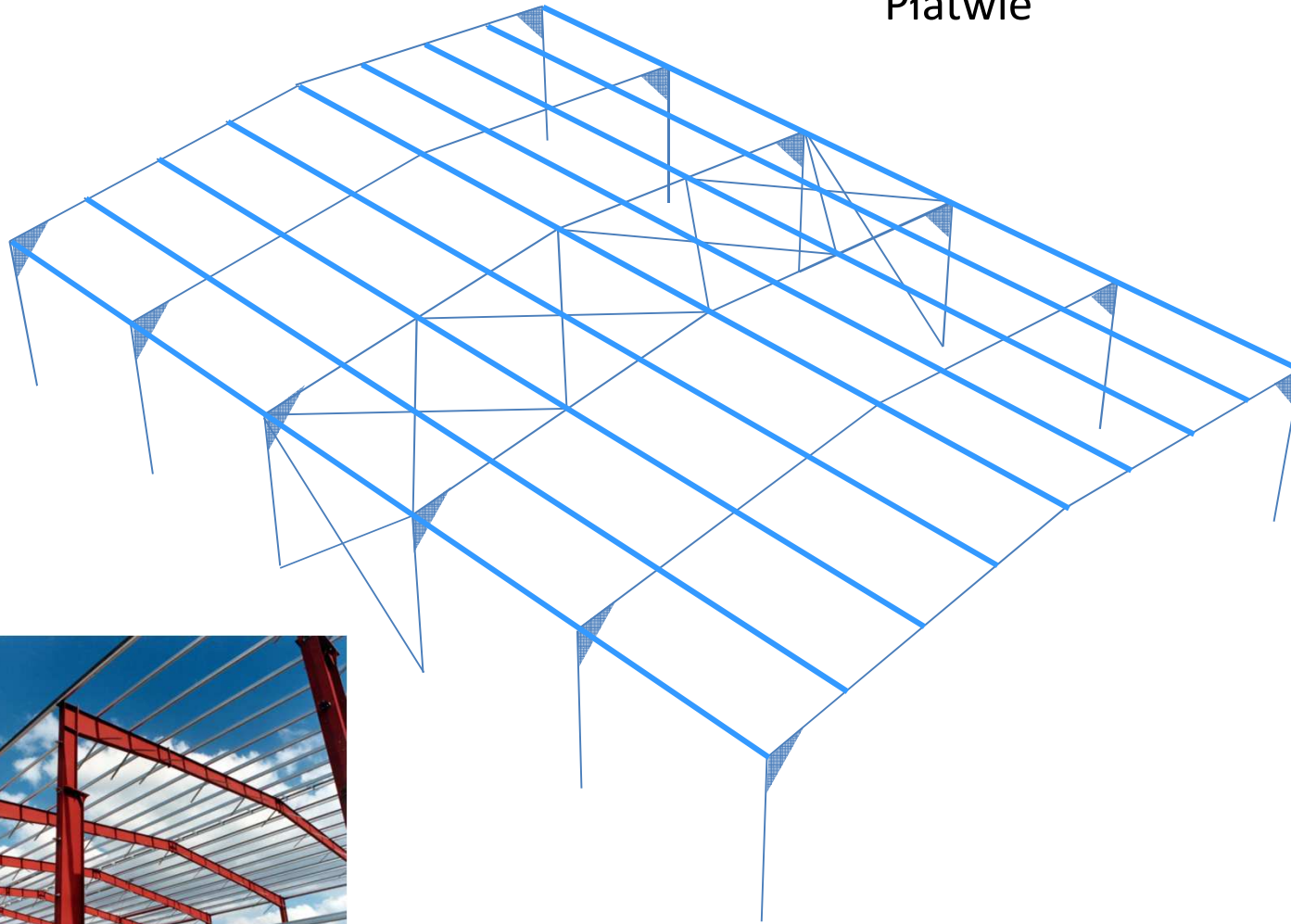
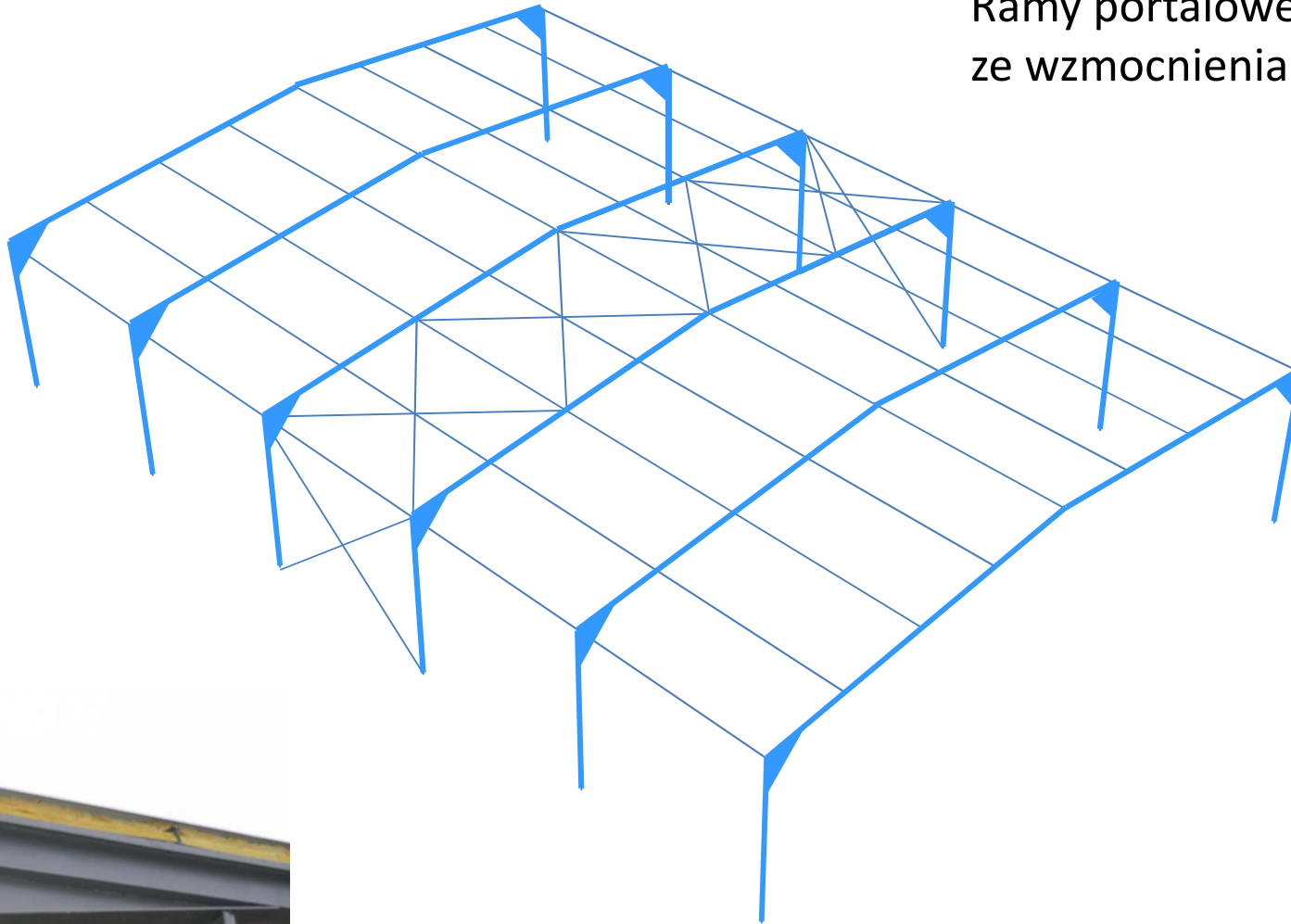


Photo APK

WPROWADZENIE

Ramy portalowe
ze wzmocnieniami



WPROWADZENIE

Stężenia dachowe

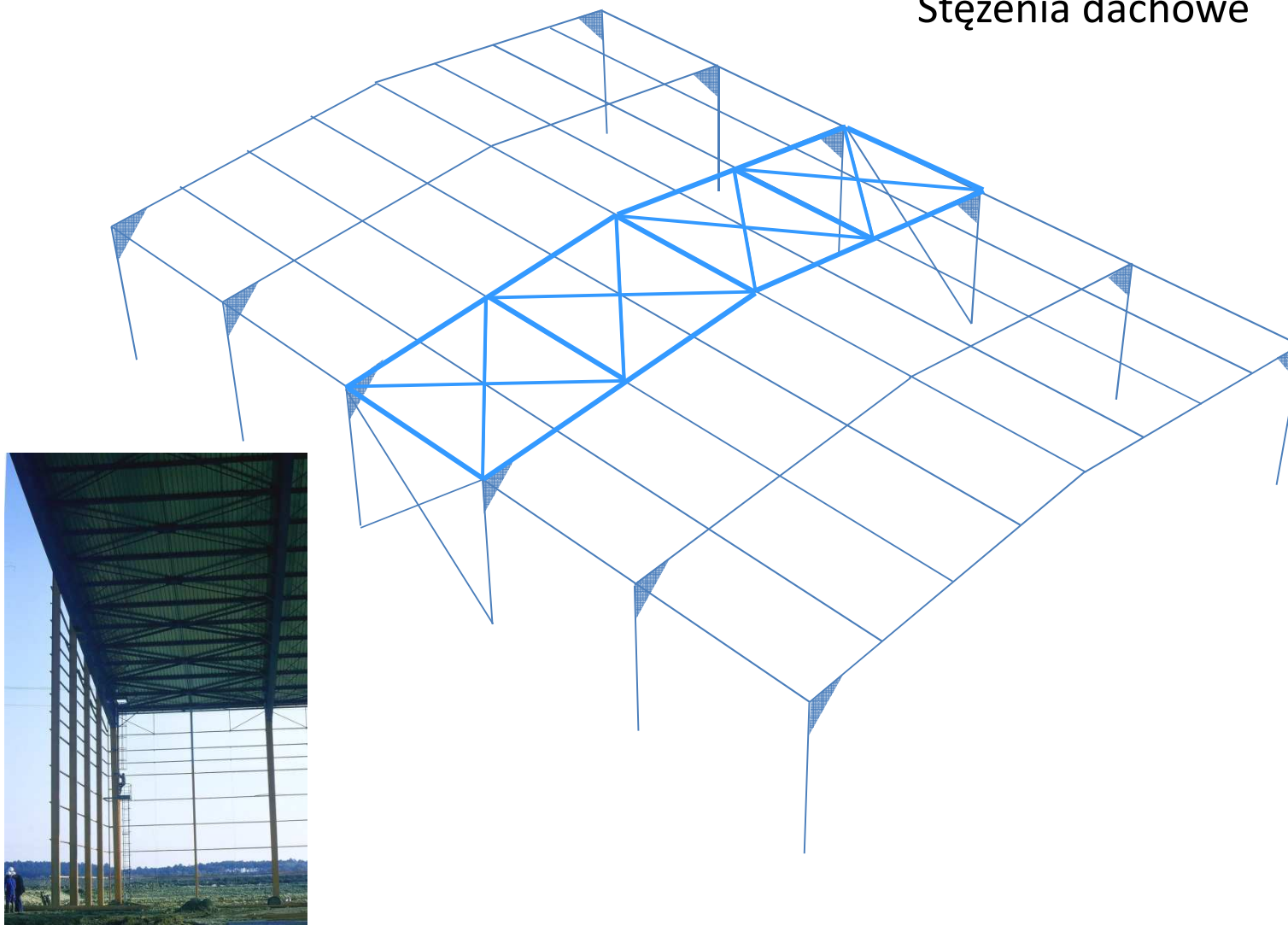


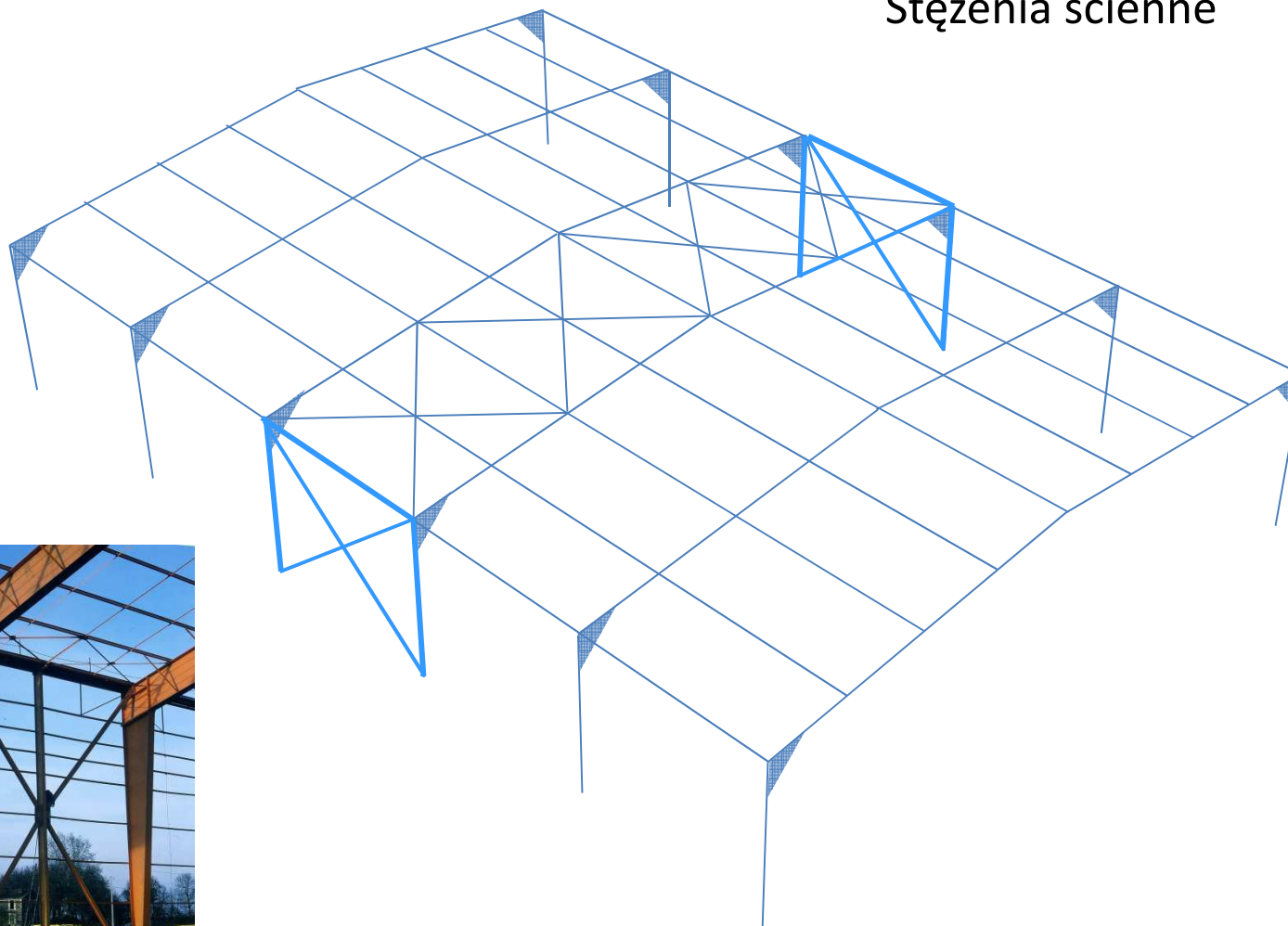
Photo APK

WPROWADZENIE

Stężenia ściennie



Photo APK

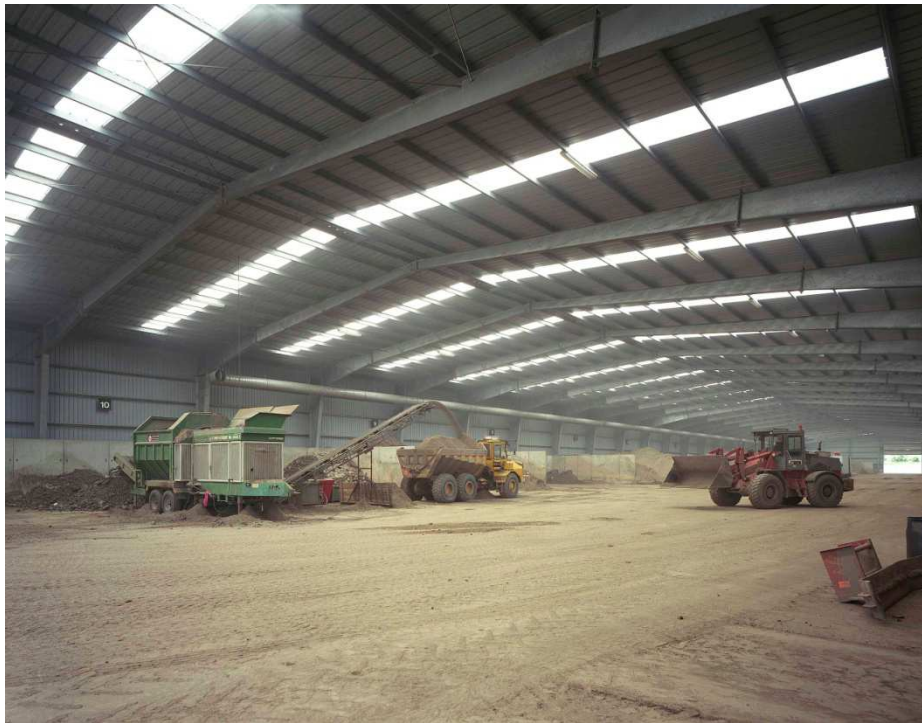


WPROWADZENIE



Photo APK – JP Muzeau

WPROWADZENIE



ANALIZA GLOBALNA



Program
Uczenie się
przez całe życie

➤ Metody analizy konstrukcji

PN-EN 1993-1-1 § 5.4

✓ Analiza sprężysta

→ Charakterystyka materiału naprężenie – odkształcenie jest liniowa w całym zakresie obciążenia

✓ Analiza plastyczna

→ Brane są pod uwagę nieliniowe właściwości materiału

→ Uwzględnia się redystrybucję sił wewnętrznych i momentów

- Efekty, które należy uwzględnić w analizie globalnej, gdy są znaczące:
 - ✓ Wpływ deformacji na statykę układu (efekty drugiego rzędu)
 - ✓ Imperfekcje
 - ✓ Sztywność węzłów
 - ✓ Interakcja konstrukcji z podłożem

Na podstawie Załącznika krajowego [NA. 9 §5.2.2\(8\) PN-EN 1993-1-1](#): **Analizę pierwszego rzędu bez uwzględniania imperfekcji można stosować w przypadku układów nieprzechyłowych (sztywno stężonych), a także jednokondygnacyjnych układów przechyłowych.**

ANALIZA GLOBALNA

➤ Analiza pierwszego i drugiego rzędu

- ✓ Analiza pierwszego rzędu przy założeniu pierwotnej geometrii układu

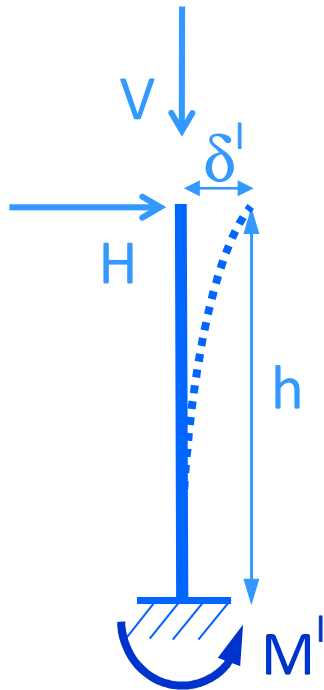


- ✓ Analiza drugiego rzędu, z uwzględnieniem wpływu deformacji na statykę układu



ANALIZA GLOBALNA

- Wpływ deformacji konstrukcji/Efekty drugiego rzędu



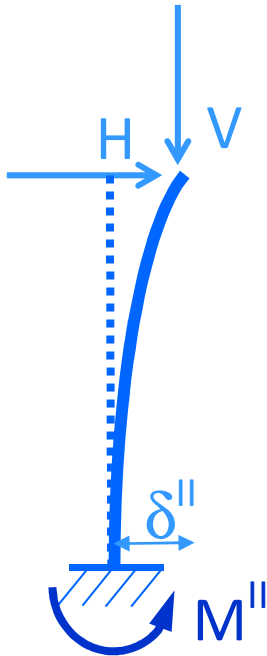
Z analizy konstrukcji pierwszego rzędu otrzymuje się:

$$M' = H \times h$$

$$\delta' = \frac{H \times h^3}{3EI}$$

ANALIZA GLOBALNA

- Wpływ deformacji konstrukcji/Efekty drugiego rzędu



Z analizy konstrukcji drugiego rzędu otrzymuje się:

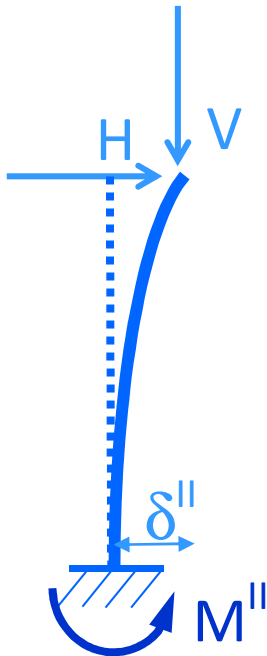
$$M'' = H \times h + V \times \delta''$$

→ Potrzebne są iteracyjne procedury obliczenia δ''

$$\delta_{n+1}'' = \left(H \times h + V \times \delta_n'' \right) \times \frac{h^2}{3EI}$$

ANALIZA GLOBALNA

- Wpływ deformacji konstrukcji/Efekty drugiego rzędu



$$\delta_{n+1}'' = (H \times h + V \times \delta_n'') \times \frac{h^2}{3EI}$$

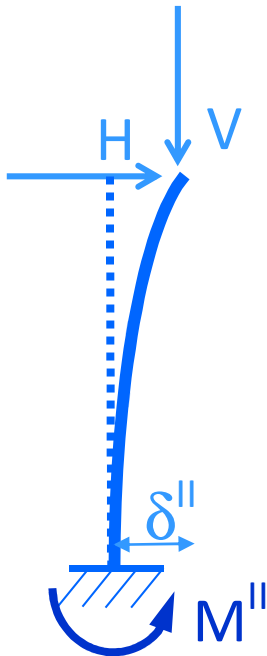
Jeżeli: $\delta_{n+1}'' \approx \delta_n''$ oraz: $(H \times h) \times \frac{h^2}{3EI} = \delta'$

$$\delta'' \approx H \times h \frac{h^2}{3EI} \times \frac{1}{1 - \frac{Vh^2}{3EI}} = \delta' \times \frac{1}{1 - \frac{V}{V_{cr}}}$$

gdzie: $V_{cr} = \frac{3EI}{h^2}$

ANALIZA GLOBALNA

- Wpływ deformacji konstrukcji/Efekty drugiego rzędu



$$\delta'' = \delta' \times \frac{1}{1 - \frac{V}{V_{cr}}}$$

Podstawiając: $\frac{V_{cr}}{V} = \alpha_{cr}$

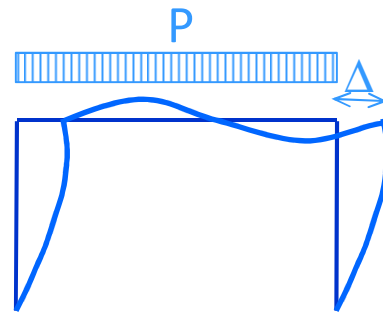
$$\delta'' = \delta' \times \frac{1}{1 - \frac{1}{\alpha_{cr}}}$$

$$M'' = M' \times \frac{1}{1 - \frac{1}{\alpha_{cr}}}$$

ANALIZA GLOBALNA

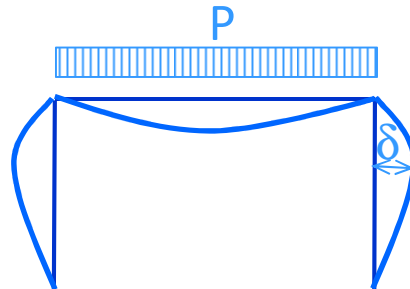
➤ Globalne i lokalne efekty drugiego rzędu

- ✓ Globalne efekty drugiego rzędu – Efekty $P-\Delta$



→ Dotyczą deformacji całej konstrukcji

- ✓ Lokalne efekty drugiego rzędu – Efekty $P-\delta$



→ Dotyczą deformacji poszczególnych elementów

→ Na ogół objęte sprawdzeniem elementów wg [PN-EN 1993-1-1 § 6.3](#)

ANALIZA GLOBALNA

- Podsumowanie wpływu deformacji konstrukcji na statykę układu
 - ✓ Uwzględnienie deformacji konstrukcji zwykle prowadzi do zwiększenia wartości sił wewnętrznych (sił poprzecznych) i momentów w ramach portalowych.
 - ✓ Im mniejsza jest sztywność konstrukcji, tym większe są deformacje, a tym samym większy wpływ efektów drugiego rzędu.
 - ✓ α_{cr} jest reprezentatywne dla efektów drugiego rzędu (wyższe wartości α_{cr} oznaczają mniejsze efekty drugiego rzędu).

- Efekty drugiego rzędu w PN-EN 1993-1-1
 - ✓ Analiza pierwszego rzędu jest dozwolona, gdy:
 - $\alpha_{cr} \geq 10$ w przypadku analizy sprężystej
 - $\alpha_{cr} \geq 15$ w przypadku analizy plastycznej
 - ✓ Jeżeli powyższe kryterium nie jest spełnione → muszą być rozpatrzone efekty drugiego rzędu

ANALIZA GLOBALNA

- Uwzględnienie efektów drugiego rzędu w PN-EN 1993-1-1

$$3 \leq \alpha_{cr} < 10$$

- ✓ Analiza drugiego rzędu
(długość wyboczeniowa = długość teoretyczna elementu)
lub
- ✓ Analiza pierwszego rzędu, po której następuje amplifikacja *przechyłowych efektów* drugiego rzędu
(długość wyboczeniowa = długość teoretyczna elementu)
lub
- ✓ Analiza pierwszego rzędu (długość wyboczeniowa zgodnie z globalną formą utraty stateczności)

$$\alpha_{cr} < 3$$

- ✓ Analiza drugiego rzędu
(długość wyboczeniowa = długość teoretyczna elementu)

ANALIZA GLOBALNA

➤ Amplifikacja efektów przechyłowych

- ✓ Współczynnik amplifikacji:

$$\frac{1}{1 - \frac{1}{\alpha_{cr}}}$$

- ✓ Efekty przechyłowe:

Obciążenia poziome (np. wiatr)

Efekty spowodowane imperfekcjami

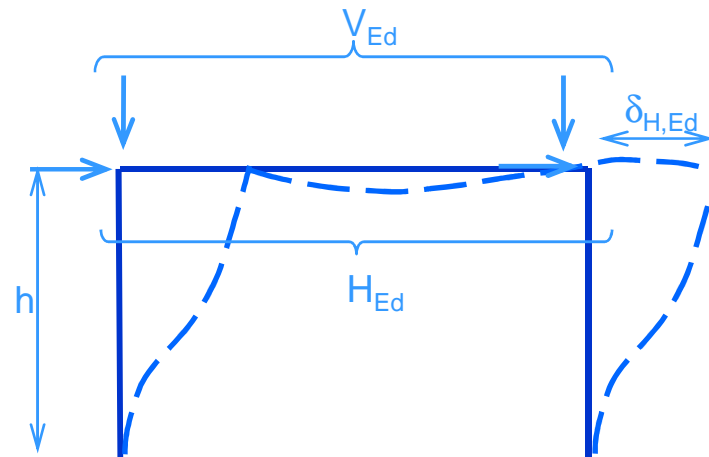
Efekty spowodowane geometrią konstrukcji

ANALIZA GLOBALNA

➤ Obliczenie α_{cr}

✓ Wzór uproszczony:

$$\alpha_{cr} = \left(\frac{H_{Ed}}{V_{Ed}} \right) \left(\frac{h}{\delta_{H,Ed}} \right) \quad \text{PN-EN 1993-1-1 § 5.2.1 (4)}$$



Przy założeniu, że:

nachylenie dachu jest małe:

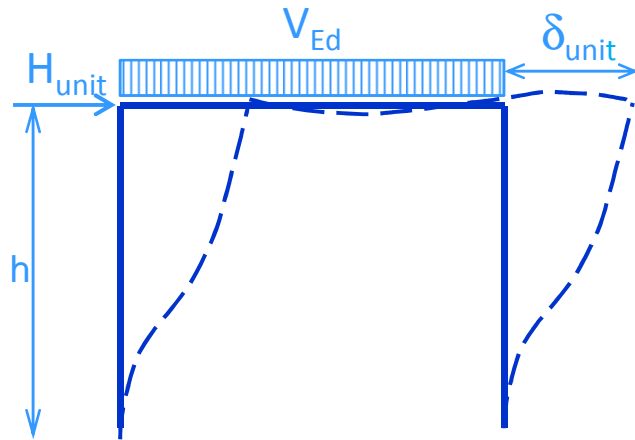
$$< 26^\circ$$

siła osiowa w ryglu je mała:

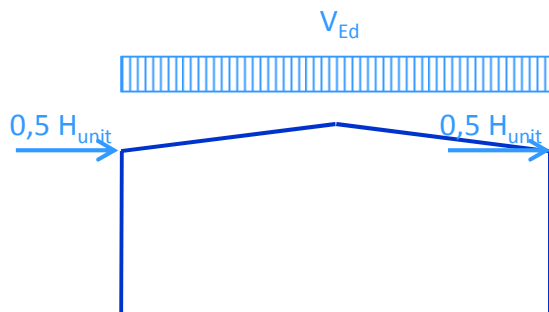
$$\bar{\lambda} \geq 0,3 \sqrt{\frac{Af_y}{N_{Ed}}} \quad \text{lub} \quad N_{Ed} \leq 0,09N_{cr}$$

ANALIZA GLOBALNA

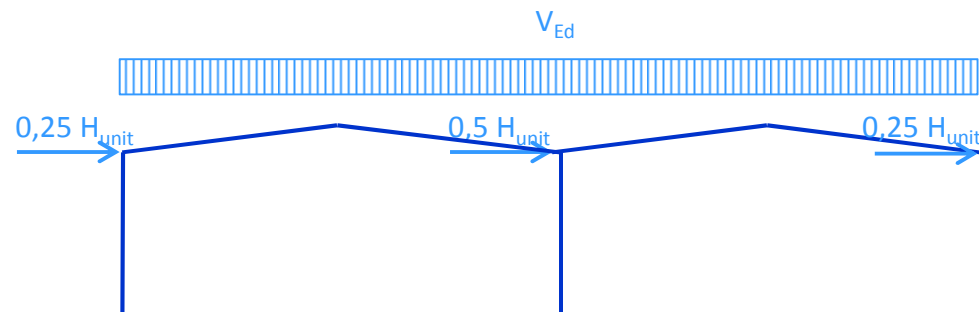
- Praktyczne wyznaczenie α_{cr} dla ram portalowych



$$\alpha_{cr} = \left(\frac{H_{unit}}{V_{Ed}} \right) \left(\frac{h}{\delta_{unit}} \right)$$



$$\delta_{unit} = \delta_{mean.column}$$



$$\delta_{unit} = \delta_{mean.column}$$

IMPERFEKCJE



Program
Uczenie się
przez całe życie

IMPERFEKCJE

- Imperfekcje konstrukcji są spowodowane:
 - ✓ brakiem prostości, prostoliniowości lub płaskości
 - ✓ brakiem prostopadłości i/lub przylegania
 - ✓ mimośrodami w węzłach
 - ✓ naprężeniami własnymi
 - ✓ niejednorodnością materiałową

- Zamiast rzeczywistych niedoskonałości fizycznych określa się zastępcze imperfekcje geometryczne o wartościach odzwierciedlających wszelkie możliwe wpływy imperfekcji różnych typów.

IMPERFEKCJE

➤ Zastępcze imperfekcje geometryczne:

- ✓ Imperfekcje globalne (przechyłkowe) układów ramowych i stężeń



- ✓ Imperfekcje lokalne (łukowe) pojedynczych elementów.



IMPERFEKCJE

➤ Globalne wstępne imperfekcje przechyłowe

$$\phi = \phi_0 \alpha_h \alpha_m \quad \text{PN-EN 1993-1-1 § 5.3.2}$$

✓ ϕ_0 - wartość podstawowa $\phi_0 = 1/200$

✓ α_h – współczynnik redukcyjny ze względu na wysokość słupów

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} \quad \text{ale} \quad \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1$$

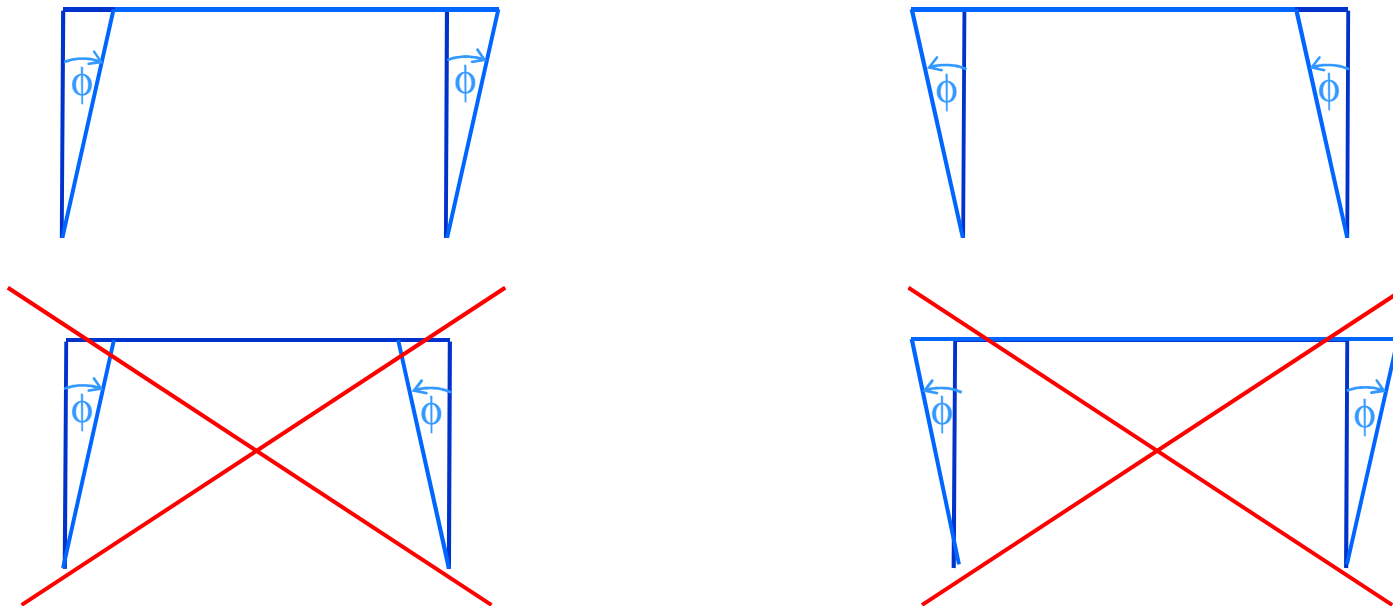
✓ α_m – współczynnik redukcyjne ze względu na liczbę słupów

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{m} \right)}$$

m – liczba słupów w rzędzie, które przenoszą obciążenie nie mniejsze niż 50% przeciętnego obciążenia słupa w rozpatrywanej płaszczyźnie pionowej

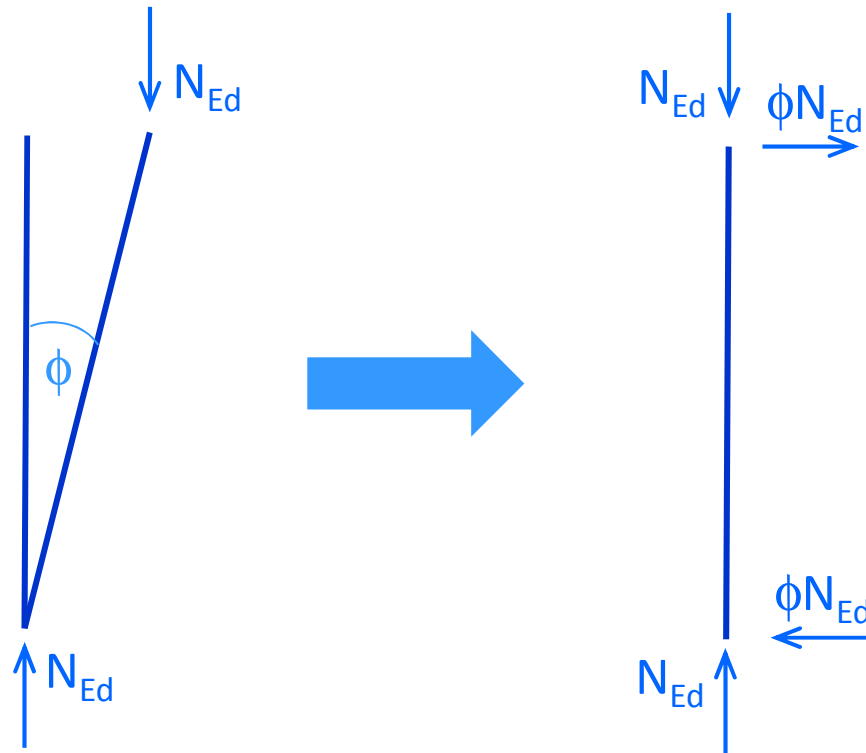
IMPERFEKCJE

- Kierunek imperfekcji przechyłowej
 - ✓ Należy rozpatrzyć każdy kierunek imperfekcji globalnych, ale jednocześnie możliwy jest przechył tylko w jedną stronę



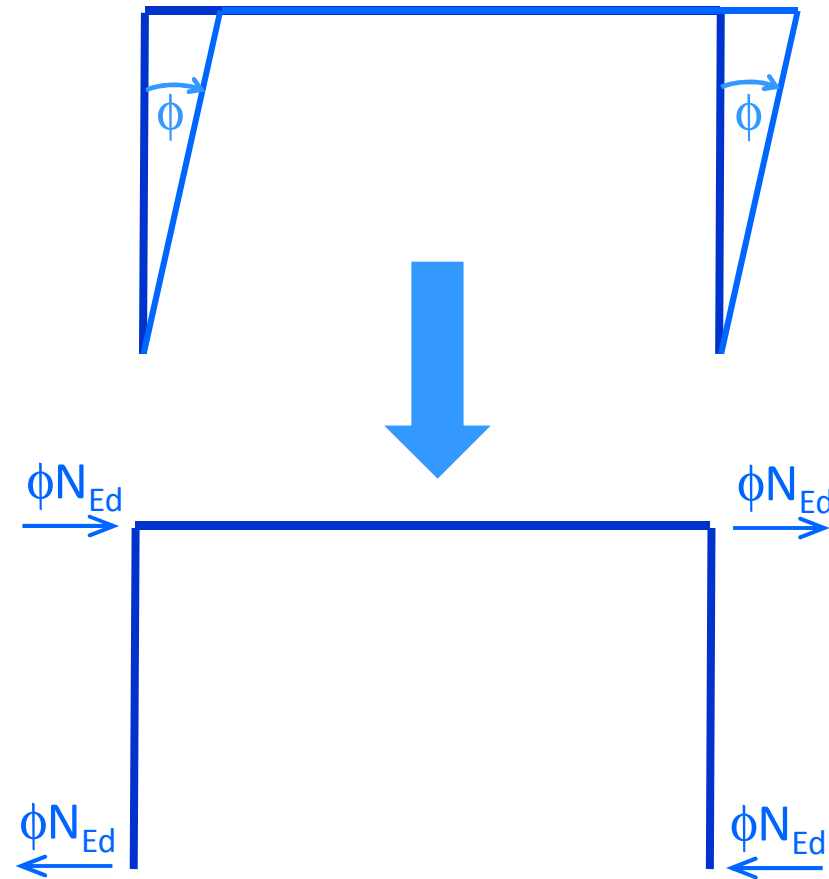
IMPERFEKCJE

- Sposób zastąpienia zastępczych imperfekcji geometrycznych równoważnymi siłami poprzecznymi



IMPERFEKCJE

- Układ sił równoważnych zastępujących wstępną imperfekcję przechyłową



IMPERFEKCJE

➤ Możliwość pominięcia globalnej imperfekcji w analizie ram:

- ✓ Odpowiednio duże siły poziome

$$H_{Ed} \geq 0,15V_{Ed}$$

PN-EN 1993-1-1 § 5.3.2

- ✓ Sprawdzenie stateczności ramy metodą równoważnego słupa (długości wyboczeniowe słupów są oparte na ogólnej przechyłowej postaci wyboczenia). PN-EN 1993-1-1 § 5.2.2
- ✓ Na podstawie załącznika krajowego NA. 9 §5.2.2(8) PN-EN 1993-1-1: Analizę pierwszego rzędu bez uwzględniania imperfekcji można stosować w przypadku układów nieprzechyłowych (sztywno stężonych), a także jednokondygnacyjnych układów przechyłowych.

IMPERFEKCJE

➤ Lokalna imperfekcja łukowa

- ✓ Lokalne efekty drugiego rzędu są zwykle uwzględniane we wzorach weryfikujących nośność elementów wg PN-EN 1993-1-1 §6.3
- ✓ Lokalna imperfekcja łukowa musi być rozpatrzona dla smukłych elementów obciążonych dużą ściskającą siłą podłużną

IMPERFEKCJE

➤ Jeżeli rama jest wrażliwa na efekty drugiego rzędu, lokalna imperfekcja łukowa musi być zastosowana, gdy:

- ✓ w elementach ściskanych przynajmniej jeden węzeł elementu przenosi moment
- ✓ smukłość względna elementu ściskanego $\bar{\lambda}$ obliczona przy założeniu przegubów na jego końcach:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} \quad \text{i} \quad N_{cr} = \left(\frac{\pi}{L}\right)^2 EI$$

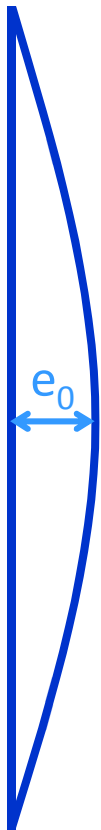
spełnia warunek: $\bar{\lambda} > 0,5 \sqrt{\frac{A f_y}{N_{Ed}}}$

PN-EN 1993-1-1 § 5.3.2

IMPERFEKCJE

PN-EN 1993-1-1 § 5.3.2

- Wartości lokalnych wstępnych imperfekcji łukowych

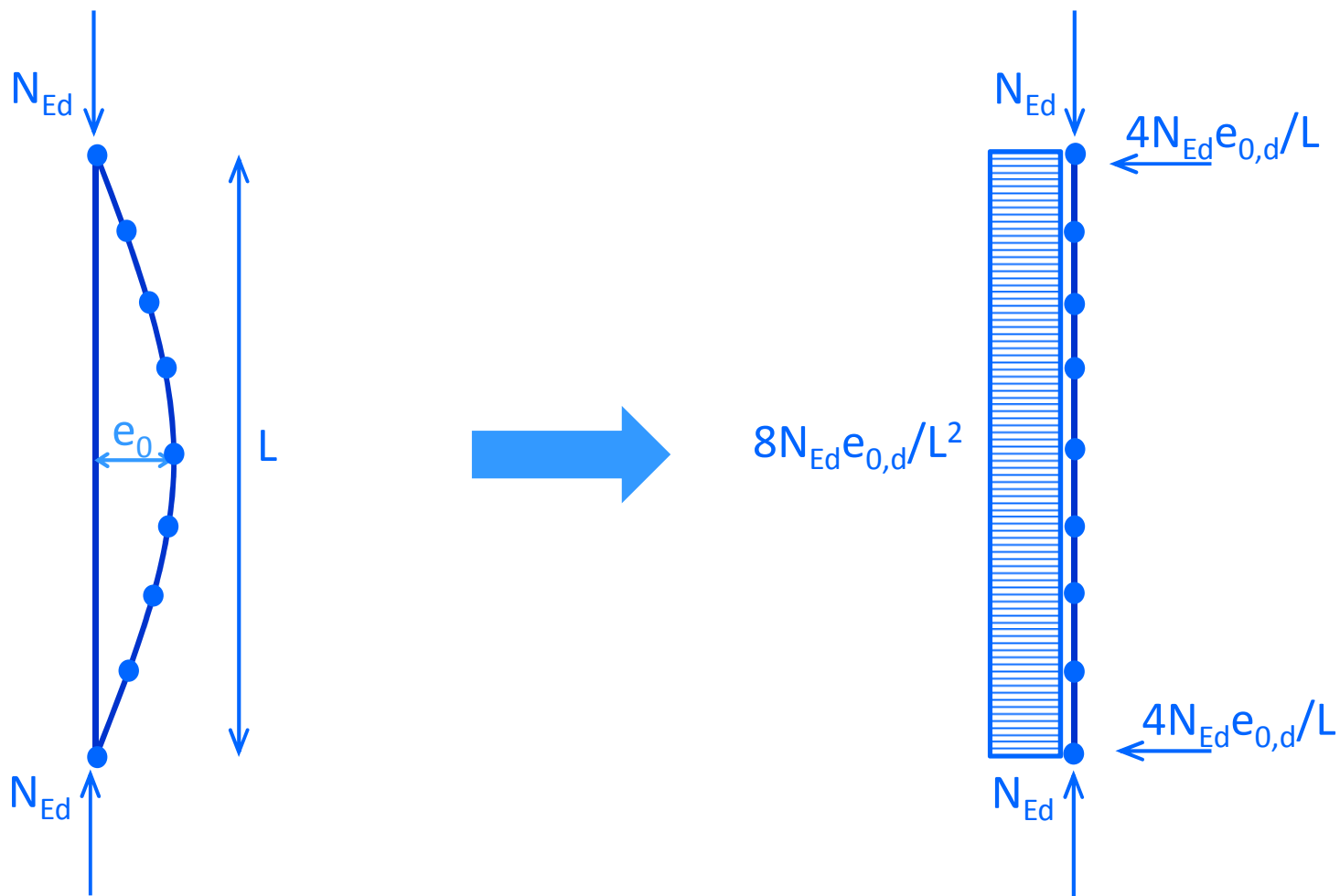


Krzywa wyboczenia	Analiza sprężysta	Analiza plastyczna
	e_0/L	e_0/L
a_0	1/350	1/300
a	1/300	1/250
b	1/250	1/200
c	1/200	1/150
d	1/150	1/100

Na podstawie załącznika krajowego NA. 10 – ad 5.3.2 (3) – b zaleca się przyjmować wartości e_0/L jak dla analizy sprężystej, niezależnie od zastosowanej metody analizy.

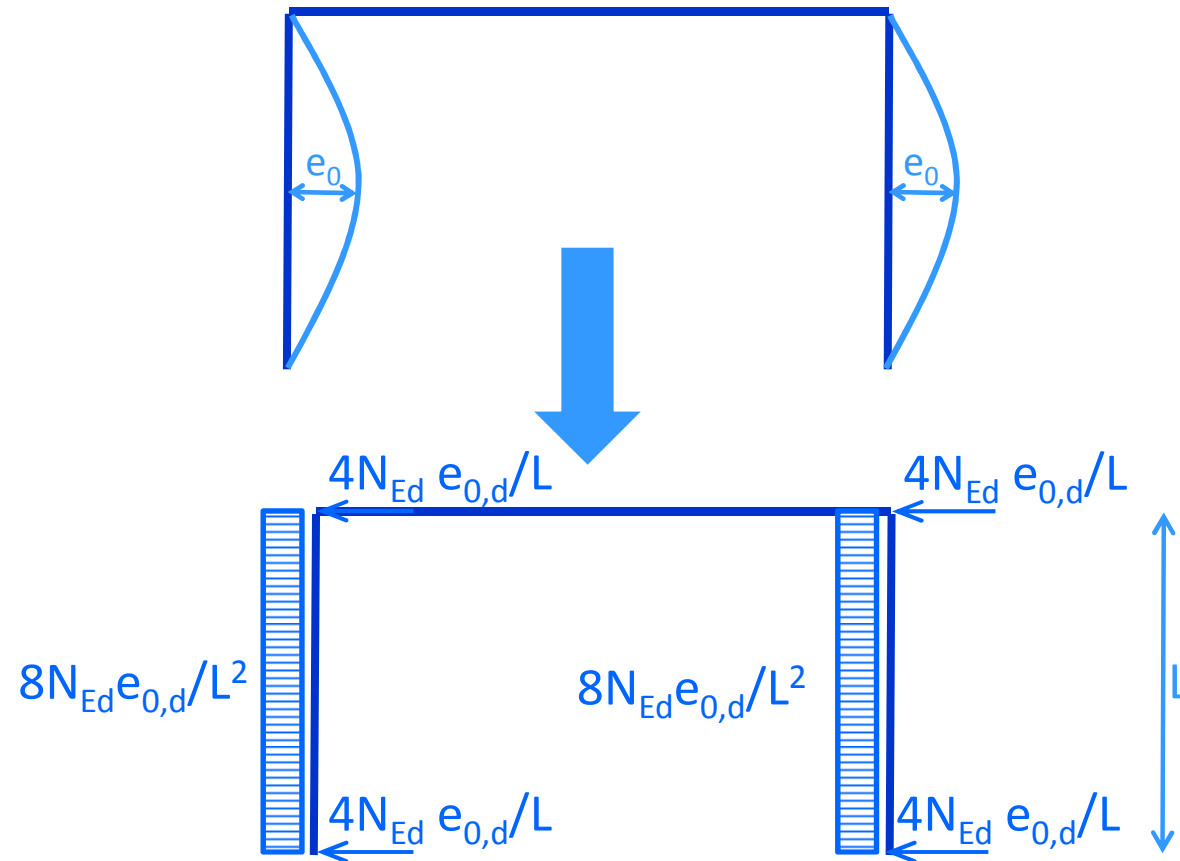
IMPERFEKCJE

- Układ sił równoważnych zastępujących wstępną imperfekcję łukową



IMPERFEKCJE

- Układ sił równoważnych zastępujących wstępną imperfekcję łukową



SZTYWNOŚĆ WĘZŁÓW



Program
Uczenie się
przez całe życie

SZTYWNOŚĆ WĘZŁÓW

➤ Przykłady węzłów



Węzeł
sztywny

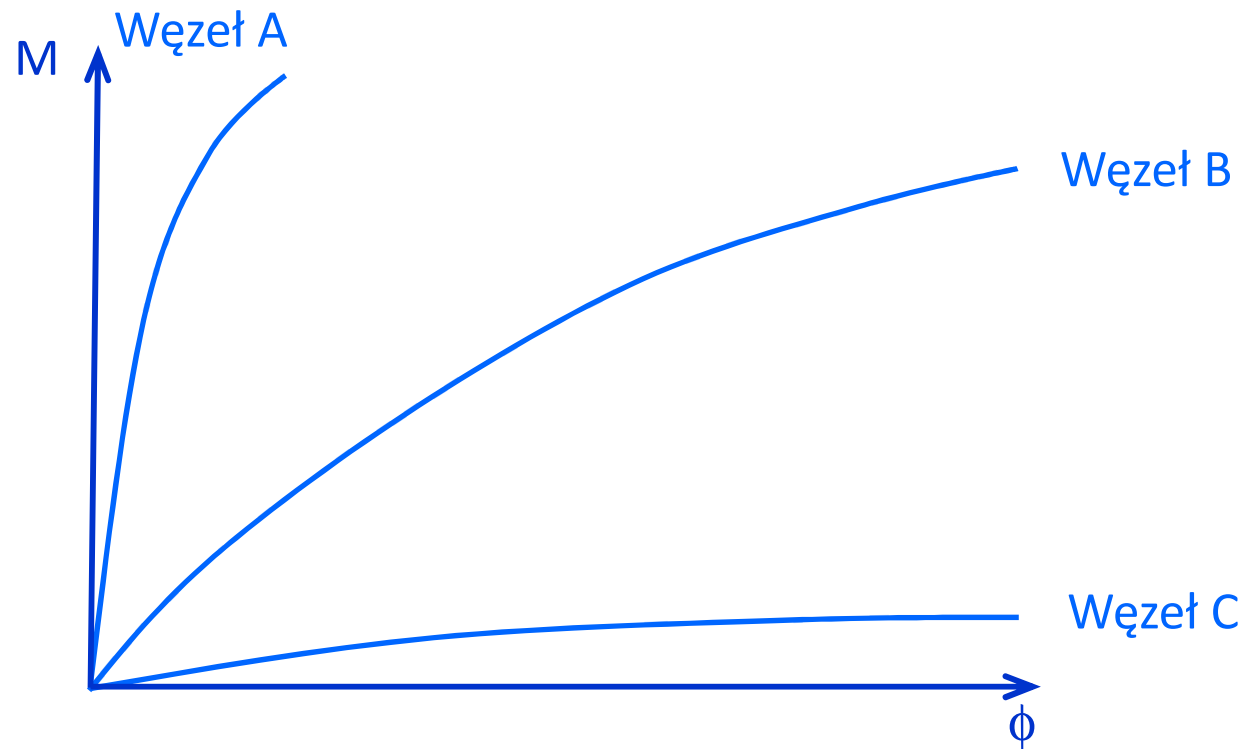


Węzeł nominalnie
przegubowy

SZTYWNOŚĆ WĘZŁÓW

PN-EN 1993-1-8 § 5.2.2

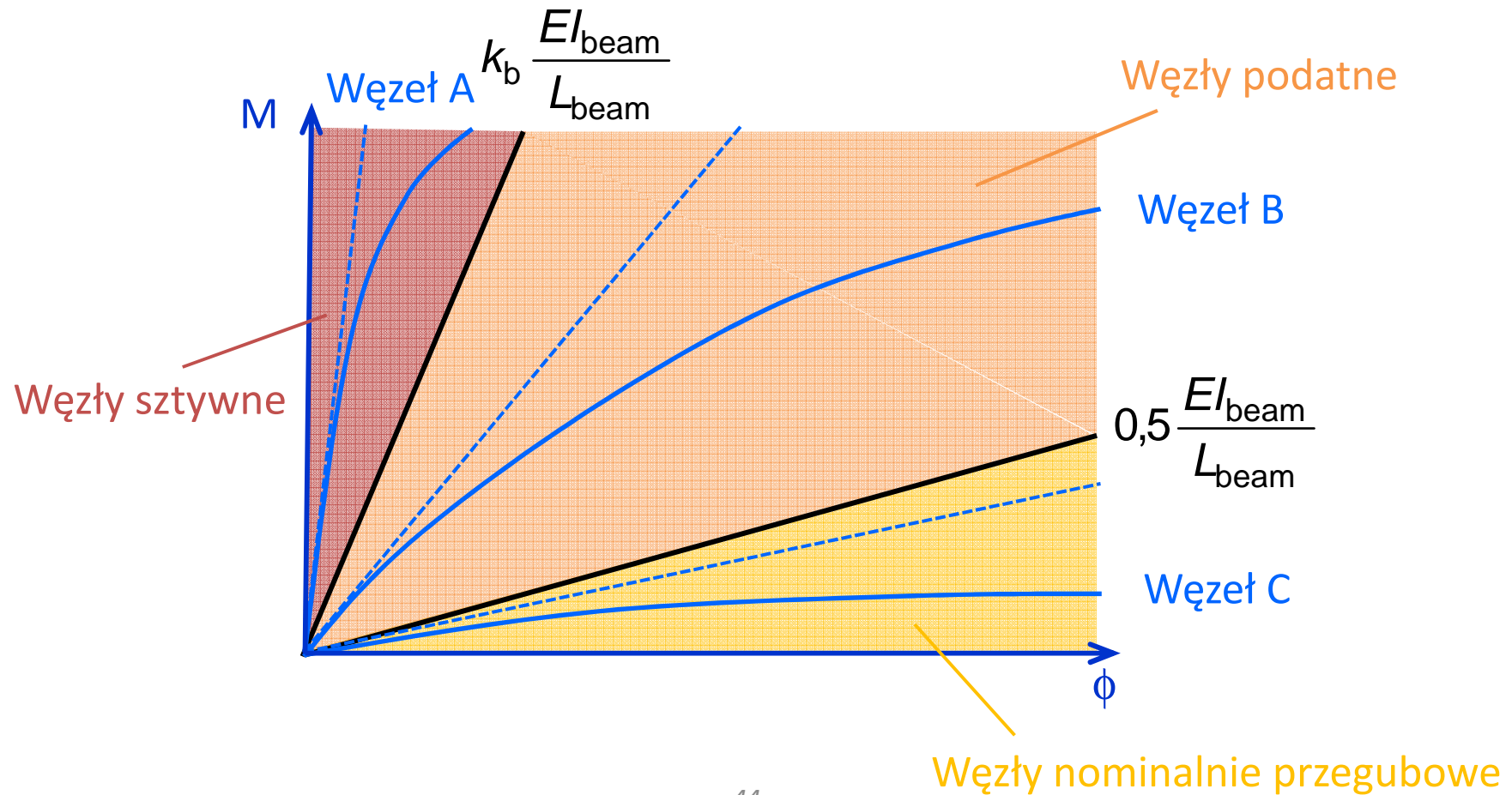
- Klasyfikacja węzłów ze względu na sztywność



SZTYWNOŚĆ WĘZŁÓW

➤ Granice klasyfikacji węzłów

PN-EN 1993-1-8 § 5.2.2.5



SZTYWNOŚĆ WĘZŁÓW

➤ Wartość k_b w klasyfikacji węzłów

✓ $k_b = 8$: ramy, gdzie układ stężający redukuje poziomy przechył o co najmniej 80%

✓ $k_b = 25$: inne ramy, pod warunkiem, że dla każdej kondygnacji

$$K_b/K_c \geq 0,1$$

K_b : wartość średnia z I_b/L_b dla wszystkich belek u góry kondygnacji

K_c : wartość średnia z I_c/L_c dla wszystkich słupów kondygnacji

$I_{c/b}$: moment bezwładności słupa/belki

$L_{c/b}$: wysokość/długość słupa/belki

SZTYWNOŚĆ WĘZŁÓW

➤ Zalecenia praktyczne

- ✓ Projektant prawdopodobnie wybierze założenie sztywnych węzłów łączących rygle ze słupami.
- ✓ Projektant prawdopodobnie wybierze założenie przegubowych lub sztywnych podstaw słupów.
- ✓ Te założenia muszą być później sprawdzone.

PROCEDURA PROJEKTOWANIA RAM PORTALOWYCH



Program
Uczenie się
przez całe życie

PROCEDURA PROJEKTOWANIA RAM PORTALOWYCH

➤ Stateczność konstrukcji ram

PN-EN 1993-1-1 § 5.2.2

✓ $\alpha_{cr} \geq 10$:

- Metoda 1:
 - Analiza pierwszego rzędu bez imperfekcji
 - Sprawdzenie stateczności słupa w płaszczyźnie ramy z wykorzystaniem długości wyboczeniowej prętów zgodnie z przechyłową postacią wyboczenia
- Metoda 2:
 - Analiza pierwszego rzędu z imperfekcjami globalnymi (jeżeli potrzebne)
 - Sprawdzenie stateczności słupa w płaszczyźnie ramy z wykorzystaniem długości teoretycznej prętów

PROCEDURA PROJEKTOWANIA RAM PORTALOWYCH

➤ Stateczność konstrukcji ram

PN-EN 1993-1-1 § 5.2.2

✓ $\alpha_{cr} < 3$:

- Należy sprawdzić czy wprowadzenie lokalnych wstępnych deformacji jest potrzebne

- Jeżeli jest potrzebne:
 - Analiza drugiego rzędu z uwzględnieniem globalnej imperfekcji (jeżeli jest potrzebna)
 - Sprawdzenie stateczności słupa w płaszczyźnie ramy = sprawdzeniu nośności przekroju słupa

PROCEDURA PROJEKTOWANIA RAM PORTALOWYCH

➤ Stateczność konstrukcji ram

PN-EN 1993-1-1 § 5.2.2

✓ $\alpha_{cr} < 3$:

- Należy sprawdzić czy wprowadzenie lokalnych wstępnych deformacji jest potrzebne

- Jeżeli jest niepotrzebne:
 - Analiza drugiego rzędu z uwzględnieniem globalnej imperfekcji (jeżeli jest potrzebna)
 - Sprawdzenie stateczności słupa w płaszczyźnie ramy z wykorzystaniem długości teoretycznej słupa

PROCEDURA PROJEKTOWANIA RAM PORTALOWYCH

➤ Stateczność konstrukcji ram

PN-EN 1993-1-1 § 5.2.2

✓ $3 \leq \alpha_{cr} < 10$:

- Należy sprawdzić czy wprowadzenie lokalnych wstępnych deformacji jest potrzebne

- Jeżeli jest potrzebne:
 - Analiza drugiego rzędu z uwzględnieniem globalnej imperfekcji (jeżeli jest potrzebna)
 - Sprawdzenie stateczności słupa w płaszczyźnie ramy = sprawdzeniu nośności przekroju słupa

PROCEDURA PROJEKTOWANIA RAM PORTALOWYCH

➤ Stateczność konstrukcji ram

PN-EN 1993-1-1 § 5.2.2

✓ $3 \leq \alpha_{cr} < 10$:

- Należy sprawdzić czy wprowadzenie lokalnych wstępnych deformacji jest potrzebne
- Jeżeli jest niepotrzebne:
- Metoda 1:
 - Analiza pierwszego rzędu bez imperfekcji
 - Sprawdzenie stateczności słupa w płaszczyźnie ramy z wykorzystaniem długości wyboczeniowej prętów zgodnie z przechyłową postacią wyboczenia
 - Weryfikacja węzłów i rygli z uwzględnieniem efektów drugiego rzędu (amplifikacja efektów przechyłowych)

PROCEDURA PROJEKTOWANIA RAM PORTALOWYCH

➤ Stateczność konstrukcji ram

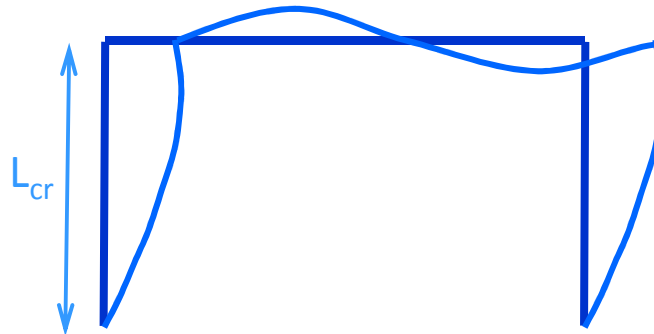
EN 1993-1-1 § 5.2.2

✓ $3 \leq \alpha_{cr} < 10$:

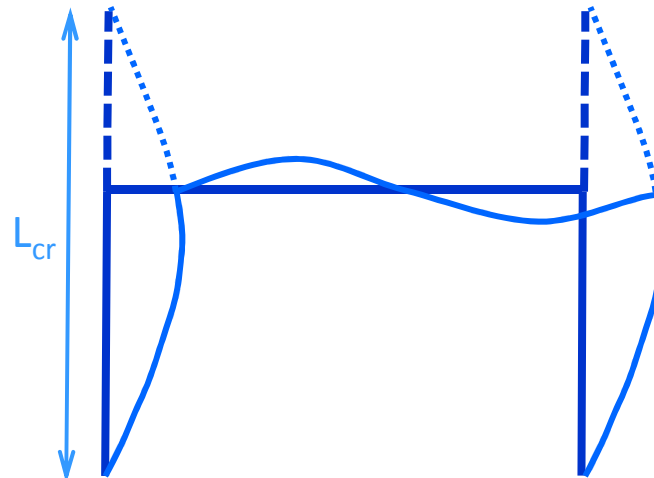
- Należy sprawdzić czy wprowadzenie lokalnych wstępnych deformacji jest potrzebne
- Jeżeli jest niepotrzebne:
- Metoda 2:
 - Analiza pierwszego rzędu z imperfekcją globalną (jeżeli potrzebna)
 - Amplifikacja efektów przechyłowych
 - Sprawdzenie stateczności słupa w płaszczyźnie ramy z wykorzystaniem długości teoretycznej słupa

PROCEDURA PROJEKTOWANIA RAM PORTALOWYCH

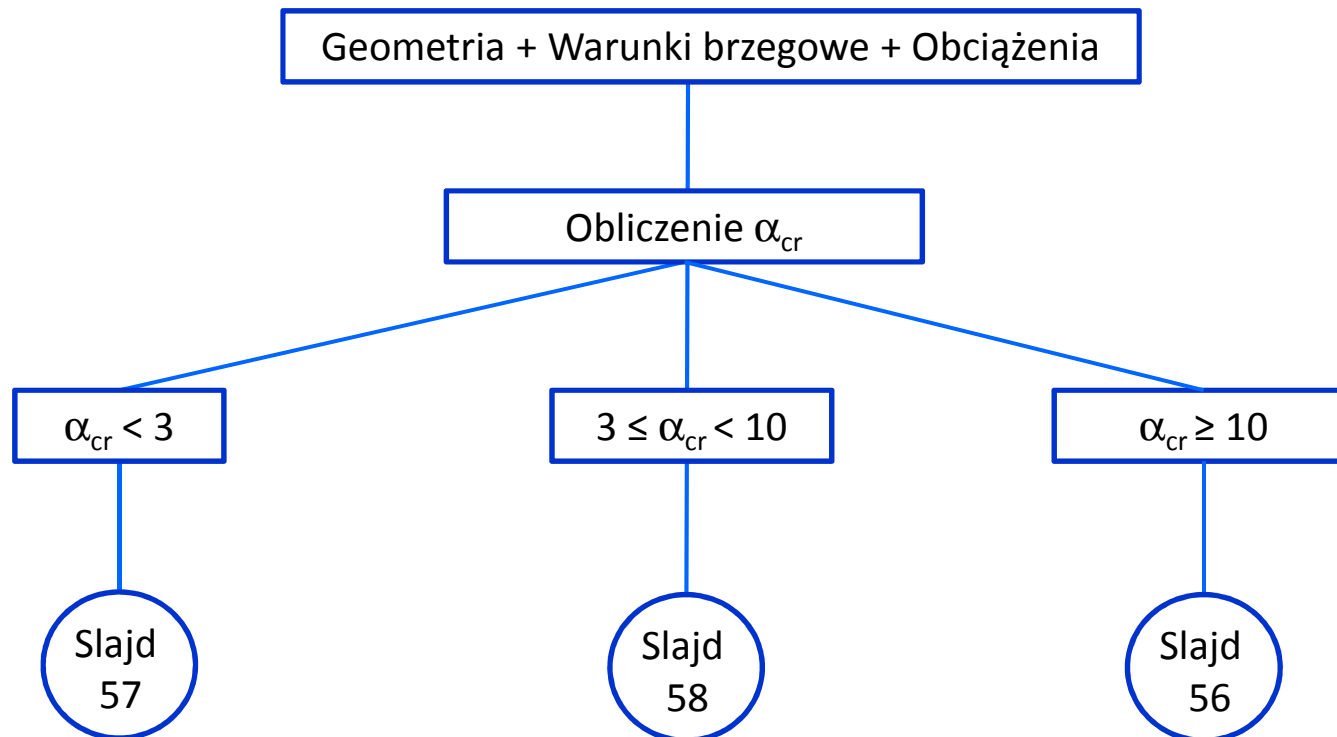
Długość wyboczeniowa = Długość teoretyczna pręta:



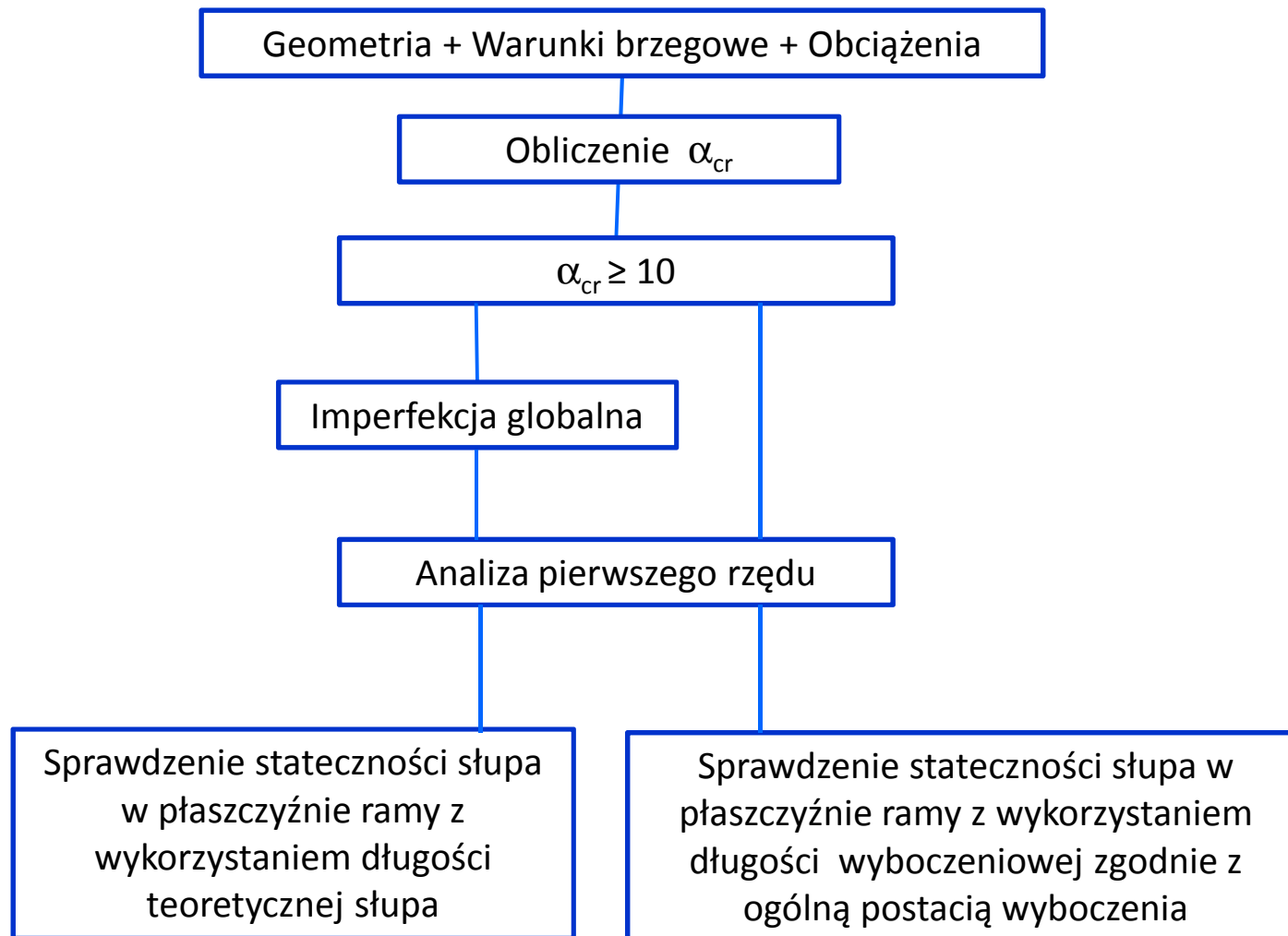
Długość wyboczeniowa zgodnie z przechyłową postacią wyboczenia:



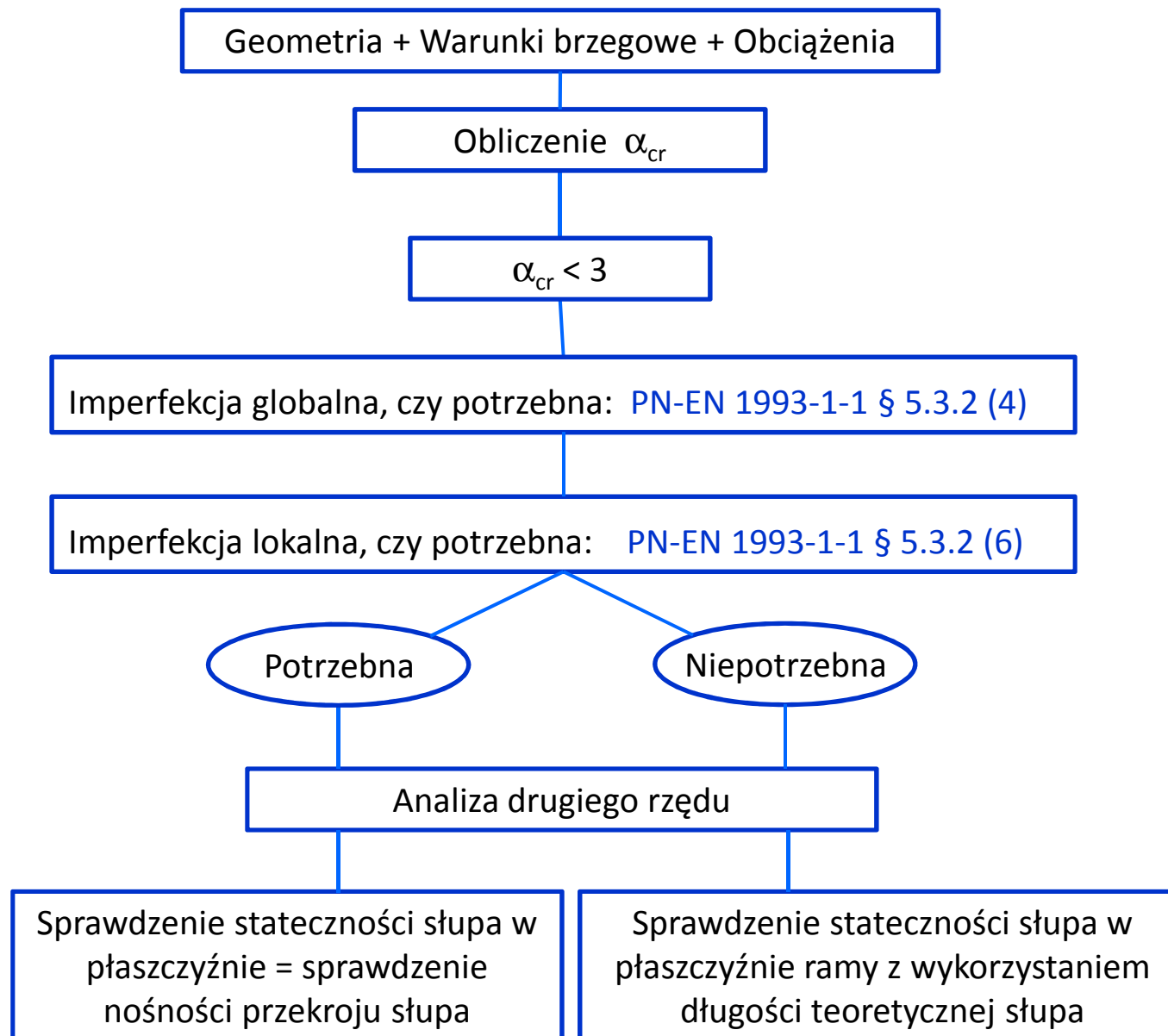
PROCEDURA PROJEKTOWANIA RAM PORTALOWYCH



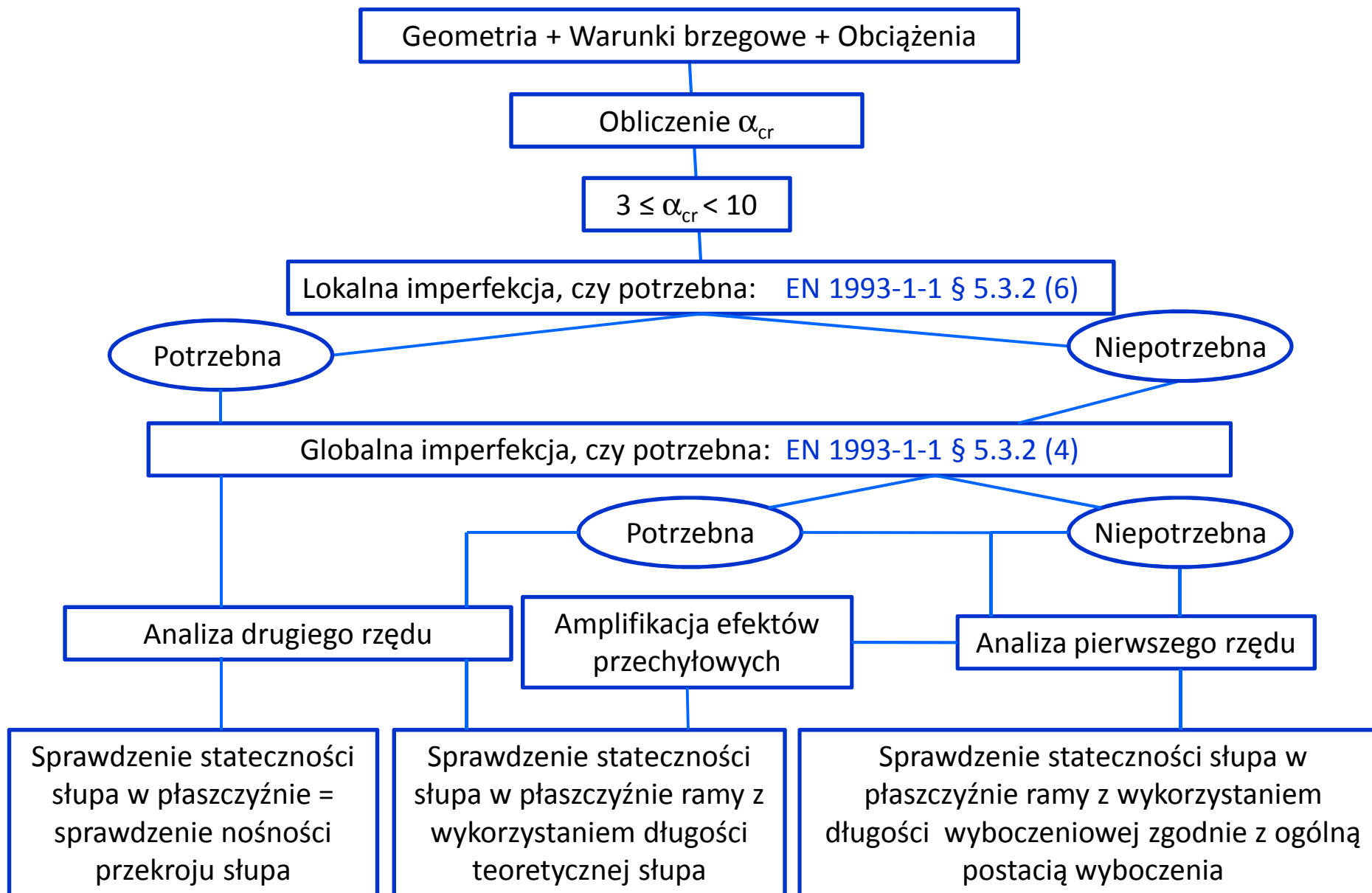
PROCEDURA PROJEKTOWANIA RAM PORTALOWYCH



PROCEDURA PROJEKTOWANIA RAM PORTALOWYCH



PROCEDURA PROJEKTOWANIA RAM PORTALOWYCH



STATECZNOŚĆ SŁUPÓW I RYGLI



Program
Uczenie się
przez całe życie

STATECZNOŚĆ SŁUPÓW I RYGLI

➤ Stateczność słupów i rygli

- ✓ Słupy i rygle są poddane obciążeniu sił podłużnych i momentów

→ Należy wykorzystać wzory interakcyjne [PN-EN 1993-1-1 § 6.3.3](#)

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

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

STATECZNOŚĆ SŁUPÓW I RYGLI

➤ Uproszczenia dla typowych ram

- ✓ Słupy i rygle nie są obciążone momentami z płaszczyzny ramy
- ✓ Słupy i rygle mają zwykle przekroje bisymetryczne

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

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

STĘŻENIA DACHOWE



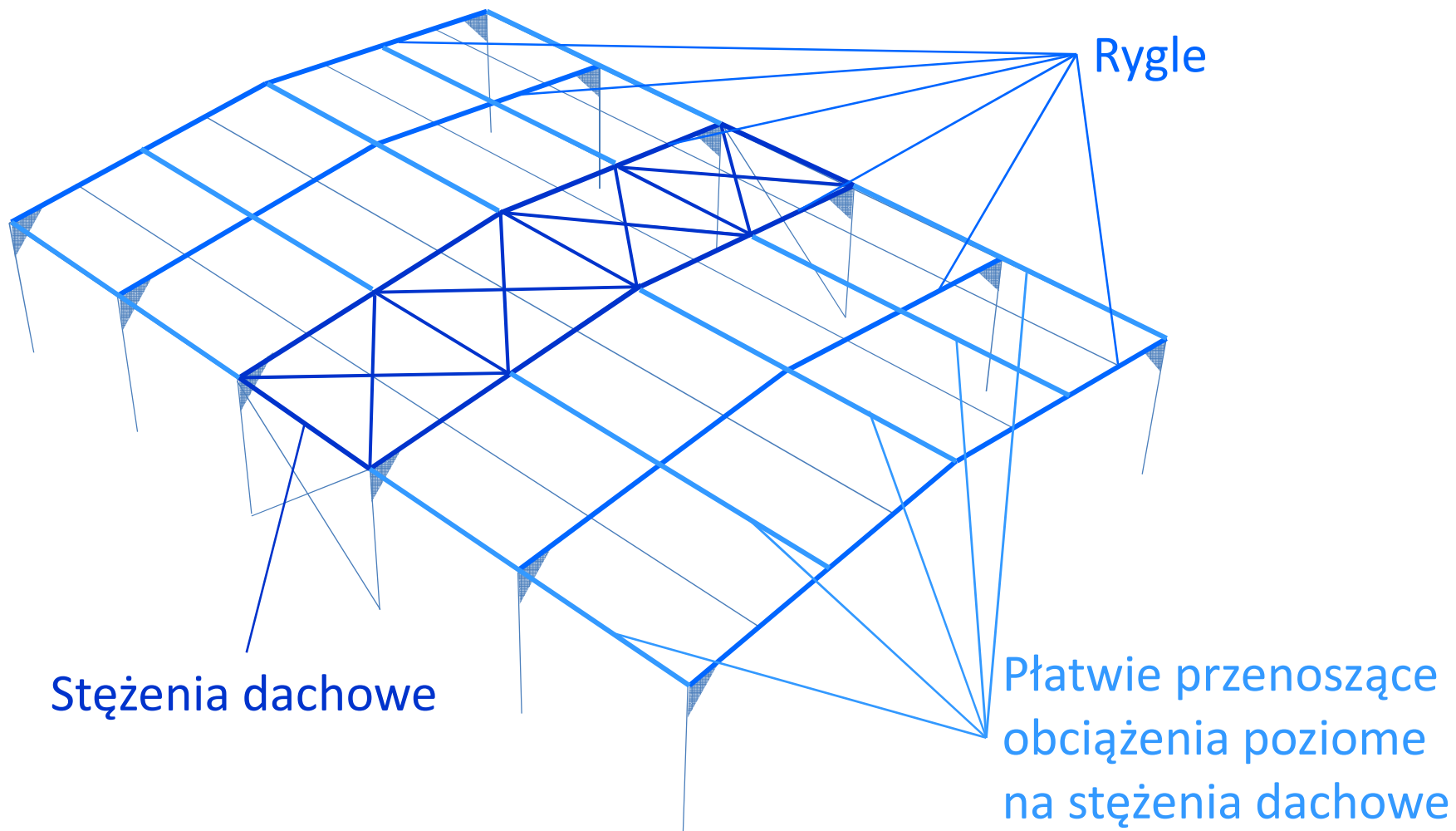
Program
Uczenie się
przez całe życie

STĘŻENIA DACHOWE



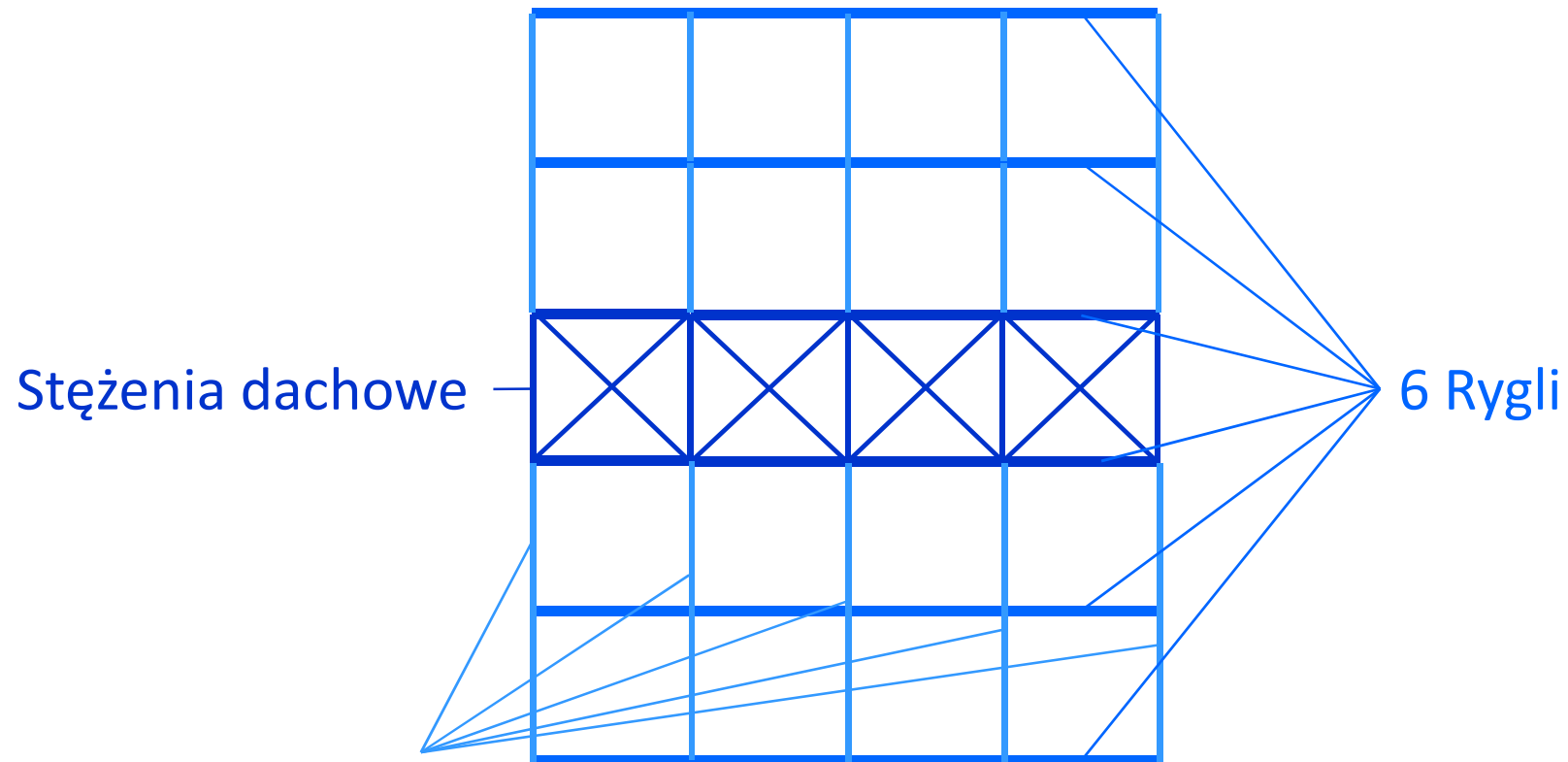
Photo APK

STĘŻENIA DACHOWE



STĘŻENIA DACHOWE

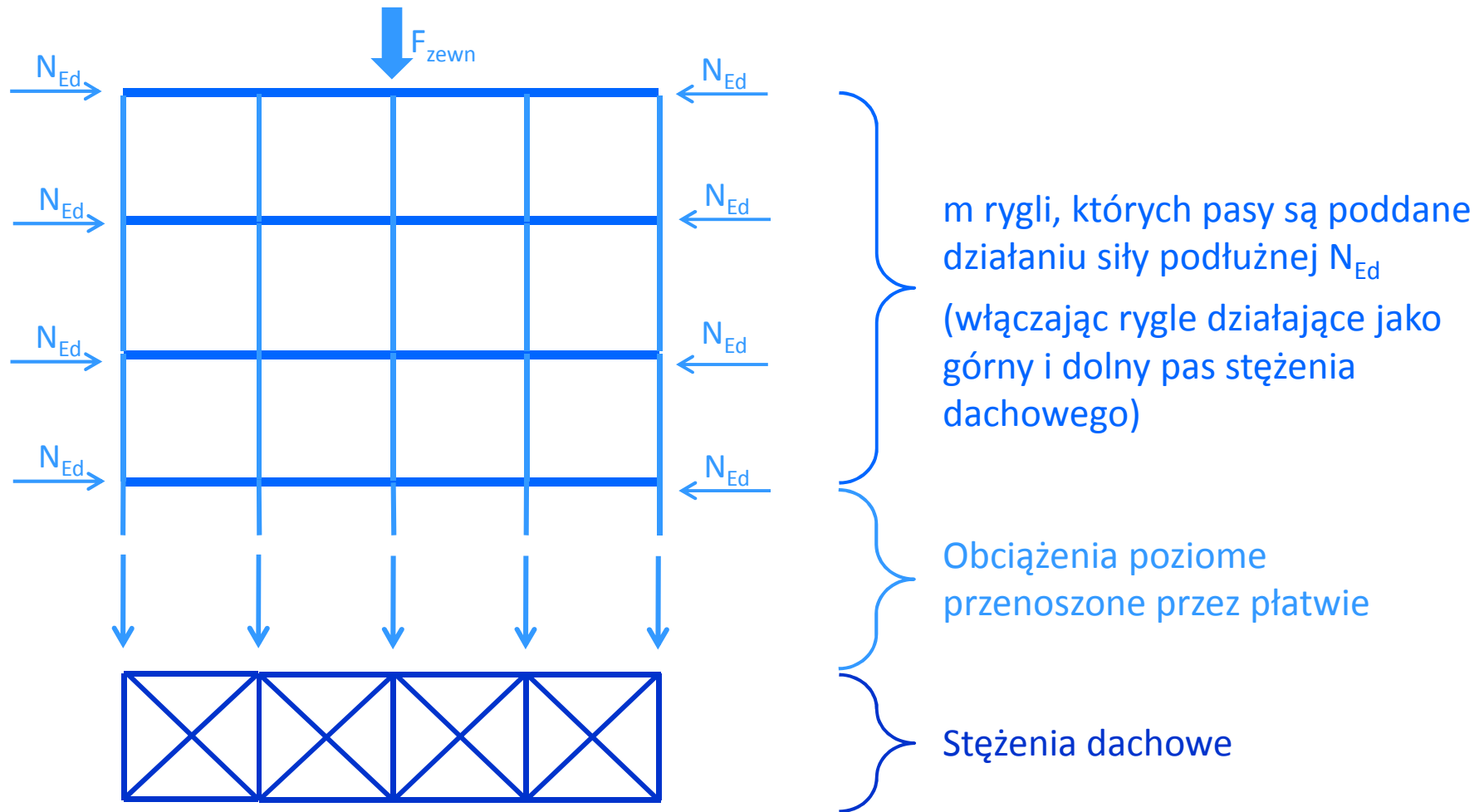
- Rzut dachu z układem stężeń



Płatwie przenoszące
obciążenia poziome na
stężenia dachowe

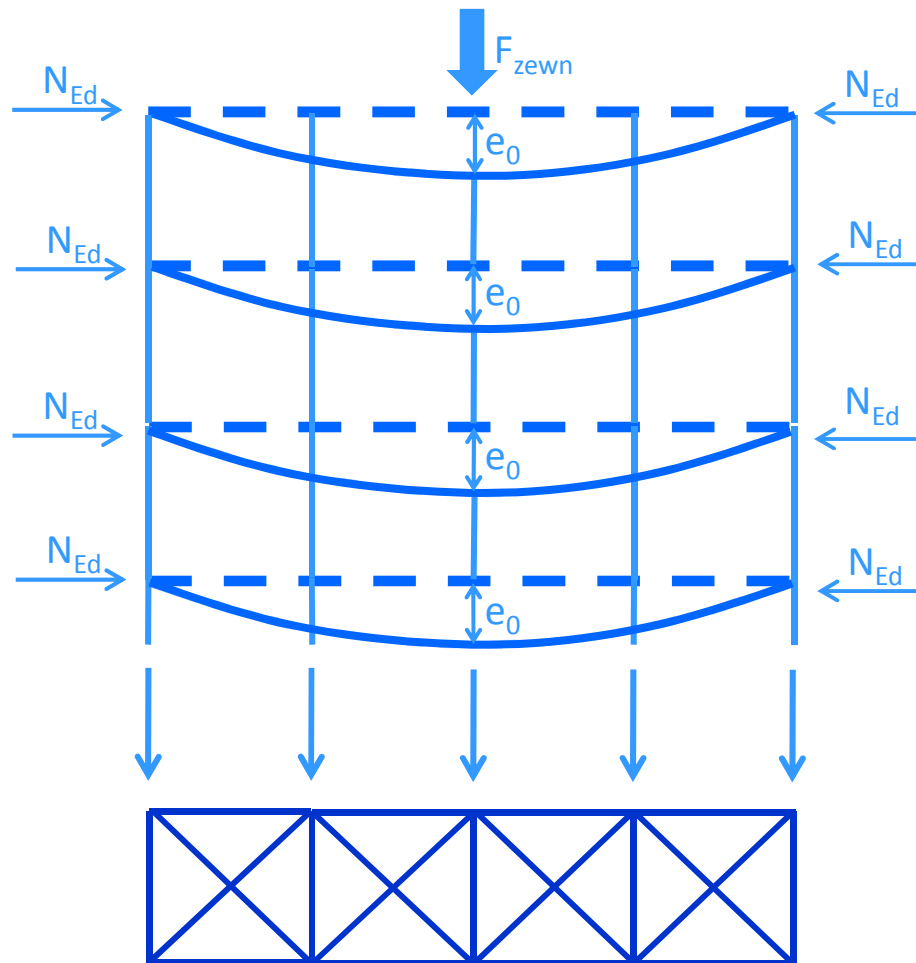
STĘŻENIA DACHOWE

➤ Idealizacja stężenia dachowego



STĘŻENIA DACHOWE

➤ Imperfekcja stężeń dachowych



PN-EN 1993-1-1 § 5.3.3

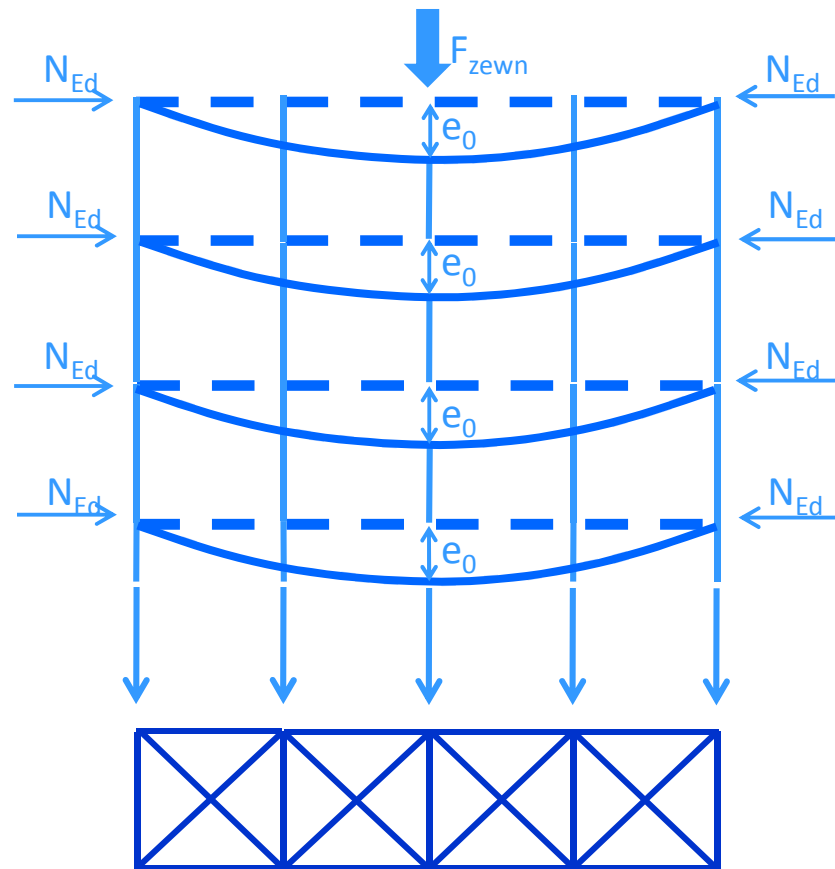
m rygli, których pasy są poddane działaniu siły podłużnej N_{Ed} oraz imperfekcji e_0

Siły poziome spowodowane imperfekcją e_0 oraz siłami N_{Ed} i F_{zewn}

Stężenia dachowe

STĘŻENIA DACHOWE

➤ Imperfekcja stężeń dachowych



$$N_{Ed} = \frac{M_{Rafter,Ed}}{h_{Section}} + \frac{A_{upFlange}}{A_{Section}} N_{Rafter,Ed}$$

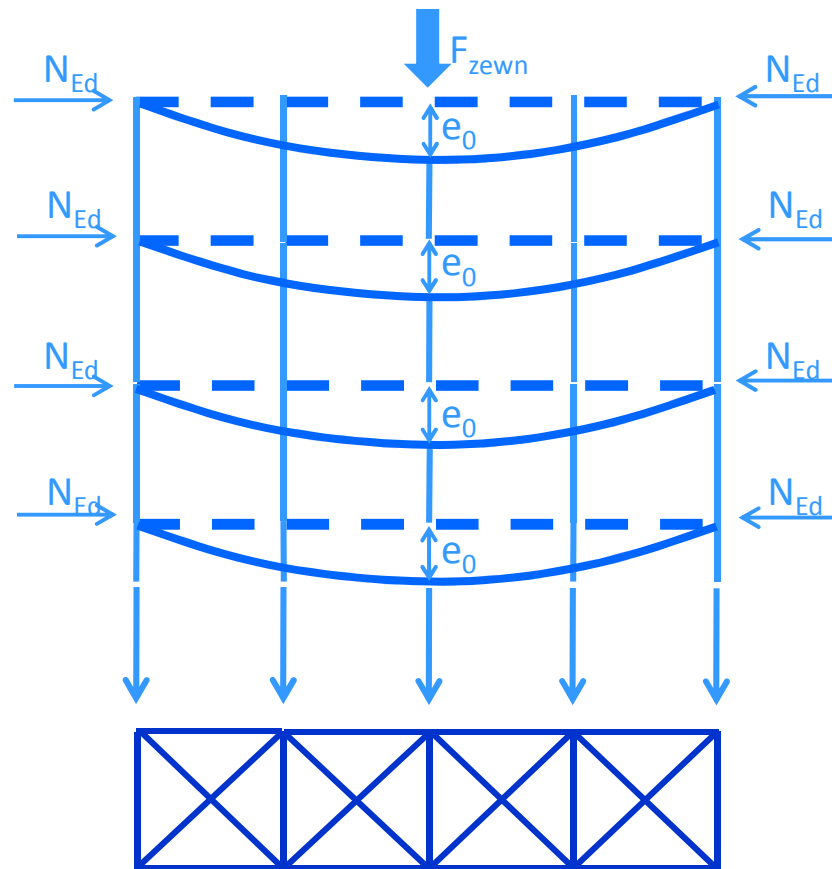
$$e_0 = \frac{\alpha_m L}{500} \quad \alpha_m = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{m} \right)}$$

Siły poziome spowodowane
imperfekcją e_0 oraz siłami
 N_{Ed} i F_{zewn}

Stężenia dachowe

STĘŻENIA DACHOWE

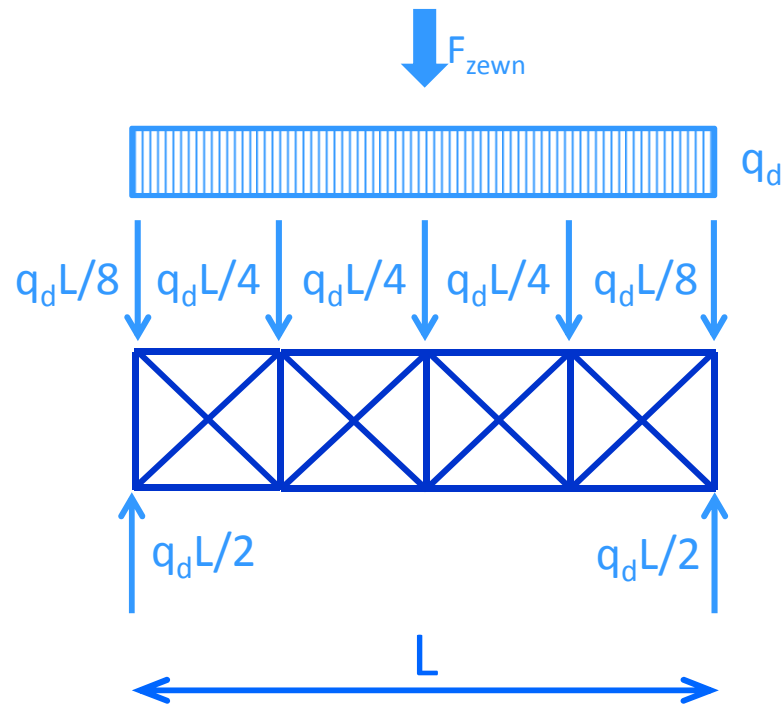
➤ Obliczenia stężeń dachowych



- ✓ Zastosuj imperfekcję geometryczną i analizę drugiego rzędu
- ✓ Zastosuj siły równoważne i analizę pierwszego rzędu

STĘŻENIA DACHOWE

➤ Koncepcja obciążenia równoważnego



$$q_d = \sum N_{Ed} \delta \frac{e_0 + \delta_g}{L^2}$$

δ_g – ugięcie stężenia dachowego spowodowane obciążeniem zewnętrznym F_{zewn} i obciążeniem równoważnym q_d

→ iteracyjne obliczenie q_d

→ 1 lub 2 iteracje są wystarczające

STĘŻENIA ŚCIENNE



Program
Uczenie się
przez całe życie

STĘŻENIA ŚCIENNE



Photo APK

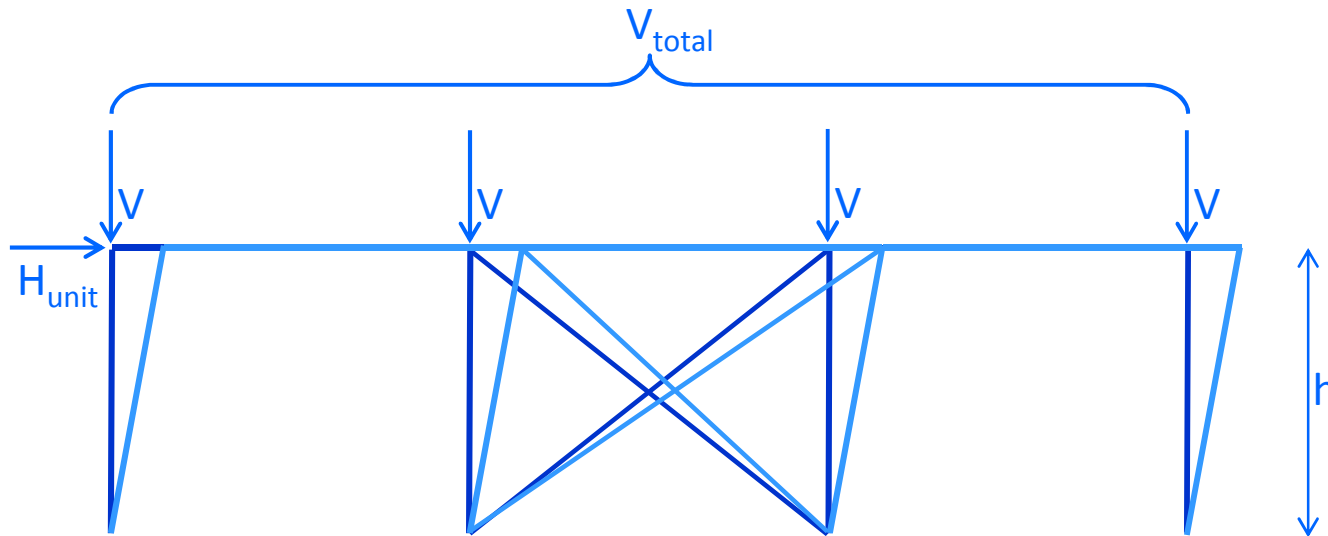
STĘŻENIA ŚCIENNE

➤ Procedura projektowa

- ✓ Obliczenie α_{cr}
 - teoria pierwszego lub drugiego rzędu
- ✓ Określenie obciążenia poziomego
 - Wiatr
 - Obciążenie spowodowane imperfekcją globalną, o ile jest wymagane
- ✓ Obliczenie sił wewnętrznych i momentów
- ✓ Weryfikacja stateczności w płaszczyźnie stężenia
- ✓ Weryfikacja stateczności z płaszczyzny stężenia

STĘŻENIA ŚCIENNE

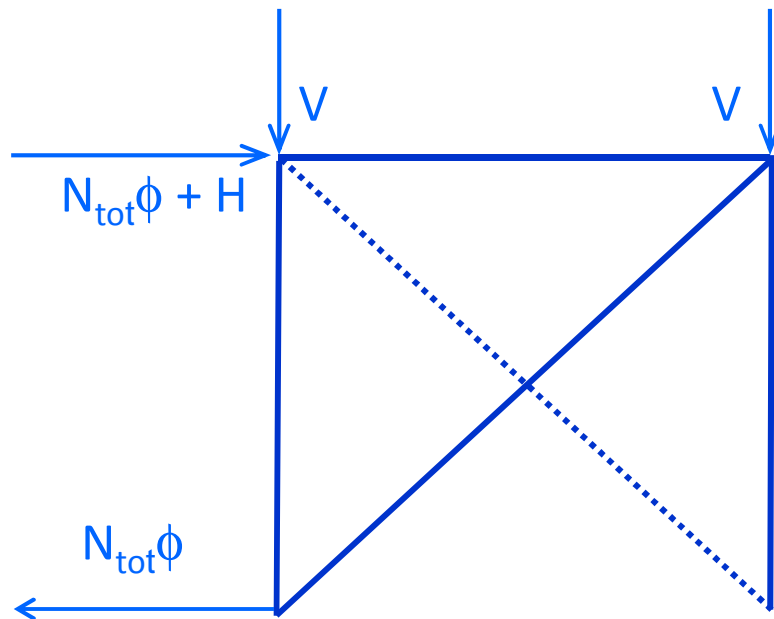
- Obliczenie α_{cr} dla stężeń ściennych



$$\alpha_{cr} = \left(\frac{H_{unit}}{V_{total}} \right) \left(\frac{h}{\delta_{mean}} \right)$$

STĘŻENIA ŚCIENNE

- Obciążenie w płaszczyźnie stężenia ściennego



N_{tot} : Suma sił podłużnych wszystkich słupów stabilizowanych stężeniem

H : Poziome obciążenie zewnętrzne

V : Siły pionowe na słupy

ϕ : Imperfekcja przechyłowa

PODSUMOWANIE



Program
Uczenie się
przez całe życie

PODSUMOWANIE

- **Ogólnie rzecz biorąc, efekty drugiego rzędu i imperfekcje powinny być uwzględniane w projektowaniu ram portalowych. Aczkolwiek według Załącznika krajowego do PN-EN 1993-1-1 w przypadku jednokondygnacyjnych układów przechyłowych dopuszcza się również stosowanie analizy pierwszego rzędu bez uwzględniania imperfekcji.**
- **W zależności od wartości α_{cr} mogą być przyjęte różne metody obliczeniowe.**
- **W ramach portalowych, wygodne jest uwzględnienie imperfekcji globalnych i globalnych efektów drugorzędnych w analizie globalnej.**

PODSUMOWANIE

- **Lokalne efekty drugiego rzędu są zazwyczaj uwzględniane we wzorach weryfikujących nośność elementów konstrukcyjnych wg PN-EN 1993-1-1 §6.3.**
- **Fizyczne imperfekcje są zastępowane przez zastępcze imperfekcje geometryczne lub obciążenie równoważne.**
- **Systemy stężeń są poddane działaniu zewnętrznych sił poziomych i obciążeń wynikających z ich funkcji jako elementów stabilizujących układ konstrukcyjny.**



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.

