

ROCODES



Zmiany w Eurokodzie 2: Co Musisz Wiedzieć?

III. Analiza konstrukcji





SERIA



CZĘŚĆ

Wprowadzenie

Ten materiał to skrót informacji z serii tworzonej przez StruSoft Polska. W tej części skupiam się na zmianach w **analizie konstrukcji** i porównuję w tym kontekście Eurokod 2 w wersji **PN-EN 1992-1-1:2008** z **PN-EN 1992-1-1:2024-05**. Dla uproszczenia przyjęto oznaczenia odpowiednio Eurokod 2 **[G1]** i **[G2]** od generacji 1 i generacji 2.

Część materiałów graficznych użyta na licencji CC BY 4.0 (© European Union, 2021).

Część grafik wygenerowana przez AI.

Uwaga - część informacji oraz autorskich tłumaczeń może ulec zmianie po wydaniu **polskiego załącznika krajowego** do normy.

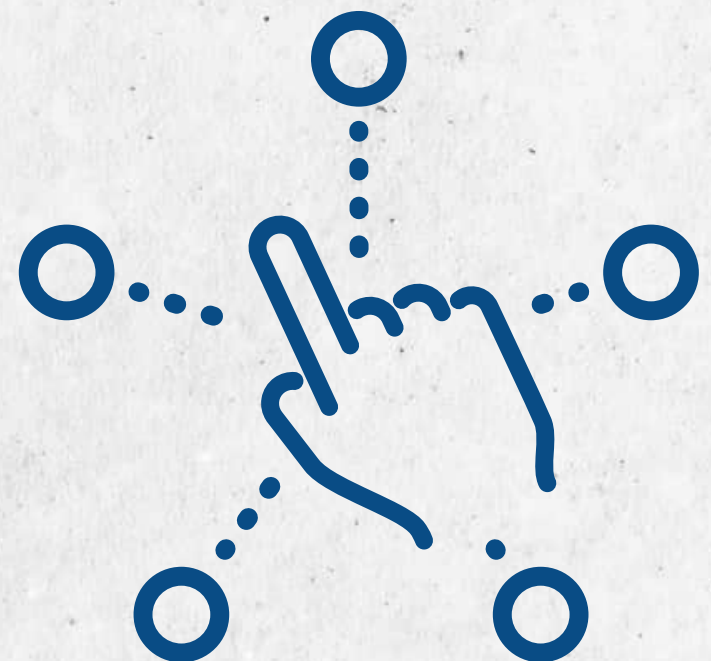
TWÓRCY

STRONA



Wybrane zmiany w ogólnej analizie konstrukcji żelbetowych:

- Odkształcenia wymuszone i skrępowane
- Spójny model obliczeniowy
- Imperfekcje geometryczne
- Idealizacja konstrukcji
- Definicje elementów konstrukcyjnych
- Belki typu T
- Rozpiętość efektywna
- Moment do obliczeń
- Metody analizy



O

- Brak możliwości automatycznego pominięcia wpływów reologicznych/termicznych wyłącznie na podstawie geometrycznych limitów rozstawu dylatacji (odejście od podejścia tabelarycznego na rzecz analitycznego).
- Usunięcie zapisu o pominięciu wpływu temperatury i skurczu w globalnej analizie konstrukcji. Tabela z odległościami między dylatacjami.

[G1] 2.3.3 (3) i NA.1

Tablica NA.1 – Maksymalne odległości pomiędzy przerwami dylatacyjnymi

Rodzaj konstrukcji	Odległość między dylatacjami d_{jont} w metrach
Konstrukcje poddane wahaniom temperatury zewnętrznej	
a) ściany niezbrojone	5
b) ściany zbrojone	20
c) żelbetowe konstrukcje szkieletowe	30
d) dachy nieocieplane, gzymsy	20

O

- Efekty te powinny zostać uwzględnione w stanie granicznym użytkowania i analizie zmęczeniowej. [G2] 4.1.3 (1)
- Efekty te mogą być pominięte w stanie granicznym nośności, jeśli jest zapewniona wystarczająca zdolność do przemieszczeń oraz zachowanie konstrukcji nie jest wrażliwe na efekty 2. rzędu spowodowane dużymi przemieszczeniami. [G2] 4.1.3 (2)

O

- Szczegółowa analiza została zawarta w załączniku D: Ocena wczesnego i długotrwałego zarysowania spowodowanego skrępowaniem ze szczególnym uwzględnieniem rys przelotowych.

[G2] 4.1.3 (3) i Zał. D

wiele formuł ...

$$R_{cr}(t) < R_{ea,cr}$$

$$R_{cr}(t) = \frac{\sigma_{ct}(t)}{0,8f_{ct,eff}(t)}$$

$$\begin{aligned} \sigma_1 = & R_{ax,1} \frac{E_{c,28}}{1 + \chi\varphi(t,t_2)} (k_{Temp} \alpha_{cth} (T_{c,max} - T_0) + [\varepsilon_{cbs}(t) - \varepsilon_{cbs}(t_2)]) \\ & + R_{ax,2} E_{c,28} \alpha_{cth} \Delta T_{min} \\ & + R_{ax,3} \frac{E_{c,28}}{1 + \chi\varphi(t,t_s)} \cdot [\varepsilon_{cds}(t) - \varepsilon_{cds}(t_2)] \end{aligned}$$

$$\beta_{cc}(t) = \exp \left[s_c \left(1 - \sqrt{\frac{t_{ref} - t_{dor}}{t_T - t_{dor}}} \right) \cdot \sqrt{\frac{28 - t_{dor}}{t_{ref} - t_{dor}}} \right]$$

...

Analiza konstrukcji:

- Uporządkowanie struktury rozdziału 7:
Analiza konstrukcji (dawny rozdział 5). [G2] 7.1
- Wyraźny podział na:
 - Idealizację konstrukcji i geometrii,
czyli modelowanie konstrukcji: [G2] 7.2
 - imperfekcje geometryczne [G2] 7.2.1
 - idealizacja konstrukcji [G2] 7.2.2
 - dane geometryczne [G2] 7.2.3
 - Idealizację zachowania
(odpowiedzi) konstrukcji,
czyli metody analizy: [G2] 7.3
 - analiza sprężysta [G2] 7.3.1
 - analiza sprężysta z redystrybucją [G2] 7.3.2
 - analiza plastyczna wraz z modelami
strut-and-tie oraz polami naprężeń [G2] 7.3.3
 - analiza nieliniowa [G2] 7.3.4

Analiza konstrukcji - wpływ ścinania:

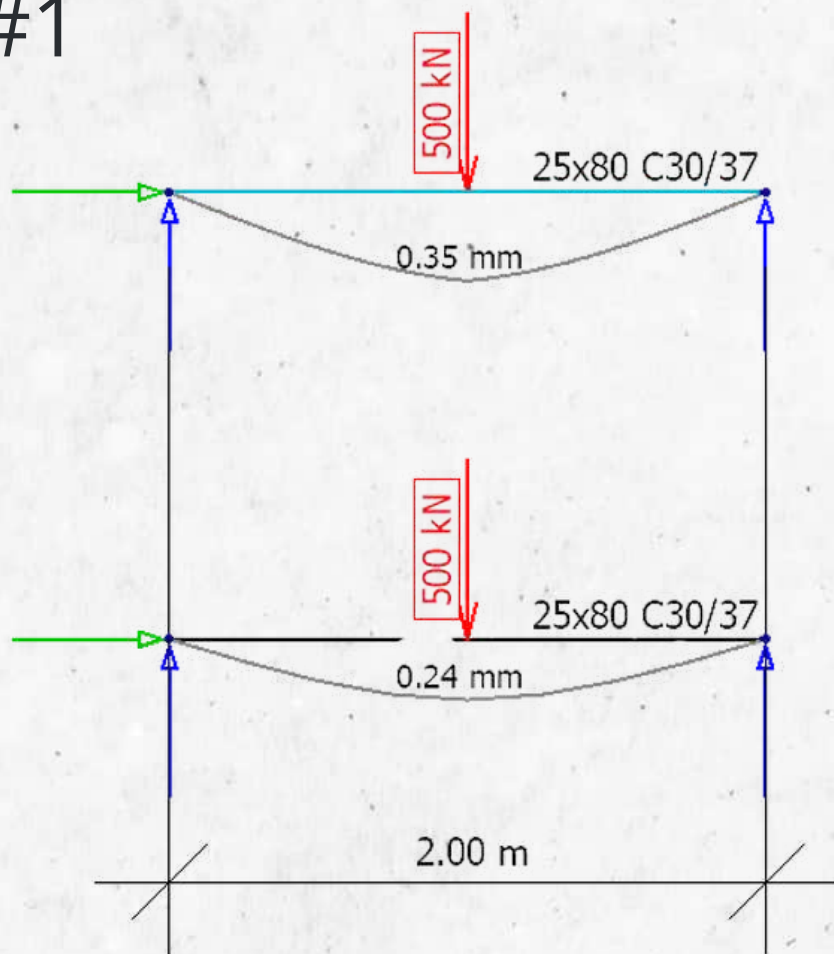
- Usunięcie zapisu: W projektach budynków można pominąć wpływ ścinania i sił podłużnych na odkształcenia elementów prętowych, jeśli przewiduje się, że wartości wywołanych przez nie efektów będą mniejsze niż 10% odpowiednich wartości wywołanych przez zginanie.

[G1] 5.1.1 (7)

- Część oprogramowania i tak używa elementów typu belka Timoshenko uwzględniających wpływ ścinania (ale nie wszystkie). Obliczenia ręczne (szczególnie elementów krępych) mogą nie być poprawne.

PRZYKŁADY >>

#1

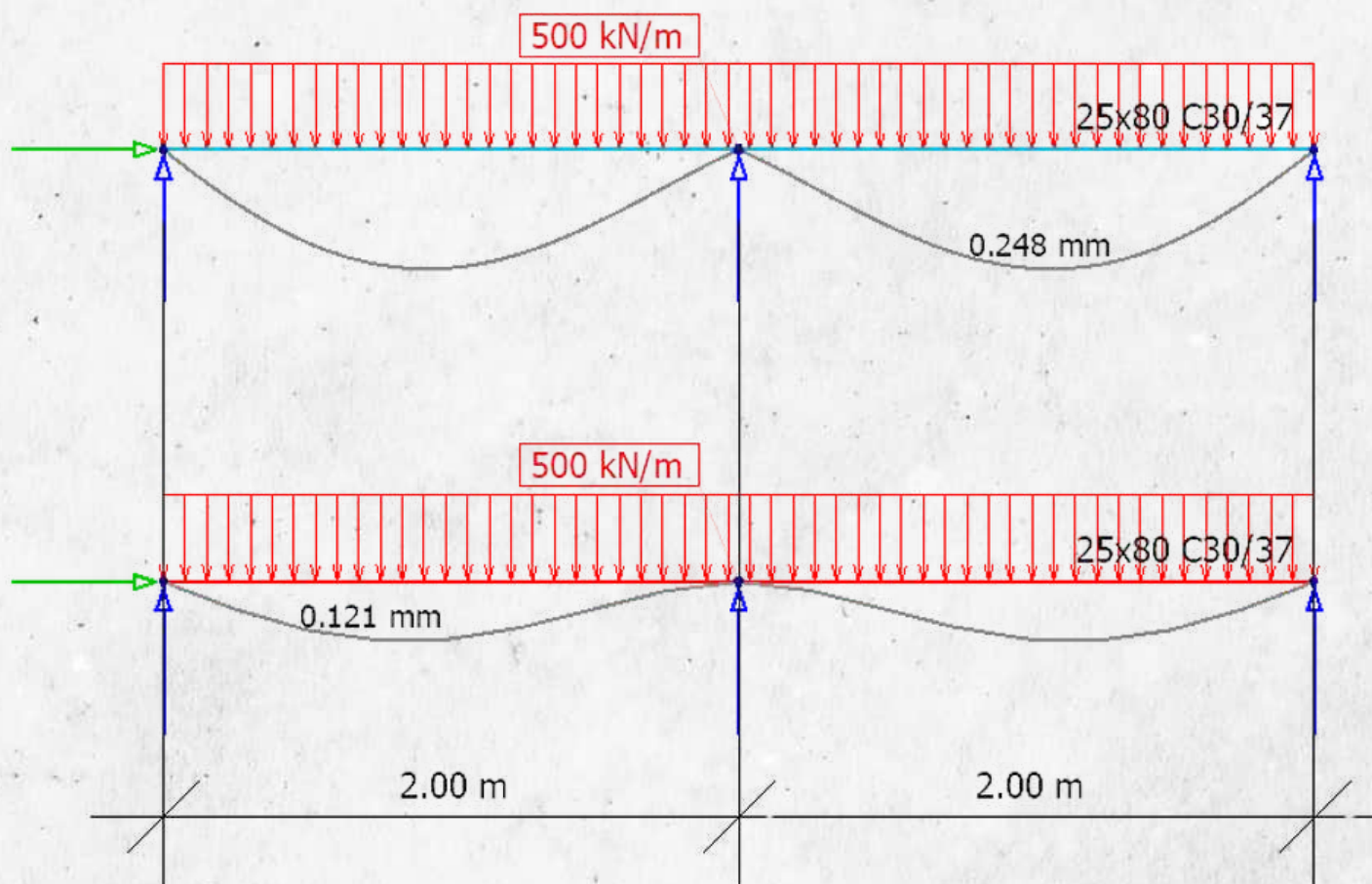


BELKA TIMOSHENKO
z wpływem ścinania

BELKA BERNOULIEGO
bez wpływu ścinania

wpływ ścinania ~46% efektu zginania

#2



BELKA TIMOSHENKO
z wpływem ścinania

BELKA BERNOULIEGO
bez wpływu ścinania

wpływ ścinania ~105%
efektu zginania

Analiza konstrukcji - spójny model:

- Dodano istotny zapis
(z praktycznego punktu widzenia): [G2] 7.1 (6)

Analizę statyczną należy przeprowadzić **w sposób spójny** z projektowaniem. Dana sztywność (np. na skręcanie) lub więzy w podporach (np. sztywne zamocowanie momentowe) mogą zostać w analizie **zredukowane lub pominięte**, zarówno w stanach granicznych nośności (SGN), jak i użytkowości (SGU), pod warunkiem że element **zostanie zaprojektowany spójnie z tymi założeniami**, a wymagania dotyczące zbrojenia minimalnego na zarysowanie i uciąglenie konstrukcji zostaną spełnione.

“Konstrukcja znajdzie swój schemat statyczny”

Pozwala to na pominięcie pewnych sztywności (np. sztywność skrętną belki krawędziowej albo pełne utwierdzenie w słupie)

PRZYKŁAD >>

Analiza konstrukcji - spójny model:

PRZYKŁAD: ta sama żelbetowa belka dwuprzęsłowa
+ to samo obciążenie + inne zbrojenie ...

2#16 **10#16** **2#16**

4#12

4#12

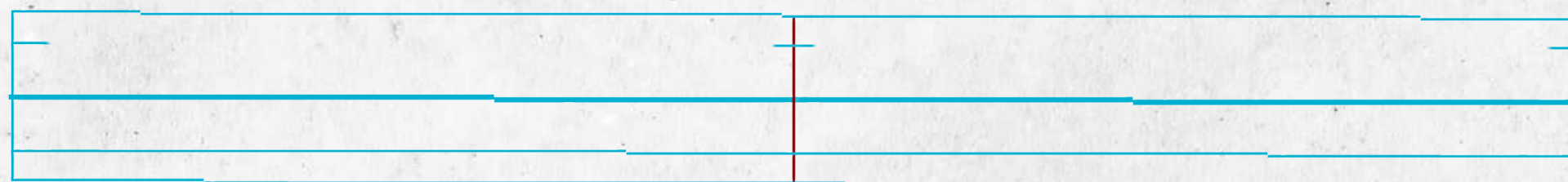
2#12

2#12

2#12

4#12

4#12

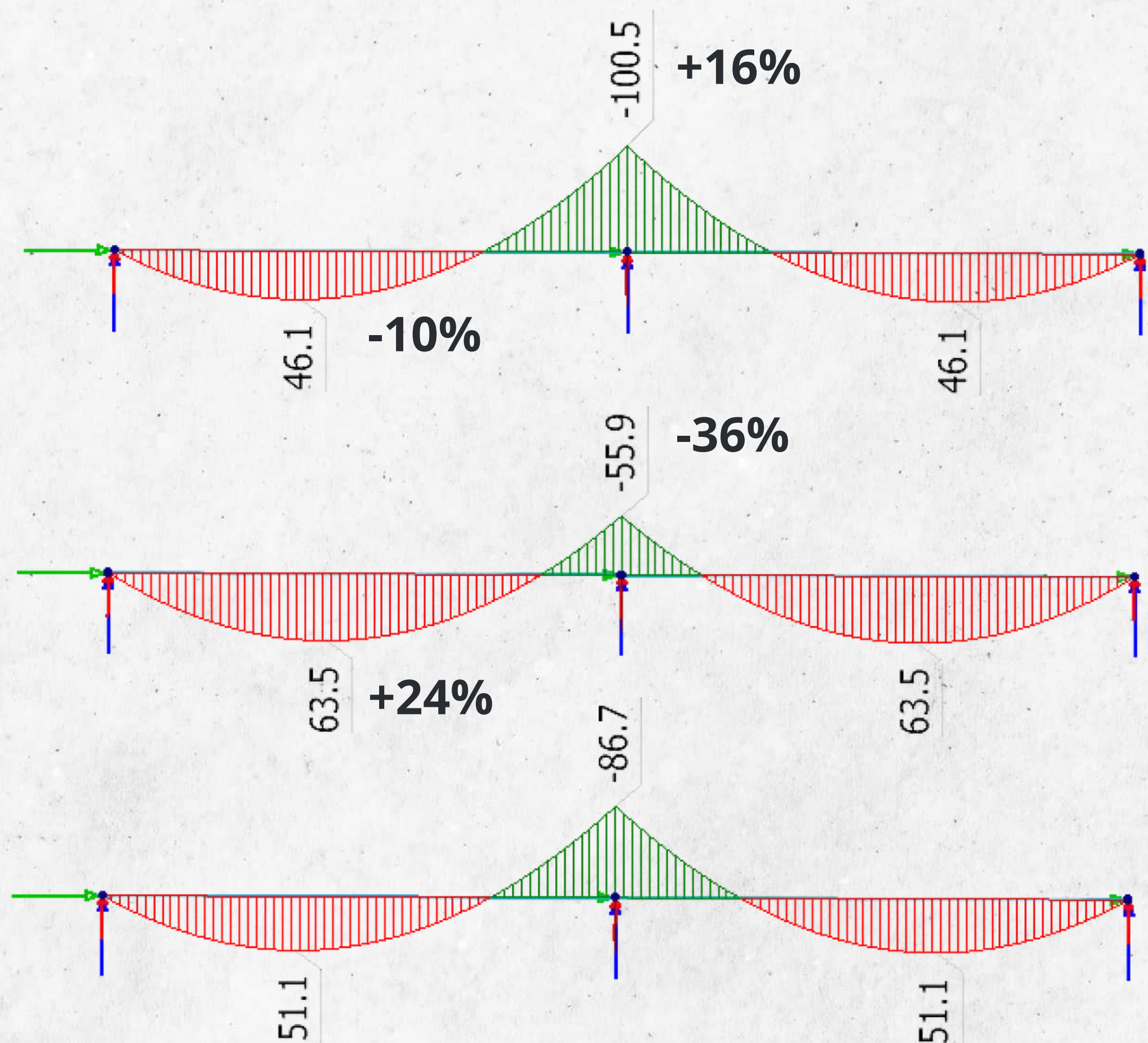


brak zbrojenia

Analiza konstrukcji - spójny model:

PRZYKŁAD: ta sama belka żelbetowa + to samo obciążenie + inne zbrojenie ...

... + analiza przekroju zarysowanego
= INNE SIŁY WEWNĘTRZNE



Imperfekcje geometryczne:

- Ujednolicenie zasad między Eurokodami
- Maksymalne odchyłki od geometrii teoretycznej mogą zostać określone przez właściwy organ lub uzgodnione dla konkretnego projektu. [G2] 7.2.1.1 (3)
- Jeżeli wymagania dla projektu definiują ściśle maksymalne odchyłki (np. podczas oceny istniejącej konstrukcji), to wpływ imperfekcji należy przyjmować na podstawie tych maksymalnych odchyłek, pomnożonych przez 1,2. [G2] 7.2.1.1 (3)
[G2] 7.2.1.2 (1)

Imperfekcje geometryczne:

- Imperfekcje reprezentowane przez kąt pochylenia

Usunięcie definicji **wartości bazowej** θ_0 i uniezależnienie od załącznika krajowego tj. zawsze 1/200

Zmiana minimalnego **współczynnika redukcyjnego** długości lub wysokości α_h z 2/3 do 0,4

[G1] 5.2 (5)

$$\Theta_i = \Theta_0 \times \alpha_h \times \alpha_m$$

$$\frac{2}{3} \leq \alpha_h = \frac{2}{\sqrt{l}} \leq 1$$

[G2] 7.2.1.2 (2)

$$\Theta_i = \alpha_h \times \alpha_m \times \frac{1}{200}$$

$$0,4 \leq \alpha_h = \frac{2}{\sqrt{l}} \leq 1,0$$

Skutkuje to zmniejszeniem imperfekcji przechyłowych dla konstrukcji >9m o nawet 40% (dla konstrukcji powyżej 25m).

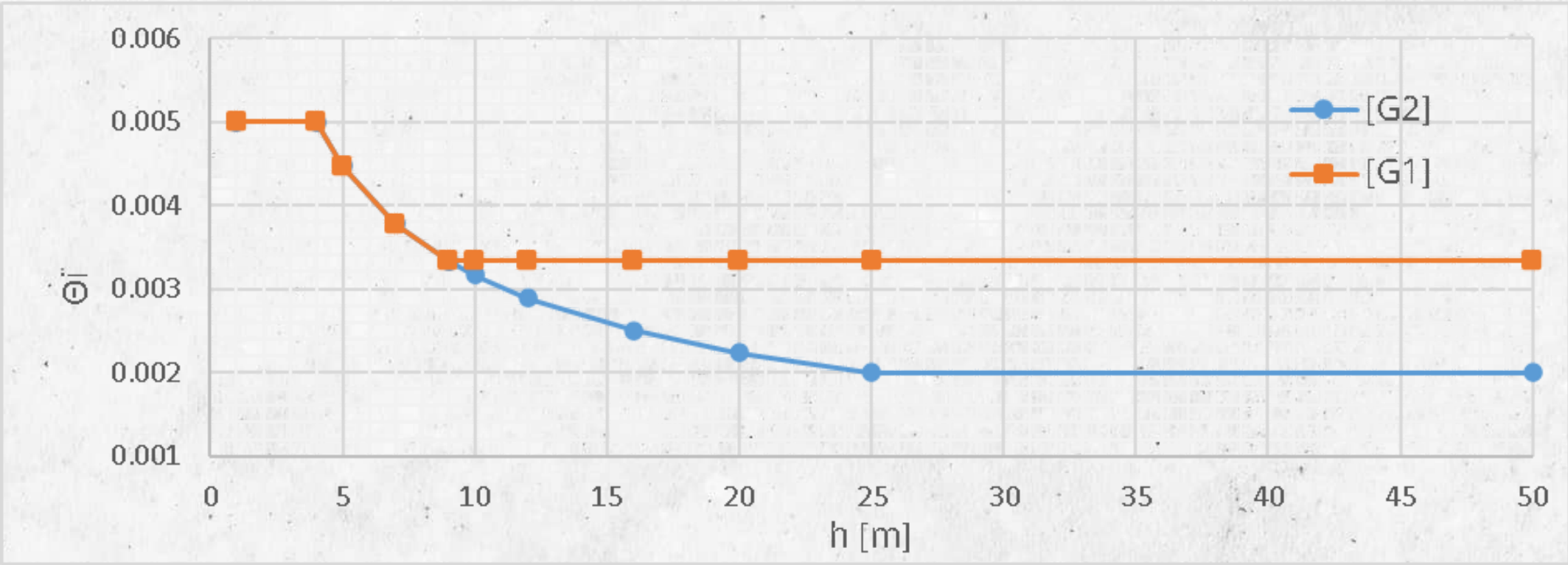
PODSUMOWANIE W TABELI >

Imperfekcje geometryczne:

Kąt pochylenia dla imperfekcji globalnych i porównanie [G1] do [G2]

Opracowanie własne

$l / h \text{ (m)}$	1	4	5	7	9	10	12	16	20	25	50
θ_0	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
$\alpha_h \text{ [G1]}$	1.00	1.00	0.89	0.76	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
$\alpha_h \text{ [G2]}$	1.00	1.00	0.89	0.76	0.67	0.63	0.58	0.50	0.45	0.40	0.40
α_m	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$\theta_i \text{ [G1]}$	0.0050	0.0050	0.0045	0.0038	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033
$\theta_i \text{ [G2]}$	0.0050	0.0050	0.0045	0.0038	0.0033	0.0032	0.0029	0.0025	0.0022	0.0020	0.0020
[G2] do [G1]	0%	0%	0%	0%	0%	-5%	-13%	-25%	-33%	-40%	-40%



Imperfekcje geometryczne:

- Dodano zapis o imperfekcji bazującej na formie wyboczenia

[G2] 7.2.1.2 (4)

Alternatywnie (np. w przypadku łuków) imperfekcja geometrii konstrukcji może być określona na podstawie decydującej postaci wyboczenia. Każdą postać wyboczenia można zidealizować profilem sinusoidy.

Amplitudę należy przyjąć jako:

$$\alpha_i = \Theta_i \times l_{aw} \times 0,5$$

gdzie długość l_{aw} jest równa połowie długości fali z postaci wyboczeniowej odpowiadającej najniższemu obciążeniu krytycznemu.

Jest to analogiczna metoda, która funkcjonowała już w konstrukcjach stalowych w 1. generacji Eurokodu 3.

Metoda jest szczególnie użyteczna dla ram z określonym kształtem wyboczenia. Dla konstrukcji złożonych, nieregularnych lub o wielu różnych stanach obciążenia jej stosowanie może być utrudnione.

Imperfekcje geometryczne:

- Zmiany w sposobie uwzględniania imperfekcji dla elementów
 - W [G1] w punkcie dotyczącym sposobu uwzględniania imperfekcji odwoływano się do wydzielonych elementów i [G1] 5.8.1. [G1] 5.2 (7)
 - W [G2] “wydzielone” zamieniono na **“indywidualne”** i nie ma tu odniesienia. [G2] 7.2.1.2 (5)
- Definicja elementów wydzielonych w [G1]:
elementy, które rzeczywiście są oddzielone od pozostałych elementów konstrukcji lub elementy konstrukcji, które w obliczeniach można traktować jako oddzielone; ... [G1] 5.8.1
- Definicja elementów wydzielonych w [G2]:
element, dla którego nie jest możliwa redystrybucja obciążenia na sąsiednie elementy. [G2] 3.1.41

Położono tu aspekt na statyczne odizolowanie a nie na separację geometryczną (np. słup pojedynczy, belka bez alternatywnej ścieżki). To wymaga oceny inżynierskiej w każdym projekcie.

Imperfekcje geometryczne:

- Zmiany w sposobie uwzględniania imperfekcji dla elementów

- Sposób 2 tj. Imperfekcje jako zastępcza siła
- Zmianie uległy oznaczenia sił:

	[G2] 7.2.1.2 (5) b)	[G1] 5.2 (7) b)
elementy nieusztywnione	$F_{H,i} = \Theta_i \times F_{V,i}$	$H_i = \Theta_i \times N$
elementy usztywnione	$F_{H,i} = 2 \times \Theta_i \times F_{V,i}$	$H_i = 2 \times \Theta_i \times N$

$F_{H,i}$ - fikcyjna siła poprzeczna

$F_{V,i}$ - siła pionowa

H_i - siła poprzeczna

N - siła podłużna

- Dodano: dla ścian i indywidualnych słupów jako uproszczenie można zawsze stosować maksymalną wartość, czyli $\theta_i = 1/200$, co odpowiada $\alpha_h = 1$
- Dodano wyraźny zapis, że siła $F_{H,i}$ jest fikcyjna i nie powinna być dodawana do innych sił ani przenoszona na inne elementy.

Imperfekcje geometryczne:

- Zmiany w sposobie uwzględniania imperfekcji dla konstrukcji
 - Efekt kąta pochylenia na całe konstrukcje może być - podobnie jak poprzednio - analizowany wraz z innymi oddziaływaniami.

[G1] 5.2 (8)
[G2] 7.2.1.2 (6)
 - Uszczegółowiono jednak, że jeśli fundamenty są analizowane jako pełna przepona (sztywna membrana = elementy w płaszczyźnie pracują razem), nie powinno być przekazywania efektów tych zastępczych sił fikcyjnych na fundamenty - należy w poziomie fundamentów zastosować siły równe i o przeciwnym zwrocie do zastępczych sił fikcyjnych.
 - Niewielkiej zmianie uległy nazwy:
 - wpływ na system usztywniający - bez zmian,
 - wpływ na przeponę stropową > przeponę pośrednią,
 - wpływ na przeponę dachową > przeponę górną,
 - Zmiany oznaczeń sił we wzorach jak dla elementów indywidualnych.

Imperfekcje geometryczne:

- Zmiany w sposobie uwzględniania imperfekcji dla konstrukcji
 - Dodano: Całkowity wpływ imperfekcji geometrycznych można uwzględnić, projektując konstrukcję z uwzględnieniem równoważnych obciążeń poziomych działających w środku ciężkości poszczególnych przepon pośrednich. [G2] 7.2.1.2 (6)
 - W tym przypadku obciążenie zastępcze określa się zgodnie z [G2] wz. 7.8, zastępując ($N_b - N_a$) całkowitym obciążeniem pionowym działającym na właściwą przepone pośrednią (N_i).

$$F_{H,i} = \Theta_i \times (N_b - N_a) \quad \text{[G2] wz. 7.8}$$

w uproszczeniu ($\alpha_h = 1, \alpha_m = 1$):

$$F_{H,i} = 0.5\% \times N_i$$

- Przykład:

Strop o powierzchni 500 m^2 , obciążony całkowitym powierzchniowym obciążeniem 10 kPa da w uproszczeniu ($\theta_i = 1/200$) zastępcze fikcyjne obciążenie równoważne od imperfekcji przechyłowych równe 25 kN .

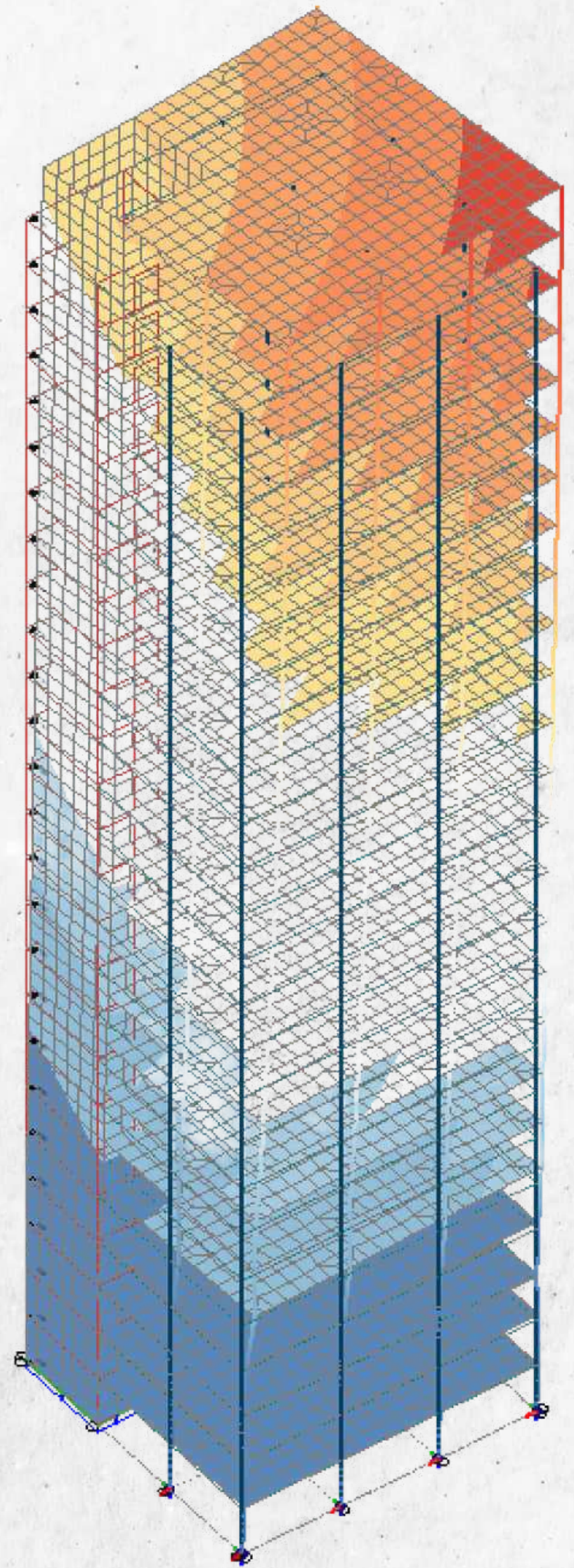
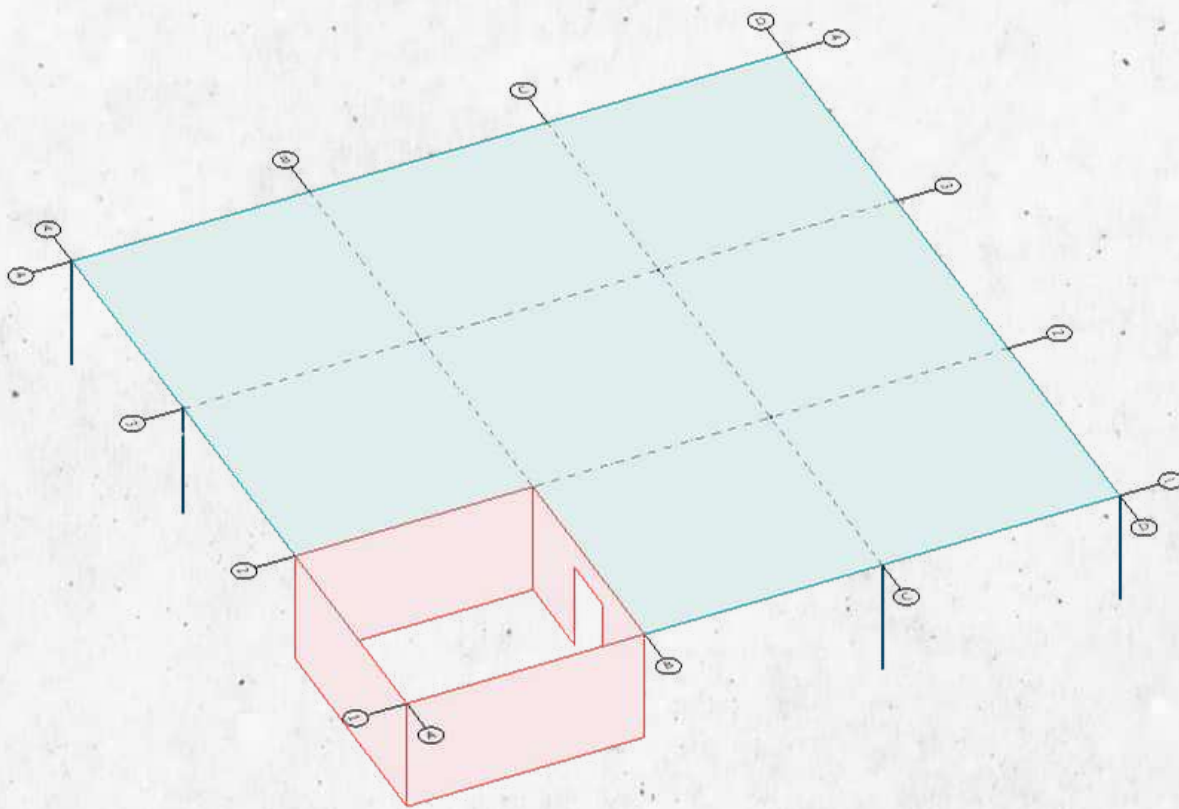
- Dodano: Konstrukcja powinna być idealizowana przez **odpowiednie modele** uwzględniające statyczne i geometryczne warunki brzegowe, a także przenoszenie reakcji podporowych.

[G2] 7.2.2 (1)

- Dodano: Znaczącą **asymetrię** w geometrii lub obciążeniu należy uwzględnić za pomocą modeli 3D lub dostosowanych modeli płaskich.

[G2] 7.2.2 (2)

- Znacząca asymetria?
- Odpowiedni model?



- Dodano: Interakcję gruntu z konstrukcją należy rozpatrywać w sposób właściwy i zgodny z [G2] 4.2.1.4. Należy uwzględnić nieliniowe zachowanie w interakcji grunt-konstrukcja.

[G2] 7.2.2 (3)

- Jeżeli interakcja między gruntem a konstrukcją **ma znaczący wpływ na efekty oddziaływania** w konstrukcji, właściwości gruntu i efekty interakcji należy uwzględnić zgodnie z EN 1997-1.

[G2] 4.2.1.4 (1)

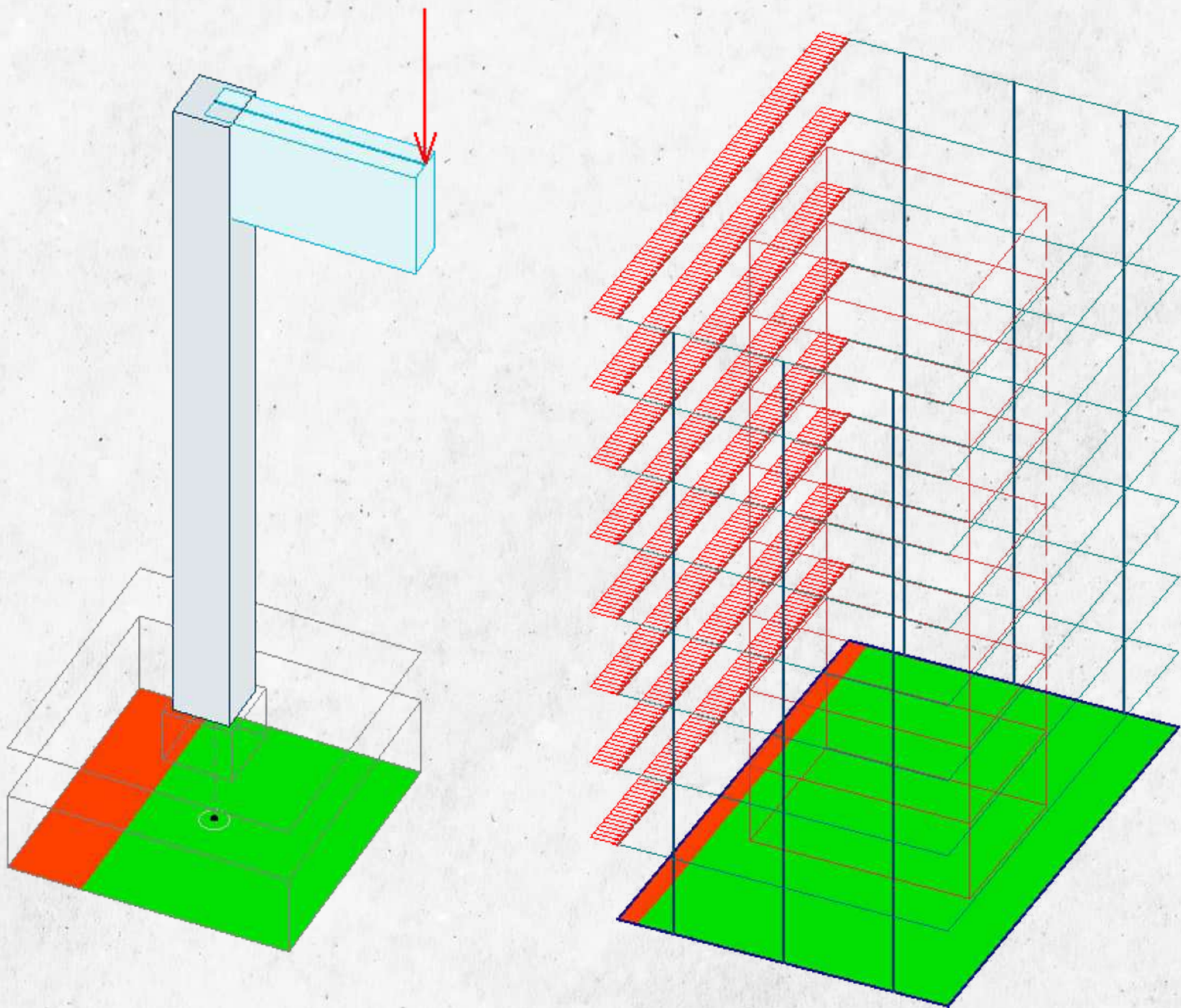
- Skutki nierównomiernych osiadań **na ogół** należy uwzględniać przy sprawdzaniu stanów granicznych użytkowości.

[G1] 2.3.1.3 (2)

- **W stanach granicznych nośności** skutki te należy uwzględniać tylko wtedy, **gdy są one istotne** (np. przy sprawdzaniu warunków ze względu na zmęczenie, przy sprawdzeniu stateczności, jeśli efekty drugiego rzędu mają istotne znaczenie itd.). W innych przypadkach można nie uwzględniać tych skutków pod warunkiem że ciągłość elementów i zdolności do obrotu (w ew. przegubach plastycznych) jest wystarczająca.

[G1] 2.3.1.3 (3)

- Nieliniowe zachowanie w interakcji grunt-konstrukcja to np. odrywanie między płytą fundamentową a podporą powierzchniową.



- Definicje elementów konstrukcyjnych

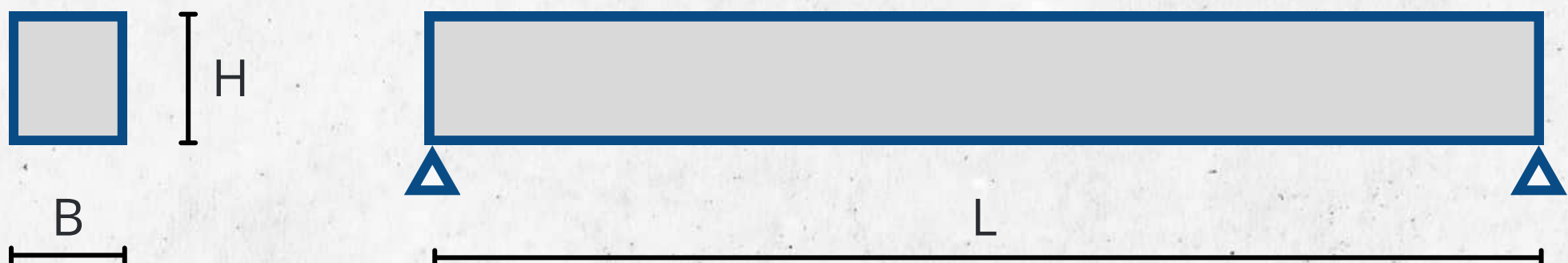
- BELKA**

liniowy element konstrukcyjny poddany głównie zginaniu i ścinaniu, którego szerokość przekroju poprzecznego nie przekracza 4-krotności wysokości przekroju (w przeciwnym razie należy go traktować jako płytę), a efektywna rozpiętość jest nie mniejsza niż 3-krotność wysokości przekroju.

[G2] 3.1.2

element, którego rozpiętość jest nie mniejsza niż trzykrotna wysokość przekroju

[G1] 5.3.1 (3)



$$B \leq 4 \times H$$

$$L \geq 3 \times H$$

$$L \geq 3 \times H$$

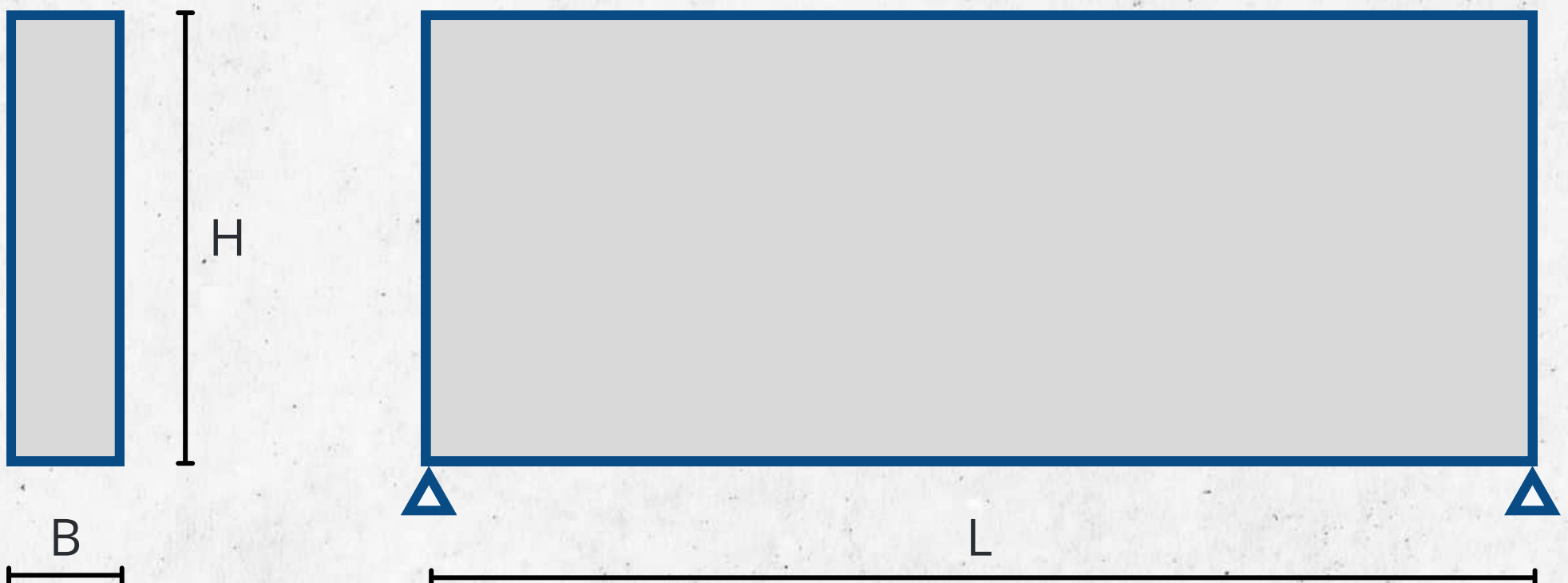
- Definicje elementów konstrukcyjnych

- BELKA - ŚCIANA**

belka dla której efektywna rozpiętość jest mniejsza niż trzykrotna wysokość przekroju

[G2] 3.1.21

[G1] 5.3.1 (3)



$$L < 3 \times H$$

$$L < 3 \times H$$

- Definicje elementów konstrukcyjnych

- PŁYTA**

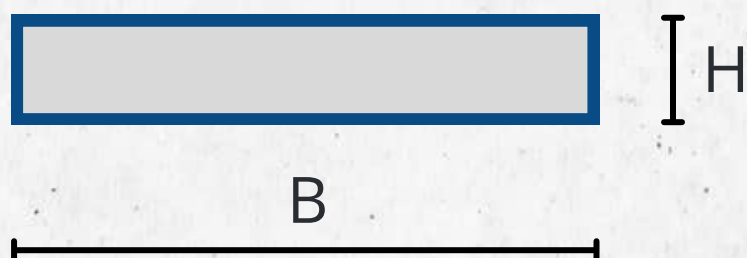
płaski element konstrukcyjny obciążony głównie prostopadle do swojej płaszczyzny, dla którego minimalny wymiar panelu jest nie mniejszy niż 4-krotność całkowitej grubości, ewentualnie działający również jako przepona

[G2] 3.1.78

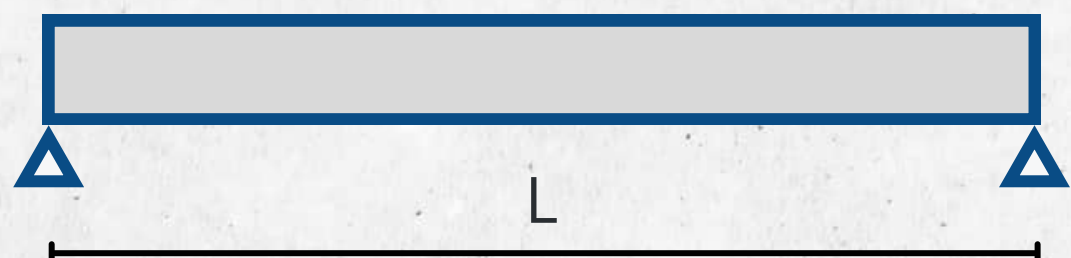
element, w którym minimalny wymiar w planie jest nie mniejszy niż pięciokrotna wysokość przekroju

[G1] 5.3.1 (4)

[G1] 9.3 (1)



dla $B < L$



$B \geq 4 \times H$

$B \geq 5 \times H$

usunięto bezpośrednią definicję płyty jednokierunkowo-zbrojonej, choć określenie to dalej szeroko funkcjonuje w zapisach normy

- dwie niepodparte krawędzie, w przybliżeniu równoległe
- płyta oparta na 4 krawędziach o stosunku $L_{\max}/L_{\min} > 2$

[G1] 5.3.1 (5)

- Definicje elementów konstrukcyjnych

- SŁUP**

liniowy element konstrukcyjny poddany głównie osiowym siłom ściskającym, którego szerokość przekroju poprzecznego nie przekracza 4-krotności wysokości przekroju (w przeciwnym razie należy go traktować jako ścianę), a długość elementu jest równa co najmniej 3-krotności wysokości przekroju.

[G2] 3.1.10

element, w którym wysokość przekroju nie przekracza 4-krotnej szerokości, a długość elementu jest co najmniej równa 3-krotnej wysokości przekroju

[G1] 5.3.1 (7)

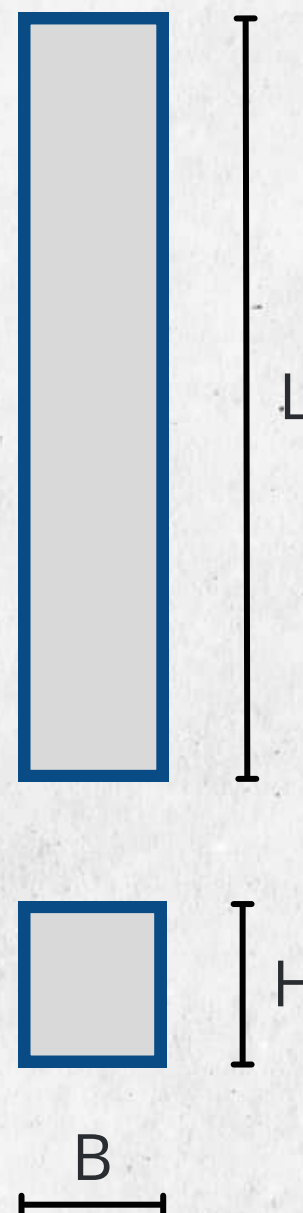
[G1] 9.5.1 (1)

$$B \leq 4 \times H$$

$$H \leq 4 \times B$$

$$L \geq 3 \times H$$

$$L \geq 3 \times H$$



- Definicje elementów konstrukcyjnych

- ŚCIANA**

element płaski poddawany głównie siłom działającym w jego płaszczyźnie, o szerokości przekroju przekraczającej 4-krotność jego grubości, a jego wysokość wynosi co najmniej 3-krotność grubości przekroju.

[G2] 3.1.96

element, który nie spełnia warunków dla słupa

[G1] 5.3.1 (7)

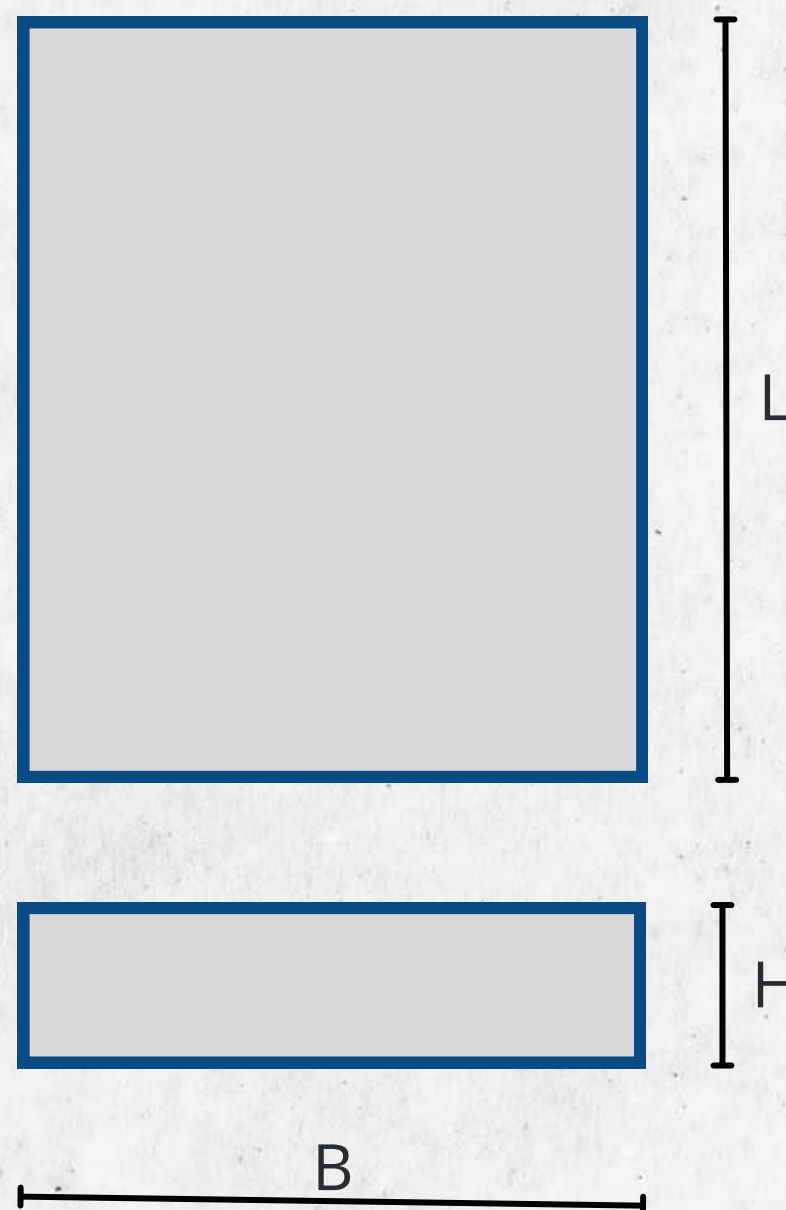
element, w którym stosunek długości do grubości wynosi cztery i więcej

[G1] 9.6.1 (1)

$$B > 4 \times H$$

$$B \geq 4 \times H$$

$$L \geq 3 \times H$$



Element o wymiarach X, Y, Z

gdzie X i Y to wymiary w płaszczyźnie prostopadłej do tej na której działa główne obciążenie i $X > Y$, a Z to wymiar w kierunku działania obciążenia

$Y \geq 4 \times Z \rightarrow$ PŁYTA

$Y < 4 \times Z:$

— $X \geq 3 \times Z \rightarrow$ BELKA

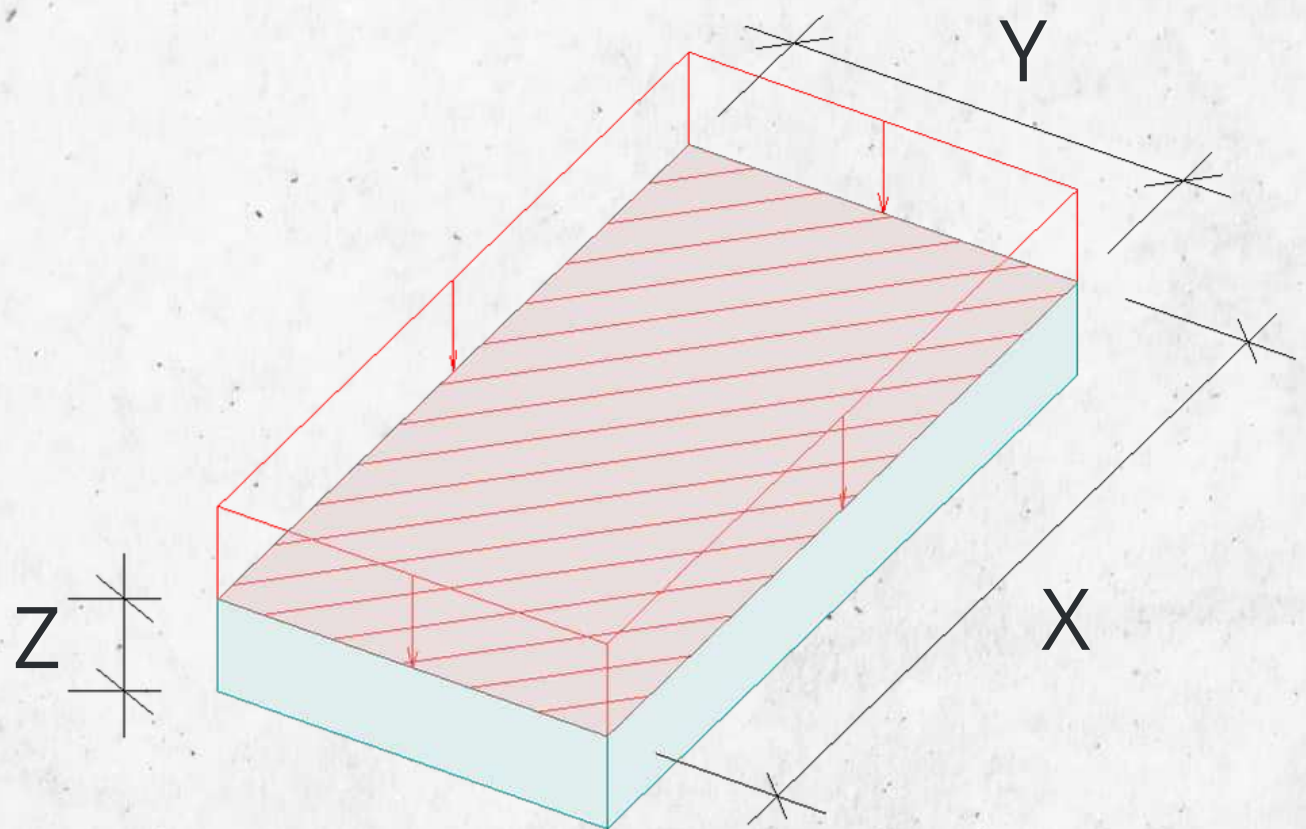
— $X < 3 \times Z:$

— $Z < 3 \times X \rightarrow$ BELKA-ŚCIANA

— $Z \geq 3 \times X:$

— $X \leq 4 \times Y \rightarrow$ SŁUP

— $X > 4 \times Y \rightarrow$ ŚCIANA



Dane geometryczne:

- Belki typu T

Dodano zapis: Wpływ nierównomiernego rozkładu naprężeń w szerokich pasach belek teowych powinien być uwzględniony w stanie granicznym nośności, gdzie można oczekiwać kruchego zniszczenia, oraz w stanie granicznym użytkowości gdzie istotne, np. ograniczenia naprężeń i ugięcia.

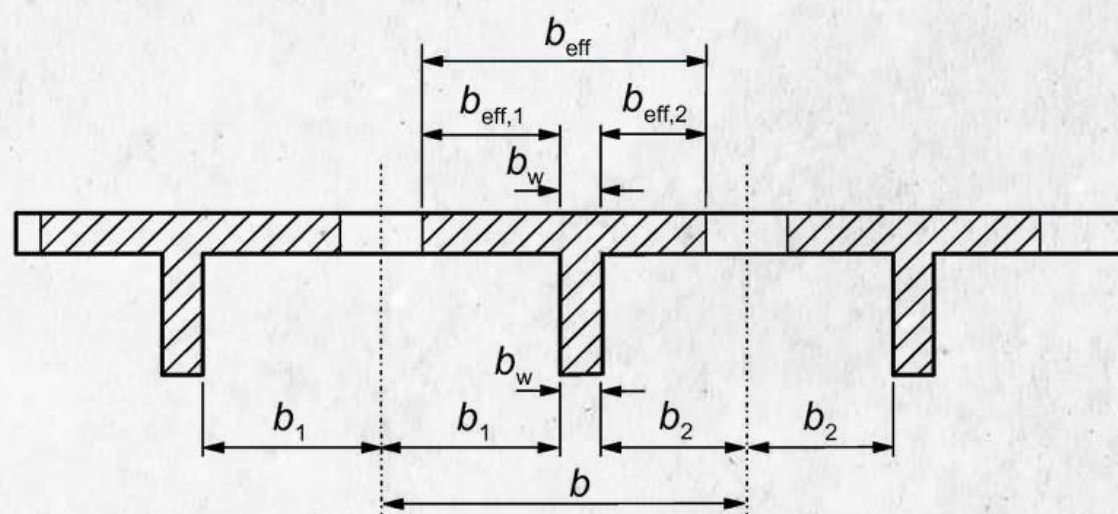
[G2] 7.2.3 (1)

Przy obliczeniu efektywnej szerokości półki zwrócono uwagę, że jest to uproszczenie do zastosowania w przypadku gdy nie ma dostępnej **bardziej dokładnej analizy**.

Obliczenia jak poprzednio, ale dodano 2 nowe warunki stosowania:

- obciążenie jest głównie równomiernie rozłożone
- przekrój jest stały
- długość wspornika jest mniejsza niż połowa rozpiętości przyległego przęsła
- stosunek rozpiętości przylegających przęseł powinien mieścić się między 2/3 i 1,5

[G2] 7.2.3 (2)
[G1] 5.3.2.1 (2)



[G2] Rys. 7.3
[G1] Rys. 5.3

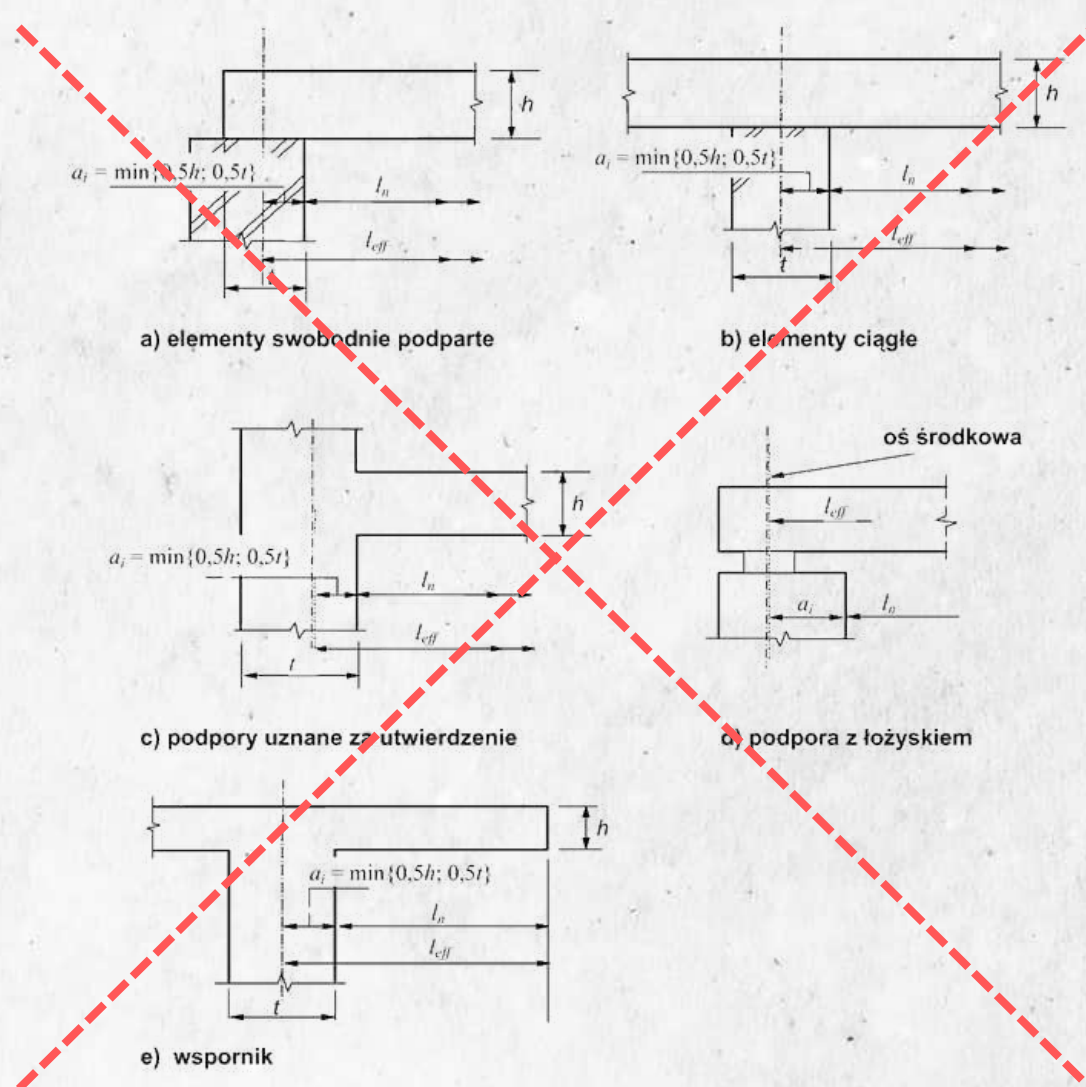
Dane geometryczne:

- Rozpiętość efektywna

Usunięto rysunki dotyczące rozpiętości efektywnej l_{eff} dla różnych warunków podparcia. Pojawił się ogólny zapis:

Rozpiętość belki lub płyty powinna być, co do zasady, **odległością pomiędzy osiami elementów podporowych lub łożysk**. Zmniejszenia tej długości mogą być dopuszczone przy uwzględnieniu wymiarów podpory, o ile wynikające z tego mimośrodowość zostaną uwzględnione w projektowaniu elementów podporowych. Ogólnie można przyjąć, że reakcja podporowa rozkłada się na długości równej mniejszej z wartości: szerokości podpory lub wysokości belki/płyty. W przypadku łożysk elastomerowych należy przyjąć, że naprężenia rozkładają się równomiernie na całej powierzchni podpory

[G2] 7.2.3 (5)



[G1] Rys. 5.4

Dane geometryczne:

- Moment do obliczeń

Usunięto zapis dotyczący odczytywania momentu z krawędzi podpory:

Jeżeli belka lub płyta jest monolitycznie połączona z podporami, to za krytyczny obliczeniowy moment podporowy **powinno się przyjmować moment na krawędzi podpory**.

Za moment obliczeniowy i reakcję przekazywane na podpierający element (np. słup, ścianę itp.) należy na ogół przyjmować wartości większe z wyznaczonych na podstawie analizy sprężystej lub analizy uwzględniającej redystrybucję.

Uwaga: Moment na krawędzi podpory powinien być **nie mniejszy niż 0,65 momentu pełnego zamocowania**.

[G1] 5.3.2.2 (3)

Dane geometryczne:

- Moment do obliczeń

Pozostawiono zapis o redukcji momentu na podstawie reakcji:

Jeżeli element podpierający jest modelowany jako podpora liniowa lub punktowa, max. moment zginający na podporze liniowej lub punktowej może zostać zredukowany w oparciu o założony rozkład reakcji podporowej.

Przy założeniu równomiernie rozłożonej reakcji podporowej, max. moment można zredukować o wartość ΔM_{Ed} w następujący sposób:

$$\Delta M_{Ed} = \frac{F_{Ed,sup} \times t}{8} \quad [G2] \ 7.2.3 (7)$$

$F_{Ed,sup}$ obliczeniowa reakcja

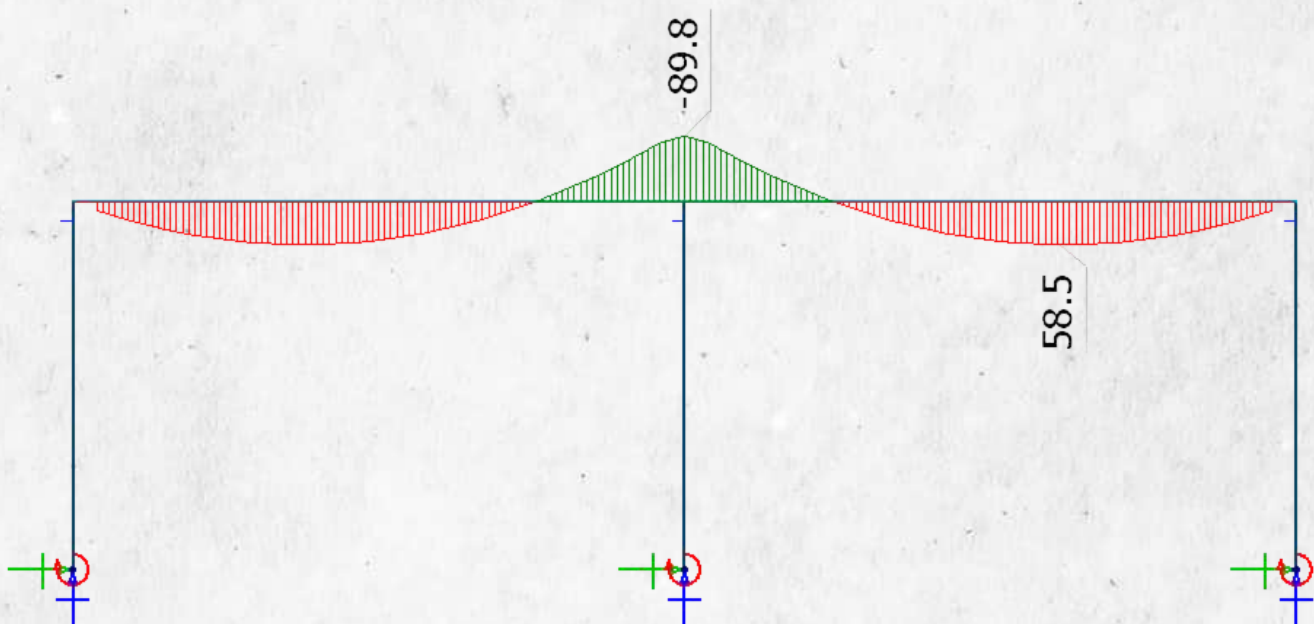
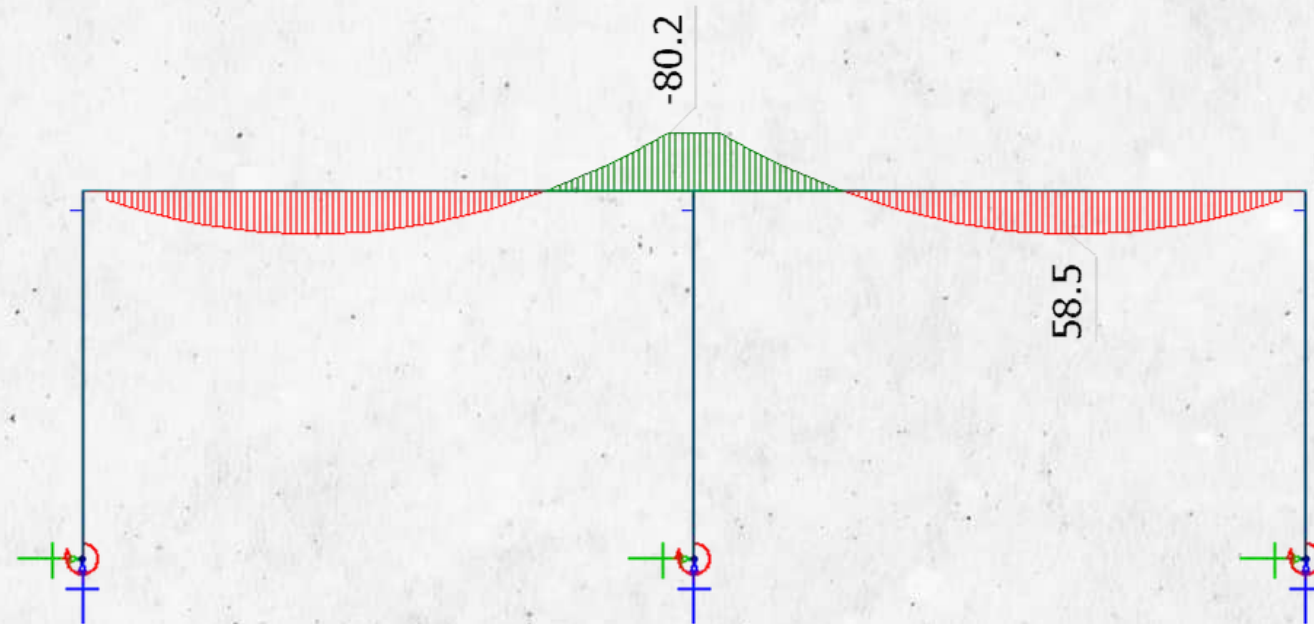
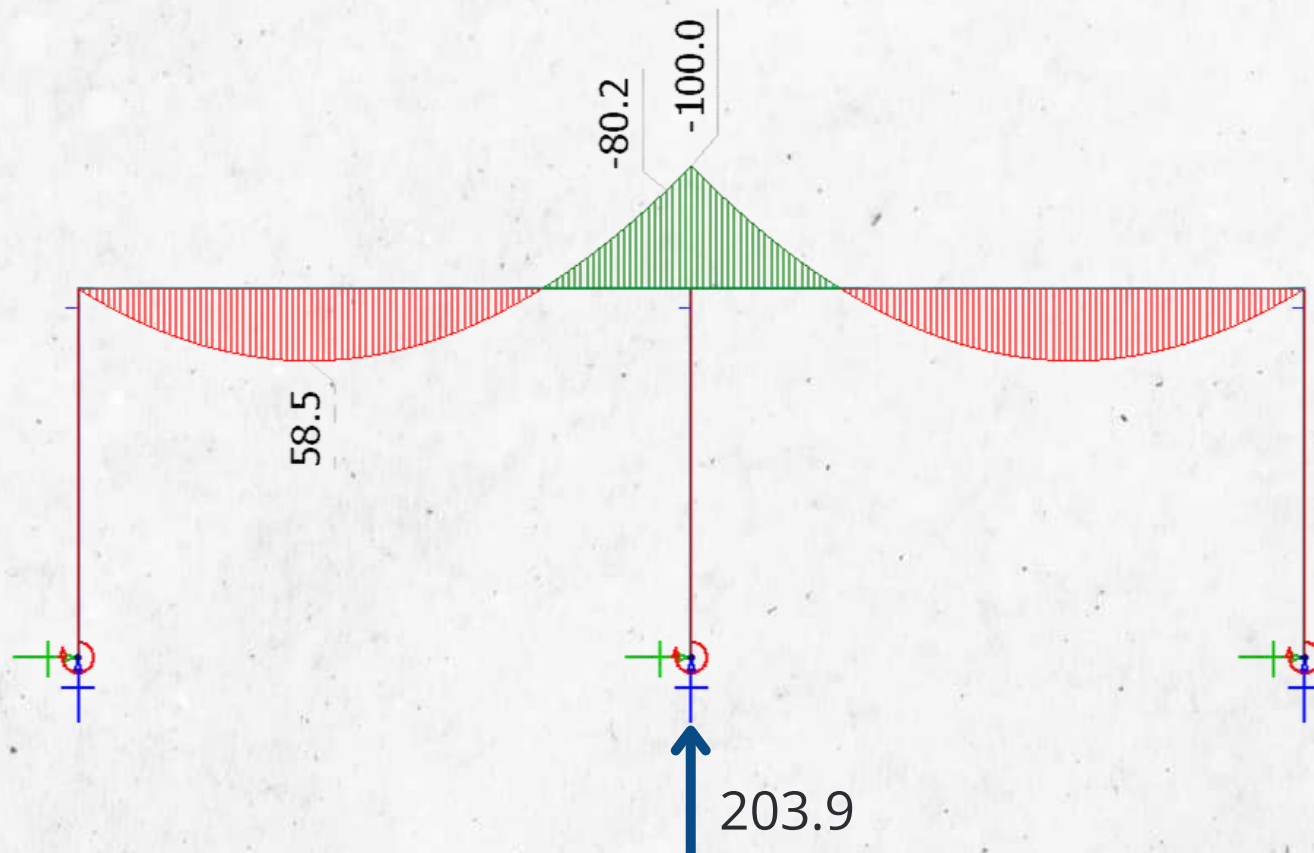
t długość dystrybucji
reakcji na podporze

Jeżeli belka lub płyta jest ciągła nad podporą, która - jak założono - nie ogranicza swobody obrotu (np. nad ścianą), to bez względu na zastosowaną metodę obliczeń, moment obliczeniowy wyznaczony przy założeniu, że rozpiętość jest równa odległości między osiami podpór, można zmniejszyć o wartość ΔM_{Ed} .

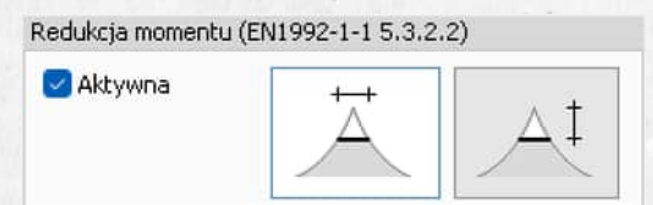
[G1] 5.3.2.2 (4)

Dane geometryczne:

- Moment do obliczeń - przykłady



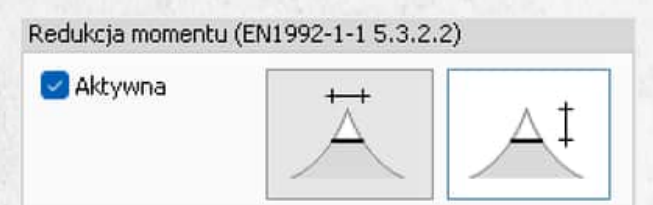
[G1] 5.3.2.2 (3)



[G1] 5.3.2.2 (4)

[G2] 7.2.3 (7)

$$\Delta M_{Ed} = \frac{F_{Ed, sup} \times t}{8} = 10.2 kNm$$



Analiza konstrukcji:

- Metody analizy - uporządkowano strukturę:

[G2] 7.3	Metody analizy:
[G2] 7.3.1	• analiza liniowo-sprężysta
[G2] 7.3.2	• analiza liniowo-sprężysta z redystrybucją
[G2] 7.3.3	• analiza plastyczna
[G2] 7.3.4	• analiza nieliniowa
[G1] 5.4	• analiza liniowo-sprężysta
[G1] 5.5	• analiza liniowo-sprężysta z ograniczoną redystrybucją
[G1] 5.6	• analiza plastyczna
[G1] 5.7	• analiza nieliniowa

- Znacznie uszczegółowiono zapisy dla każdego typu analizy

Analiza liniowo-sprężysta

[G2] 7.3.1

Wpływ odkształceń termicznych, osiadań i skurczu w SGN można wyznaczać, przyjmując zmniejszoną sztywność, odpowiadającą przekrojom zarysowanym, pomijając usztywnienie wywołane wpływem betonu na odcinkach między rysami, ale uwzględniając wpływ pełzania. W SGU należy uwzględnić stopniowy rozwój zarysowania.

[G1] 5.4 (3)

- Redukcja sztywności może być uwzględniona w **elementach gdzie spodziewane jest zarysowanie**, dla **odpowiedniej kombinacji** obciążeń. Założona redukcja sztywności powinna być **zgodna z ilością zbrojenia** zastosowaną w tych regionach. Dla konstrukcji ciągłych z przekrojami sprężonymi i niesprężonymi wpływ różnic sztywności między tymi przekrojami należy uwzględnić w SGU.
[G2] 7.3.1 (3)
- Nie jest zatem właściwe użycie globalnego współczynnika redukcji sztywności, bez uwzględnienia kombinacji i ilości zbrojenia.
- Dla określenia efektów odkształceń wymuszonych w SGU **należy** uwzględnić zarysowanie.
[G2] 7.3.1 (4)
- Jeśli w SGN należy uwzględnić efekt odkształceń wymuszonych, może być przyjęta zredukowana sztywność z uwagi na **zarysowanie, pełzanie i nieliniowy materiał**.
[G2] 7.3.1 (5)

Analiza liniowo-sprężysta

[G2] 7.3.1

- Siły i naprężenia z uwagi na **długotrwałe nierównomierne osiadania oraz zarysowanie** określone analizą liniowo-sprężystą **mogą być** zredukowane do E_t :

[G2] 7.3.1 (6)

$$E_t = \frac{E_{t=0}}{1 + \chi \phi(t, t_0)}$$

[G2] wz. 7.14

E_t - **siła** wewnętrzna lub **naprężenie** w czasie t

$E_{t=0}$ - **siła** wewnętrzna lub **naprężenie** na koniec budowy bez uwzględnienia pełzania

χ - współczynnik starzenia, który może być równy 0,8 dla długotrwałych obliczeń

PRZYKŁAD:

$$E_t = \frac{E_{t=0}}{1 + 0,8 \times 2,20} = 57\% \times E_{t=0}$$

Analiza liniowo-sprężysta

[G2] 7.3.1

- Redystrybucja sił wewnętrznych lub naprężeń **wywołana pełzaniem, spowodowana zmianą warunków podparcia** (np. z uwagi na budowę), **może być** uwzględniona wg wzoru:

[G2] 7.3.1 (7)

$$E_t = E_{t=0} + (E_{wc} - E_{t=0}) \frac{\phi(t, t_0) - \phi(t_c, t_0)}{1 + \chi \phi(t, t_c)}$$

[G2] wz. 7.15

- E_{wc} - **siła** wewnętrzna lub **naprężenie** w założeniu że zbudowano dla końcowych warunków podparcia
- t_0 - wiek betonu kiedy przyłożono siły wywołujące rozważane siły wewnętrzne lub naprężenia
- t_c - wiek betonu kiedy zmieniono warunki podparcia

PRZYKŁAD >

Analiza liniowo-sprężysta

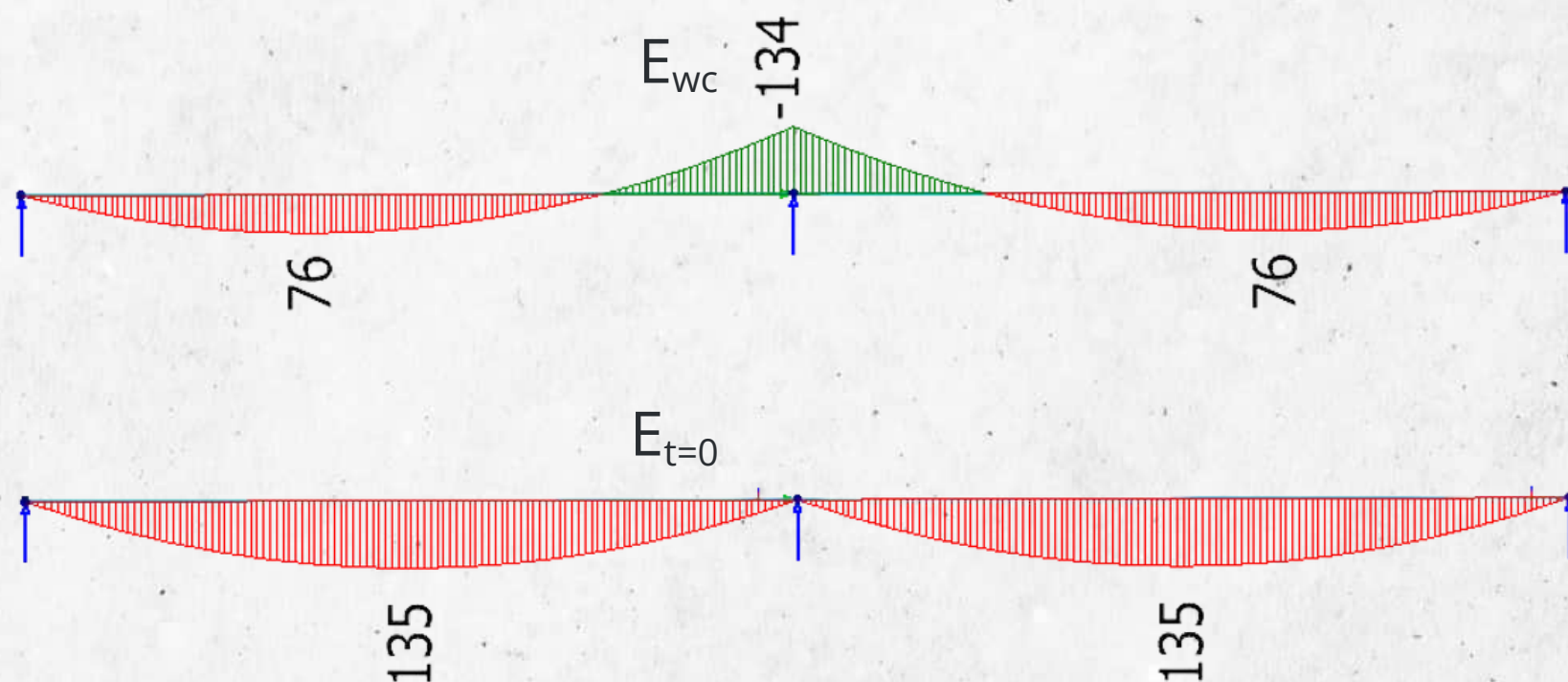
[G2] 7.3.1

PRZYKŁAD ("coś pomiędzy"):

Dwie belki żelbetowe 30x60cm z betonu C25/30 wykonane jako jednoprzęsłowe o długości przęsła 6m.

Po 28 dniach obciążone siłą 30kN/m.

Po kolejnych 28 dniach zmonolityzowane nad podporą środkową.



$$\phi(t, t_0) = \phi(50lat, 28dni) = 2,63$$

$$\phi(t, t_c) = \phi(50lat, 56dni) = 2,30$$

$$\phi(t_c, t_0) = \phi(56dni, 28dni) = 1,07$$

Moment nad podporą środkową:

$$E_t = E_{t=0} + (E_{wc} - E_{t=0}) \frac{\phi(t, t_0) - \phi(t_c, t_0)}{1 + \chi \phi(t, t_c)} =$$

$$0kNm + (134kNm - 0kNm) \frac{2,63 - 1,07}{1 + 0,8 \times 2,30} = 73,7kNm = 134kNm \times 55\%$$

Analiza liniowo-sprężysta z redystrybucją [G2] 7.3.2

Wcześniej mowa tylko o SGN i ograniczonej redystrybucji. [G1] 5.5

- Ograniczona redystrybucja dozwolona dla usztywnionych **smukłych konstrukcji**. Jeśli redystrybucja dotyczy momentów, należy ją uwzględnić we **wszystkich aspektach projektowych** (SGN i SGU). Siły i reakcje po redystrybucji powinny być **w równowadze** z przyłożonymi obciążeniami.

[G2] 7.3.2 (1)

- Wydzielono i podano wzory dla 2 metod:

- Redystrybucja bez jawnego sprawdzenia zdolności do obrotu (odpowiednik poprzedniej metody)

[G2] 7.3.2 (3)

[G1] 5.5(4)

- Redystrybucja z jawnym sprawdzeniem zdolności do obrotu

[G2] 7.3.2 (5)

Analiza liniowo-sprężysta z redystrybucją

[G2] 7.3.2

Redystrybucja bez jawnego sprawdzenia zdolności do obrotu:

- Wcześniej 2 wzory empiryczne, zależne od klasy betonu. [G1] 5.5(4)
- Nowy wzór wiąże dopuszczalną redystrybucję bezpośrednio z odkształcalnością stali i betonu, zamiast stosować sztywne współczynniki tabelaryczne.

[G2] 7.3.2 (3)

$$\delta_M \geq \frac{1}{1 + 0,7 \varepsilon_{cu} \times E_s / f_{yd}} + \frac{x_u}{d}$$

[G2] wz. 7.16

δ_M - stosunek momentu przed redystrybucją do momentu po
 ≥ 0.7 dla stali klasy B i C i stali sprężającej i ≥ 0.8 dla stali klasy A

typowa sytuacja:

dla stali o $E_s=200\text{GPa}$, $f_{yk}=500\text{MPa}$, $\gamma_s=1.15$ i betonu $\varepsilon_{cu}=3.5\text{‰}$:

$$\delta_M \geq 0.47 + \frac{x_u}{d}$$

- wysokość strefy ściskanej **po redystrybucji**

- wysokość użyteczna przekroju

- Dodano doprecyzowanie dla elementów sprężonych [G2] wz. 7.17

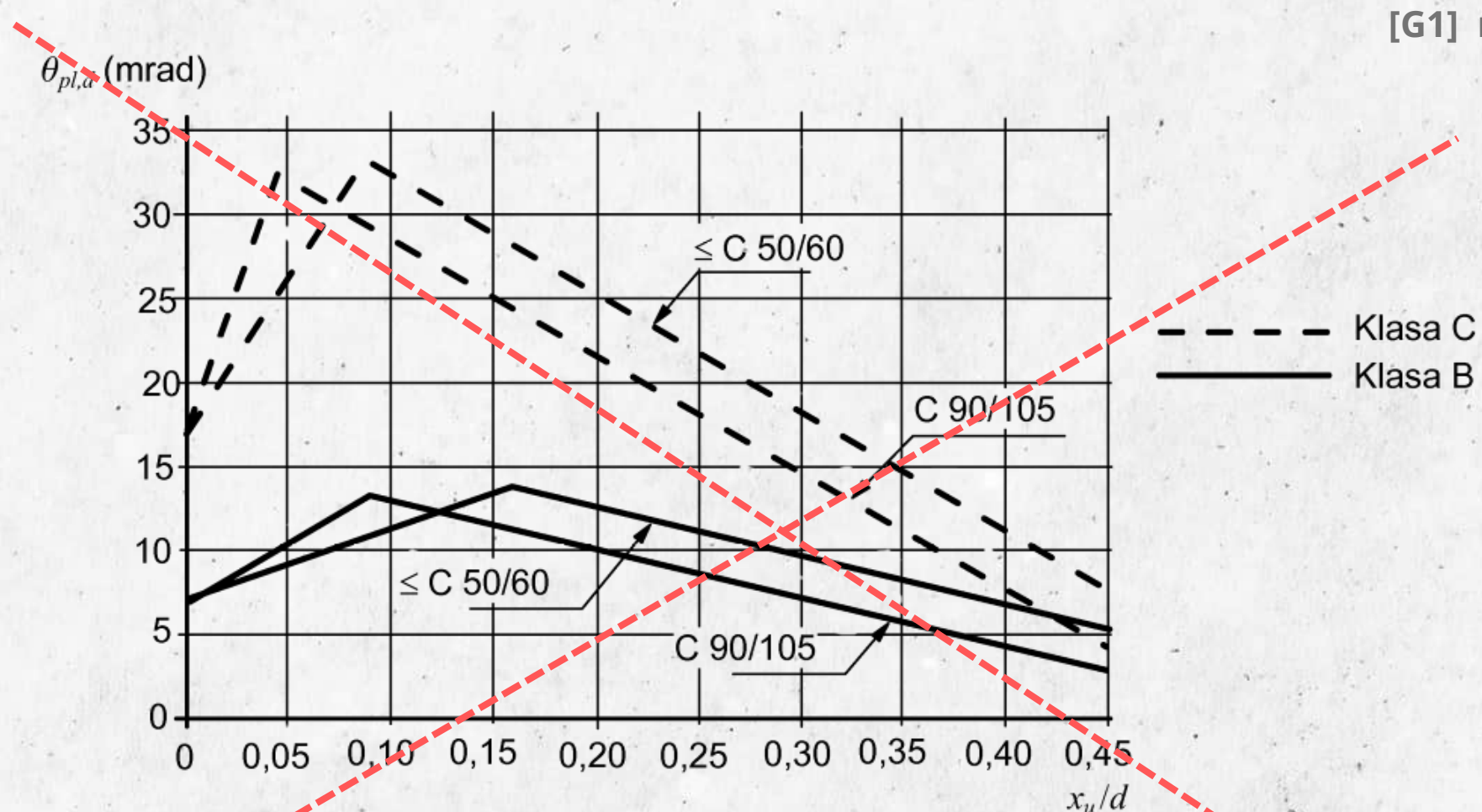
Pozwala wyznaczyć zastępczą granicę plastyczności dla cięgien sprężających przy redystrybucji. To ułatwienie dla projektantów stropów sprężonych, którzy wcześniej musieli stosować przybliżenia.

Analiza liniowo-sprężysta z redystrybucją

[G2] 7.3.2

Redystrybucja z jawnym sprawdzeniem zdolności do obrotu:

- Wcześniej brak wzorów na tą sytuację
- W punkcie dotyczącym analizy plastycznej zawarte były wykresy mówiące o dopuszczalnym max. obrocie plastycznym. Wykresy usunięto z normy.



Rysunek 5.6N: Podstawowe wartości dopuszczalnego obrotu plastycznego $\theta_{pl,d}$ dla zbrojenia klas B i C (przy smukłości ścinania $\lambda = 3,0$)

Analiza liniowo-sprężysta z redystrybucją

[G2] 7.3.2

Redystrybucja z jawnym sprawdzeniem zdolności do obrotu:

- Wcześniej brak wzorów na tą sytuację
- Redystrybucja może być stosowana do sprawdzenia SGN jeśli zapewnimy że wymagany obrót θ_{Ed} dla przekroju z przegubem plastycznym jest mniejszy lub równy niż zdolność do obrotu θ_{Rd} analizowanego przekroju.

[G2] 7.3.2 (5)

- Wymagany obrót θ_{Ed} wyznacza się jako całkę z krzywizn obliczonych po rozpoczęciu uplastycznienia w przekroju, w którym należy uwzględnić zarysowanie betonu oraz można uwzględnić wytrzymałość na rozciąganie i efekt usztywnienia pomiędzy rysami.
- Zdolność do obrotu θ_{Rd} wg wzorów ...

The rotation capacity may be derived from Formula (7.18).

$$\theta_{Rd} = \frac{1,3d}{\gamma_{\theta}} \left(\left(\frac{1}{r} \right)_{u,m} - TS_{My} \frac{\epsilon_{yd}}{d-x} \right) \quad (7.18)$$

where

$$\left(\frac{1}{r} \right)_{u,m} = TS_{Mu} \cdot \min \left\{ \frac{\epsilon_{ud}}{(d-x_u)}; \frac{\epsilon_{cu,d,\rho_w}}{x_u} \right\} \quad (7.19)$$

$$\epsilon_{cu,d,\rho_w} = 0,002 + \frac{1,35}{d} + 3\rho_w \leq 0,015 \quad (7.20)$$

$$TS_{Mu} = 1 - \frac{1}{2\alpha} \cdot \left(1 - \frac{\epsilon_{yd}}{\epsilon_{ud,ef}} \right) \text{ when } \alpha \geq 1 \quad (7.21)$$

$$TS_{Mu} = \frac{\alpha}{2} + \frac{\epsilon_{yd}}{\epsilon_{ud,ef}} \left(1 - \frac{\alpha}{2} + \left(\frac{f_{s,ef}}{f_{yd}} - 1 \right) \cdot \left(2 - \frac{1}{\alpha} - \alpha \right) \right) \text{ when } \alpha < 1 \quad (7.22)$$

$$TS_{My} = 1 - 0,6 \left[\frac{M_{cr}}{M_y} \right] \geq 0,4 \quad (7.23)$$

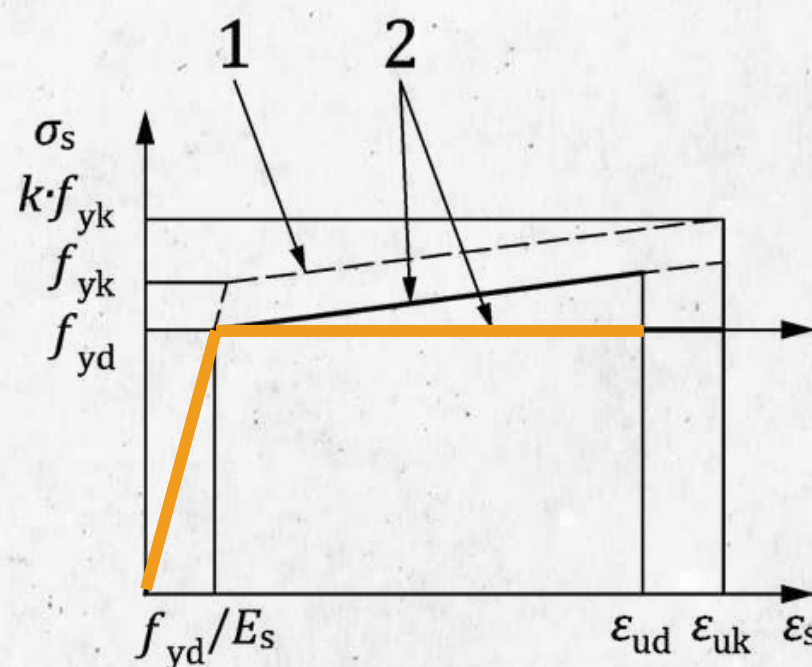
$$\alpha = \frac{(f_{s,ef} - f_{yd})}{0,6f_{cm}^{\frac{2}{3}}} \cdot \frac{\phi}{s_{r,m,cal}} \quad (7.24)$$

Analiza plastyczna

[G2] 7.3.3

- Znacznie skrócono zapisy dotyczące analizy plastycznej
- Analiza Strut-and-Tie (ST) i pola naprężeń zostały wyraźnie wciągnięte w zakres analizy plastycznej.
- Wykres stali - należy stosować poziomą gałąź wykresu (brak wzmocnienia), nie wolno uwzględniać zapasu wytrzymałości na rozciąganie powyżej granicy plastyczności.

[G2] 7.3.3.1 (6)



[G2] Rys. 5.2

- Nowy Eurokod sugeruje, że analiza plastyczna powinna bazować na twierdzeniu o dolnej granicy (metoda statyczna – bezpieczna). Metoda górnej granicy (kinematyczna) jest dopuszczona tylko warunkowo ("jeśli z doświadczenia wiadomo, że mechanizm się wykształci").

[G2] 7.3.3.1 (2)

- Wcześniej obie metody były podane jako równoważne.

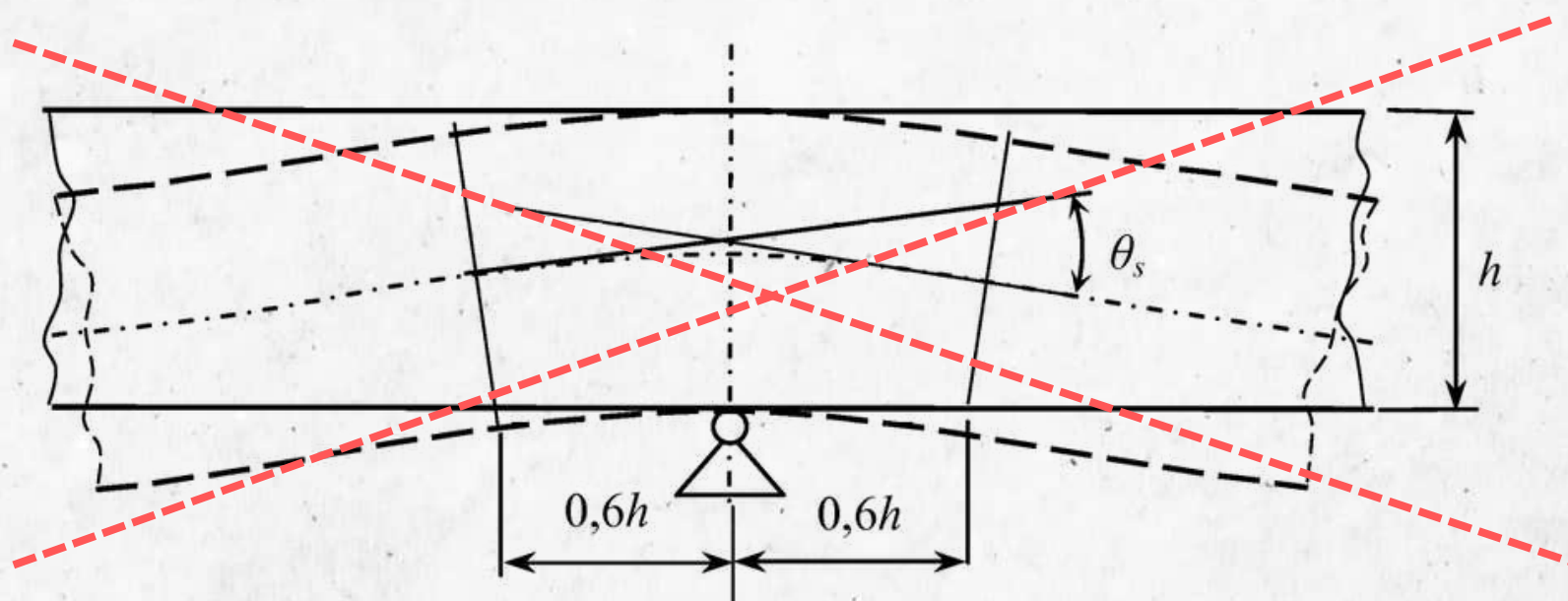
[G1] 5.6.1 (3)P

Analiza plastyczna

[G2] 7.3.3

- Usunięcie punktu dotyczącego zdolności do obrotu

[G1] 5.6.3



[G1] Rys. 5.5

- Podano ogólnie, że modele Strut-and-Tie i pola naprężeń mogą być używane do określenia efektów oddziaływać w elementach konstrukcyjnych, szczególnie jak wysokie belki-ściany, ściany i obszary niejednorodnego rozkładu naprężeń (zones of discontinuities).

[G2] 7.3.3.3 (1)

- Siły wewnętrzne w modelach Strut-and-Tie mogą być określane na podstawie analiz liniowo-sprężystych, plastycznych i nie-liniowych.

[G2] 7.3.3.3 (2)

Analiza nieliniowa

[G2] 7.3.4

- Większy nacisk na zapewnienie niezawodności w analizie nieliniowej. Odniesienie do Eurokodu 0 i nowego załącznika F (Środki ostrożności w analizie nieliniowej).

[G2] 7.3.4 (2)

- należy sprawdzać czy konstrukcja jest zdolna do przeniesienia [...] odkształceń krytycznych [...] z odpowiednim uwzględnieniem niepewności modelu.

[G1] 5.7 (2)

- Wymagane inżynierskie sprawdzenie błędów: Jeśli metody nieliniowe są używane do weryfikacji ULS przez symulacje numeryczne, wyniki należy potwierdzić poprzez porównanie z uproszczonymi metodami analitycznymi. W przypadku istotnych różnic [...], rozbieżności należy uzasadnić.

[G2] 7.3.4 (2)

- Modele materiałowe muszą uwzględniać wszystkie istotne dla danej analizy aspekty jak np. skurcz i pełzanie.

[G2] 7.3.4 (3)

Analiza nieliniowa

[G2] 7.3.4

- Modele nieliniowe i procedury numeryczne powinny być zwalidowane dla każdego obszaru zastosowania poprzez testy, rozwiązania analityczne i/lub benchmarki, w tym podstawowe testy materiałowe i studia wrażliwości siatki (mesh sensitivity).

[G2] 7.3.4 (4)

- Należy stosować tylko takie modele obliczeniowe, które są właściwe w zakresie, w którym się je stosuje.

[G1] 5.7 (4)P

- Jeśli cechy materiałowe (np. wytrzymałość na rozciąganie lub energia pęknięcia betonu) mają istotny wpływ na wyniki, należy wykonać analizę wrażliwości.

[G2] 7.3.4 (5)

- Jeśli analiza i wymiarowanie są połączone, nośność na zginanie i siły osiowe oraz nośność płyt na zginanie i skręcanie nie może zależeć od wytrzymałości betonu na rozciąganie.

[G2] 7.3.4 (6)

- Należy poprawnie opisać wieloosiowe stany naprężenia w betonie, szczególnie tam, gdzie rozciąganie i ściskanie występują w tym samym elemencie.

[G2] 7.3.4 (7)

- Modelowanie zarysowania powinno uwzględniać kierunek zbrojenia zdolnego do kontroli otwarcia rys.

[G2] 7.3.4 (8)

Zainteresowało? Chcesz więcej?



OBSERWUJ NA LINKEDIN

SUBSKRYBUJ YOUTUBE



Regularne analizy, porównania,
przykłady i informacje o
zmianach w **Eurokodzie 2!**

NEWSLETTER:



StruSoft / **FEM-Design**

Jan Wróbel

Customer Success Engineer

tel: +48 692 294 112

jan.wrobel@strusoft.com

