

Zasady sprawdzania nośności na ścinanie podłużne w stropach zespolonych z blachami fałdowymi

Naturalna przyczepność występująca między gładką blachą poszycia a monolityczną płytą betonową jest zbyt mała do przeniesienia sił rozwarstwiających pojawiających się na styku obu materiałów. Aby ich zespolenie można uznać za skuteczne, należy, zgodnie z normą [8], zastosować blachę ze specjalnie ukształtowanymi ściankami (wytlóczenia, karby – zespolenie mechaniczne) lub o specjalnym kształcie (wklęsłym, tzw. jaskółczy ogon – zespolenie chemiczne). Oprócz standardowego, jak w przypadku zginanych konstrukcji żelbetonowych, sprawdzenia nośności przekroju na zginanie [4, 5] i ścinanie należy także sprawdzić nośność stropu na ścinanie podłużne (rozwarstwienie). Zjawisko to jest ściśle związane ze zginaniem, które wywołuje styczne naprężenia rozwarstwiający, co może powodować oddzielenie się betonu od blachy fałdowej. W normie [8] przewidziano dwa sposoby tego sprawdzenia: metodę $m-k$ i metodę częściowego zespolenia – stosowaną tylko do płyt, które charakteryzują się ciągłą postacią zniszczenia. Obie metody bazują na danych uzyskanych z laboratoryjnych badań płyt zespolonych. Aby uzyskać miarodajne wyniki w przypadku różnych typów blach, tok badań został znormalizowany i opisany w załączniku B3 normy [8]. Podczas badań określa się rodzaj zniszczenia (ciągły lub kruchy), a na podstawie uzyskanych wyników określa się współczynniki m i k oraz obliczeniową wytrzymałość na ścinanie podłużne $\tau_{u,Rd}$. Schemat stanowiska badawczego pokazano na rys. 1.

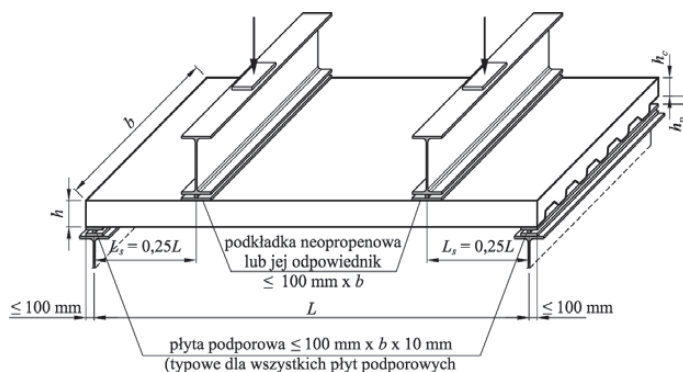
Metoda $m-k$

Jest to metoda empiryczna opracowana w latach sześćdziesiątych i udoskonalona w latach siedemdziesiątych XX wieku [3, 6]. Sprawdzenie nośności na rozwarstwienie polega na wykazaniu, że maksymalna wartość obliczeniowej poprzecznej siły ścinającej V_{Ed} na szerokości płyty b jest nie większa niż obliczeniowa nośność płyty na ścinanie wyrażona wzorem

$$V_{1,Rd} = \frac{bd_p}{\gamma_{vs}} \left(\frac{mA_p}{bL_s} + k \right), \quad (1)$$

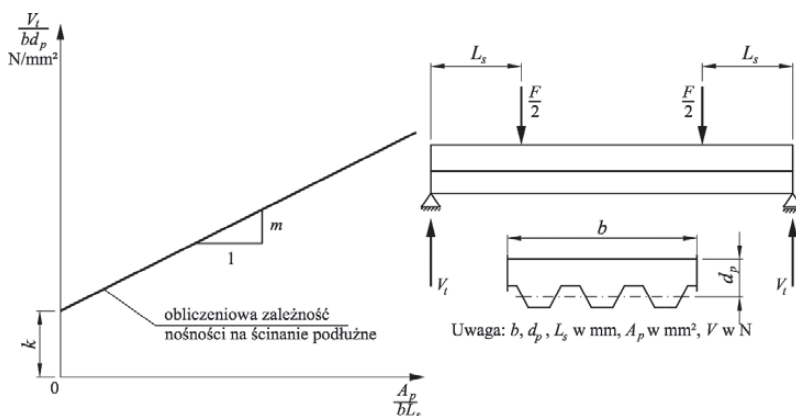
w którym:

- b – rozpatrywana szerokość płyty, mm,
- d_p – odległość od górnej krawędzi płyty do środka ciężkości efektywnego przekroju blachy profilowanej, mm,
- m, k – obliczeniowe wartości współczynników empirycznych, w N/mm^2 , uzyskane z badań płyty,
- A_p – pole przekroju blachy profilowanej w strefie rozciąganej na szerokości b ,
- γ_{vs} – częściowy współczynnik bezpieczeństwa w przypadku stanu granicznego nośności,
- L_s – długość strefy ścinania.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego płyt zespolonych na blasze fałdowej [8]

Podstawowym wymaganiem w badaniu jest, aby zniszczenie płyty nastąpiło przez ścicie podłużne. W celu określenia wartości współczynników m i k trzeba, na podstawie przeprowadzonych badań, ustalić wartość reprezentatywnej siły ścinającej V_t wyznaczonej w funkcji przyjętej długości strefy ścinania L_s (prosta na rys. 2). Wartość współczynnika k jest rzędną punktu przecięcia prostej z osią pionową, a współczynnik m jest związany z jej nachyleniem (por. rys. 2).

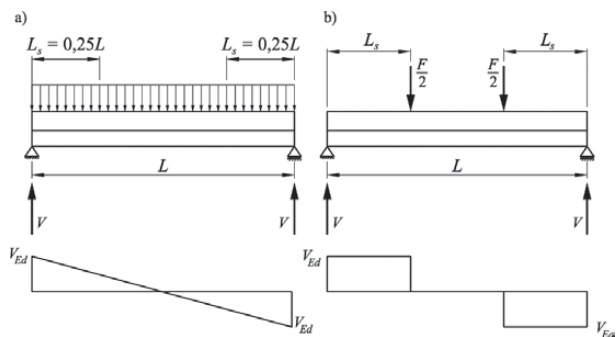


Rys. 2. Obliczeniowa zależność na ścinanie podłużne według metody $m-k$

We wzorze (1) długość strefy ścinania L_s należy przyjmować:

- przy równomiernym obciążeniu rozłożonym na całej długości przęsła – $L/4$ (rys. 3a);
- przy dwóch obciążeniach jednakowych i symetrycznie rozmieszczonych – odległość między obciążeniem skupionym a najbliższą podporą (rys. 3b).

W przypadku innych rozkładów obciążeń należy tę długość ocenić na podstawie wyników badań lub przyjmując



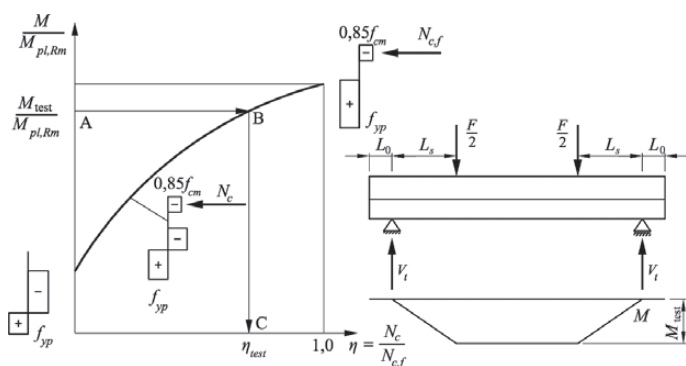
Rys. 3. Zasady przyjmowania długości L_s w przypadku: a) obciążenia równomiernie rozłożonego, b) dwóch jednakowych sił skupionych symetrycznie rozmieszczonych [7]

w przybliżeniu jako iloraz momentu maksymalnego podzielonego przez największą wartość siły poprzecznej na podporze rozpatrywanego przęsła. W płycie ciągłej długość przęsła można przyjmować jako $0,8L$ w przypadku przęsła wewnętrznego i $0,9L$ – przęsła zewnętrznego.

Określając nośność na ścinanie podłużne tą metodą, projektant nie ma możliwości uwzględnienia dodatkowego zbrojenia płyty czy zakotwień końców blach. Wartości współczynników m i k są podawane w aprobatkach i materiałach technicznych producentów blach. W pracy [7] zamieszczono zestawienie współczynników w przypadku blach stosowanych w Polsce.

Metoda częściowego zespolenia

Metodę częściowego zespolenia można stosować tylko do płyt zespolonych, które wykazują ciągły charakter zniszczenia. Tok badania, podobnie jak w przypadku metody $m-k$, został opisany w załączniku B3 do normy [8]. Parametry badania należy dobrać tak, aby zniszczenie nastąpiło przez podłużne ścięcie. Korzystając z teorii plastyczności, wyznacza się krzywoliniową zależność $M-\eta$, gdzie η jest stopniem zespolenia (rys. 4), wykorzystując dane geometryczne i materiałowe uzyskane z pomiarów i badań.



Rys. 4. Ocena wyników badań w metodzie częściowego zespolenia [8]

Znając maksymalne obciążenie F , należy określić maksymalny moment zginający M_{test} , a następnie, korzystając ze ścieżki A–B–C (por. rys. 4), wyznaczyć stopień zespolenia η_{test} w odniesieniu do każdej próby i obliczyć wytrzymałości na ścinanie podłużne τ_u , korzystając z jednego ze wzorów:

$$\tau_u = \frac{\eta_{test} N_{c,f}}{b(L_s + L_0)}, \quad (2)$$

$$\tau_u = \frac{\eta_{test} N_{c,f} - \mu V_t}{b(L_s + L_0)}, \quad (3)$$

w których:

b – rozpatrywana szerokość płyty, mm,

L_s, L_0 – jak na rys. 4,

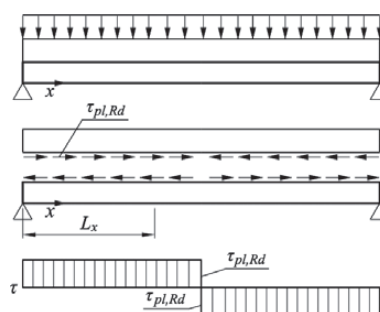
$N_{c,f}$ – siła w ściskanej części przekroju betonu przy pełnym zespoleniu,

μ – wartość umowna współczynnika tarcia, wynosząca 0,5,

V_t – reakcja na podporze przy największym obciążeniu próbnym.

Charakterystyczną wytrzymałość na ścinanie podłużne $\tau_{u,Rk}$ oblicza się, wykorzystując odpowiedni model statystyczny jako 5-procentowy kwantyl, zgodnie z załącznikiem D normy [9], a wartość obliczeniową uzyskuje się, dzieląc wartość charakterystyczną przez częściowy współczynnik bezpieczeństwa równy 1,25.

W sprawdzaniu nośności na podłużne ścinanie metodą częściowego zespolenia należy wykazać, że w każdym przekroju poprzecznym moment zginający działający na przekrój M_{Ed} jest nie większy niż nośność płyty M_{Rd} . Ciągły charakter zniszczenia jest konieczny w celu umożliwienia założenia równomiernego rozłożenia naprężeń ścinających w strefie poślizgu. Ich rozkład pokazano na rys. 5.



Rys. 5. Rozkład naprężeń rozwarstwiających w stanie granicznym nośności [7]

Przy założeniu, że naprężenia przyczepności $\tau_{u,Rd}$ są stałe na długości belki, przyrost nośności na rozwarstwienie jest proporcjonalny do $\tau_{u,Rd}$ i odległości, w której znajduje się rozpatrywany przekrój L_x . Wówczas nośność na ścinanie podłużne w przekroju w odległości L_x od najbliższej podpory określić można ze wzoru

$$N_c = \int_0^{L_x} \tau_{u,Rd} b dx = \tau_{u,Rd} b L_x \leq N_{c,f}, \quad (4)$$

w którym:

$\tau_{u,Rd}$ – obliczeniowa wytrzymałość na ścinanie uzyskana z badań płyty,

L_x – odległość między rozpatrywanym przekrojem poprzecznym a najbliższą podporą,

$N_{c,f}$ – graniczna siła w strefie ściskanej betonu wyznaczona z pominięciem ewentualnego zbrojenia dolnego A_{s1} .

Jeżeli oś obojętna zginania znajduje się w płycie betonowej, to siłę $N_{c,f}$ w strefie dodatnich momentów zginających można wyznaczyć ze wzoru

$$N_{c,f} = 0,85 f_{cd} b x_{pl} = f_{yp,d} A_{pe}, \quad (5)$$

w którym:

f_{cd} – obliczeniowa wytrzymałość betonu na ściskanie,

b – rozpatrywana szerokość płyty (zazwyczaj 1,0 m),

x_{pl} – zasięg strefy ściskanej w płycie betonowej,

$f_{yp,d}$ – obliczeniowa granica plastyczności stalowej blachy profilowej,

A_{pe} – pole efektywnego przekroju poprzecznego profilowanego arkusza blachy stalowej.

Jeżeli oś obojętna zginania znajduje się w blasze fałdowej, to zgodnie z założeniami normy [N1] przyjmuje się, że zasięg strefy ściskanej, który uwzględnia się w obliczaniu $N_{c,f}$ jest ograniczony do grubości płyty ponad fałdą h_c i wówczas:

$$N_{c,f} = 0,85f_{cd}bh_c. \quad (6)$$

Przekrój będzie w pełni zespolony, jeżeli nośność N_c obliczona ze wzoru (4) osiągnie wartość granicznej siły w strefie ściskanej $N_{c,f}$ obliczonej ze wzorów (5) lub (6). Sytuacja taka będzie miała miejsce dopiero w pewnej odległości od podpory. Minimalną odległość, potrzebną do uzyskania pełnego zespolenia $L_{x,pl}$ można wyznaczyć, przekształcając wzór (4) do postaci

$$L_{x,pl} = \frac{N_{c,f}}{\tau_{u,Rd}b}. \quad (7)$$

Jak wynika ze wzoru (7), długość $L_{x,pl}$ zależy od siły ściskającej w przekroju oraz od wytrzymałości na podłużne ścinanie między blachą a betonem. Długości $L_{x,pl}$ potrzebne do osiągnięcia pełnego zespolenia wybranych blach fałdowych do stropów zespolonych, które są dostępne w Polsce, zostały zamieszczone w [7]. Odległości te wynoszą od około 0,7 m do nawet ponad 10,0 m.

Sprawdzenia nośności na zginanie metodą częściowego zespolenia można dokonać dwójako: analitycznie lub graficznie.

• **Metoda analityczna.** Sprawdzając przekrój z uwzględnieniem częściowego zespolenia według normy [8], nośność na zginanie wyznacza się, zastępując wypadkową siłę w strefie ściskanej $N_{c,f}$ (przy pełnym zespoleniu) przez nową siłę N_c (wyznaczoną przy częściowym zespoleniu bez uwzględniania siły pochodzącej od zbrojenia w fałdzie). Wówczas

$$M_{Rd} = M_{Rd}(L_x) + M_{pr}, \quad (8)$$

gdzie:

$M_{Rd}(L_x)$ – nośność przekroju na zginanie określona wzorem (9),

M_{pr} – zredukowana nośność plastyczna blachy wyrażona wzorem (12):

$$M_{Rd}(L_x) = N_c(L_x)z, \quad (9)$$

$$N_c(L_x) = \tau_{u,Rd}bL_x \leq N_{c,f} = 0,85f_{cd}bx_{pl}, \quad (10)$$

$$z = h - 0,5x_{pl} - e_p + (e_p - e)\eta, \quad (11)$$

$$M_{pr} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,25M_{pa}(1-\eta) \\ M_{pa} \end{array} \right., \quad (12)$$

$$\eta = \frac{N_c}{A_{pe}f_{yp,d}}, \quad (13)$$

gdzie:

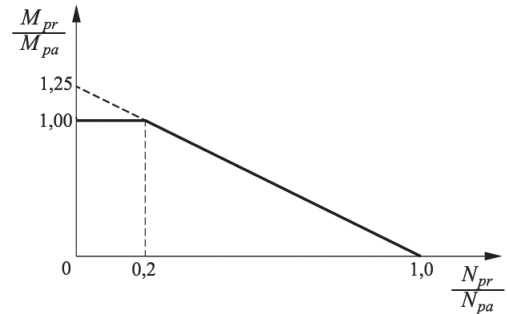
h – wysokość przekroju, tj. grubość płyty mierzona w fałdzie blachy,

e_p – odległość między plastyczną osią obojętną blachy fałdowej a skrajnymi rozciąganyymi włóknami płyty zespolonej,

e – odległość od środka ciężkości blachy fałdowej do skrajnych włókien rozciąganych płyty zespolonej,

M_{pa} – obliczeniowa nośność plastyczna na zginanie efektywnego przekroju blachy fałdowej.

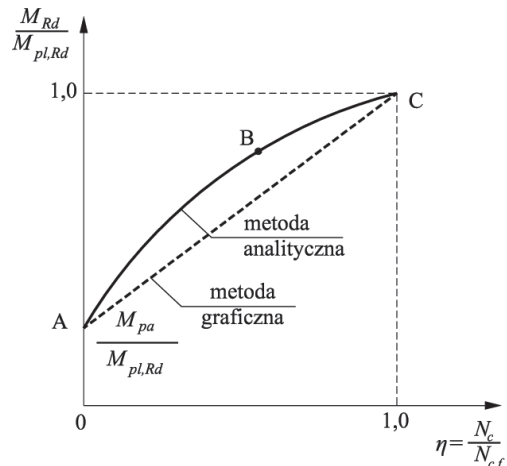
W równaniu (8) $M_{Rd}(L_x)$ odpowiada za przyrost nośności od wartości zerowej na końcu blachy do M_{Rd} w odległości L_x , a M_{pr} zakłada interakcję między rozciąganiem w blasze (powstałym od zginania przekroju zespolonego) a nośnością plastyczną blachy na zginanie (M_{pa}) w zależności od stopnia zespolenia η (rys. 6).



Rys. 6. Uproszczona zależność pomiędzy rozciąganiem a zginaniem w blasze na podstawie normy [8], [7]

• **Metoda graficzna.** W uproszczeniu można założyć, że następuje liniowy przyrost nośności od wartości M_{pa} (nośność plastyczna na zginanie przekroju blachy poszycia) do wartości $M_{pl,Rd}$ (nośność plastyczna przekroju w pełni zespolonego) – linia AC na rys. 7. Wówczas nośność przekroju częściowo zespolonego można obliczyć z uproszczonego wzoru

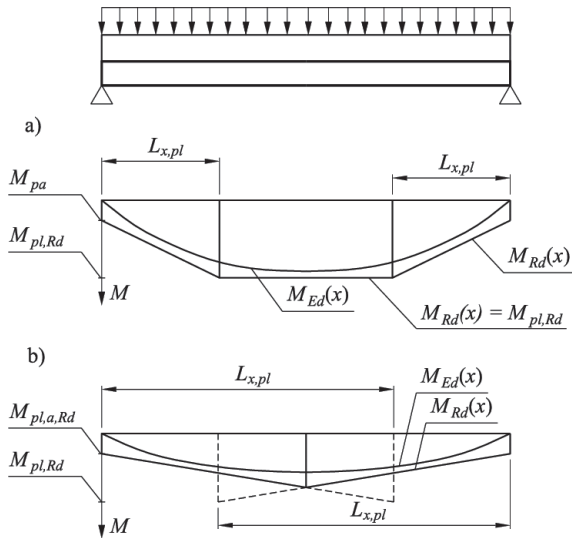
$$M_{Rd}(x) = \min \left\{ \begin{array}{l} M_{pa} + (M_{pl,Rd} - M_{pa})\eta \\ M_{pl,Rd} \end{array} \right. \quad (14)$$



Rys. 7. Uproszczona metoda wyznaczania nośności na częściowe zespolenie [7]

Na rysunku 8a i b pokazano graficzną interpretację wzoru (14) na przykładzie równomiernie obciążonej swobodnie podpartej płyty zespolonej. Aby przekrój miał dostateczną nośność na zginanie, w każdym z punktów na długości elementu wykres momentów zginających musi zawierać się w wieloboku reprezentującym obwiednię nośności na zginanie z uwzględnieniem częściowego zespolenia.

Zgodnie z przyjętym w metodzie graficznej uproszczeniem nośność przekroju na zginanie zwiększa się liniowo na długości $L_{x,pl}$ wyrażonej wzorem (7) – od wartości M_{pa} do wartości $M_{pl,Rd}$. Jeżeli rozpiętość przęsła, w przypadku schematu płyty swobodnie podpartej, będzie mniejsza od wartości $2L_{x,pl}$, a w elemencie nie zastosowano zakotwień



Rys. 8. Graficzna metoda sprawdzenia nośności na zginanie płyt zespolonych z blachami fałdowymi przy częściowym zespoleniu [7]

końców blach, to w żadnym przekroju nie osiągnie się pełnego zespolenia (por. rys. 8b). W przeciwnym przypadku w środkowej części elementu osiąga się pełne zespolenie (por. rys. 8a). W materiałach udostępnianych przez producentów blach, np. [1, 2], są zamieszczone tablice z informacjami o nośności stropu zespolonego przy danej blasze i grubości płyty. Jednak są to nośności wyznaczone przy założeniu pełnego zespolenia, które w rzeczywistości może nie wystąpić w przekroju.

Jeżeli zastosowano dodatkowe zbrojenie dołem, które ponadto jest należycie zakotwione, to nośność na zginanie w przekroju podporowym (brak zespolenia, $\eta = 0$) jest sumą nośności plastycznej blachy M_{pa} i nośności przekroju żelbetowego $M_{pl,c,Rd}$

$$M_{Rd} = M_{pa} + M_{pl,c,Rd} \quad (15)$$

Na odcinku od braku zespolenia ($\eta = 0$) do pełnego zespolenia ($\eta = 1$), zakładając liniowy przyrost nośności (co jest pewnym uproszczeniem po stronie bezpiecznej, więcej informacji zawarto w [7]), nośność przekroju można wyznaczyć ze wzoru

$$M_{Rd}(x) = M_{pa} + M_{pl,c,Rd} + \left(M_{pl,Rd} - M_{pa} - M_{pl,c,Rd} \right) \frac{N_c}{N_{c,f}} \quad (16)$$

Podobnie jak w przypadku nośności przekroju obliczonej bez uwzględnienia zbrojenia – wzór (14) – nośność przekroju wyznaczona w sposób uproszczony ze wzoru (16) nie może być większa od nośności plastycznej przekroju $M_{pl,Rd}$ wyznaczonej z uwzględnieniem zbrojenia. Powyższe zasady zilustrowano na rys. 9a (w środkowej części elementu osiąga się pełne zespolenie) i rys. 9b (rozpiętość przęsła jest zbyt mała do osiągnięcia pełnego zespolenia).

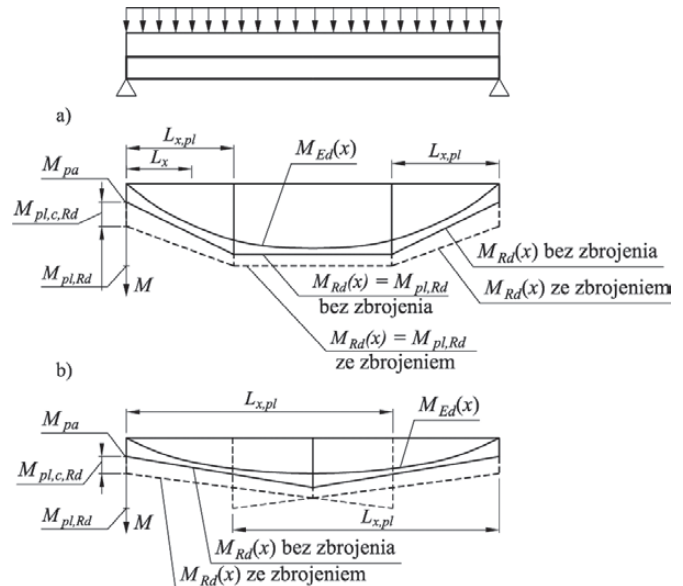
Siłę $N_{c,f}$ we wzorze (16) należy wyznaczyć z pominięciem ewentualnego dodatkowego zbrojenia dolnego, gdyż jest ono powiązane przez przyczepność z betonem, a układ „dodatkowy pręt – beton” działa jak płyta żelbetowa, zwiększając jej nośność na zginanie [7].

Przykład obliczeniowy

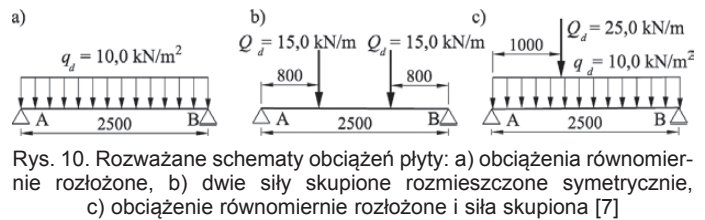
Sprawdzić nośność na ścinanie podłużne metodą $m-k$ oraz metodą częściowego zespolenia stropu zespolonego o schematach statycznych pokazanych na rys. 10.

Dane:

– grubość całkowita stropu $h = 120$ mm,



Rys. 9. Graficzna metoda sprawdzenia nośności na zginanie płyt na blasze fałdowej przy częściowym zespoleniu – wpływ zbrojenia w fałdzie [7]



Rys. 10. Rozważane schematy obciążeń płyty: a) obciążenia równomiernie rozłożone, b) dwie siły skupione rozmieszczone symetrycznie, c) obciążenie równomiernie rozłożone i siła skupiona [7]

– beton klasy C30/37, $f_{cd} = 21,4$ MPa,
 – blacha $A_p = 10,29$ cm²/m, $e = 33,3$ mm, $e_p = 39,55$ mm,
 $m = 92,5$ MPa, $k = 0,056$ MPa, $\tau_{u,Rd} = 0,100$ MPa,
 $M_{pa} = 7,65$ kN·m, $f_{yp,d} = 350$ MPa, $E_s = 210$ GPa.

• Metoda $m-k$

$$d_p = h - e = 12 - 3,33 = 8,67 \text{ cm.}$$

Sprawdzenie w przypadku schematu statycznego pokazanego na rys. 10a

Długość strefy ścinania

$$L_s = \frac{L}{4} = \frac{250}{4} = 62,5 \text{ cm.}$$

Wartość siły poprzecznej na podporze

$$V_a = \frac{q_d l}{2} = \frac{10 \cdot 2,5}{2} = 12,5 \text{ kN/m.}$$

Obliczeniowa nośność na ścinanie podłużne

$$V_{1,Rd} = \frac{bd_p}{\gamma_{vs}} \left(\frac{mA_p}{bL_s} + k \right) = \frac{100 \cdot 8,67}{1,25} \cdot \left(\frac{9,25 \cdot 10,29}{100 \cdot 62,5} + 0,0056 \right) = 14,4 \text{ kN/m} > V_a = 12,5 \text{ kN/m.}$$

Sprawdzenie w przypadku schematu statycznego pokazanego na rys. 10b

Długość strefy ścinania $L_s = 80$ cm.

Wartość siły poprzecznej na podporze $V_a = 15,0$ kN/m.

Obliczeniowa nośność na ścinanie podłużne

$$V_{1,Rd} = \frac{bd_p}{\gamma_{vs}} \left(\frac{mA_p}{bL_s} + k \right) =$$

$$= \frac{100 \cdot 8,67}{1,25} \cdot \left(\frac{9,25 \cdot 10,29}{100 \cdot 80} + 0,0056 \right) =$$

$$= 12,1 \text{ kN/m} < V_a = 15,0 \text{ kN/m}.$$

Sprawdzenie w przypadku schematu statycznego pokazanego na rys. 10c

Maksymalny moment zginający w przęśle $M_{Ed} = 22,5 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$.

Maksymalna siła poprzeczna na podporze: $V_{\max} = V_A = 27,5 \text{ kN/m}$.

Długość strefy ścinania

$$L_s = \frac{M_{Ed}}{V_{\max}} = \frac{22,5}{27,5} \cdot 10^2 = 81,8 \text{ cm}.$$

Obliczeniowa nośność na ścinanie podłużne

$$V_{1,Rd} = \frac{bd_p}{\gamma_{vs}} \left(\frac{mA_p}{bL_s} + k \right) =$$

$$= \frac{100 \cdot 8,67}{1,25} \cdot \left(\frac{9,25 \cdot 10,29}{100 \cdot 81,8} + 0,0056 \right) =$$

$$= 11,9 \text{ kN/m} < V_a = 27,5 \text{ kN/m}.$$

• Metoda częściowego zespolenia

Odległość potrzebna do uzyskania pełnego zespolenia

$$L_{x,pl} = \frac{N_{c,f}}{\tau_{u,Rd} b} = \frac{f_{yp,d} A_p}{\tau_{u,Rd} b} = \frac{35 \cdot 10,29}{0,01 \cdot 100} = 360,1 \text{ cm} = 3,60 \text{ m}.$$

Odległość ta jest większa od połowy rozpiętości płyty, tak więc w płycie nie uzyskuje się pełnego zespolenia, a nośność przekroju nie osiąga nośności plastycznej na zginanie.

Metoda analityczna. Korzystając z arkusza obliczeniowego nr 1 dołączonego do [7], otrzymano zasięg strefy ściskanej $x_{pl} = 1,98 \text{ cm}$ i nośność plastyczną przekroju w pełni zespolonego $M_{pl,Rd} = 27,6 \text{ kN}\cdot\text{m}$. Dalsze obliczenia przeprowadzono w kolejnych przekrojach co 0,2 m, korzystając ze wzorów (9)-(13), i zamieszczono w tabl. 1.

Metoda graficzna. Przyjęto liniowy przyrost nośności przekroju na zginanie od $M_{pa} = 7,65 \text{ kN}\cdot\text{m}$ na początku płyty do $M_{pl,Rd} = 27,6 \text{ kN}\cdot\text{m}$ w odległości $L_{x,pl}$. Wyniki przedstawiono na rys. 11.

Porównanie wyników

W przypadku schematu statycznego przedstawionego na rys. 10b, nośność obliczona metodą $m-k$ okazała się niewystarczająca, natomiast w przypadku zastosowania metody częściowego zespolenia warunek nośności został spełniony. Zdaniem autorów bardziej wiarygodne są wyniki uzyskane metodą częściowego zespolenia, gdyż ta metoda opiera się na modelu mechanicznym, natomiast metoda $m-k$ jest metodą empiryczną. Ostateczna decyzja dotycząca sposobu sprawdzenia należy do projektanta.

W przypadku schematu pokazanego na rys. 10c nośność elementu wyznaczona zarówno z wykorzystaniem metody $m-k$, jak również metody częściowego zespolenia okazała się niewystarczająca. Aby zwiększyć nośność przekroju, należałoby zmienić typ lub grubość blachy bądź zastosować dodatkowe zbrojenie i/lub uwzględnić zakotwienie końców blach. Uwzględnienie tych czynników jest możliwe tylko w razie zastosowania metody częściowego zespolenia.

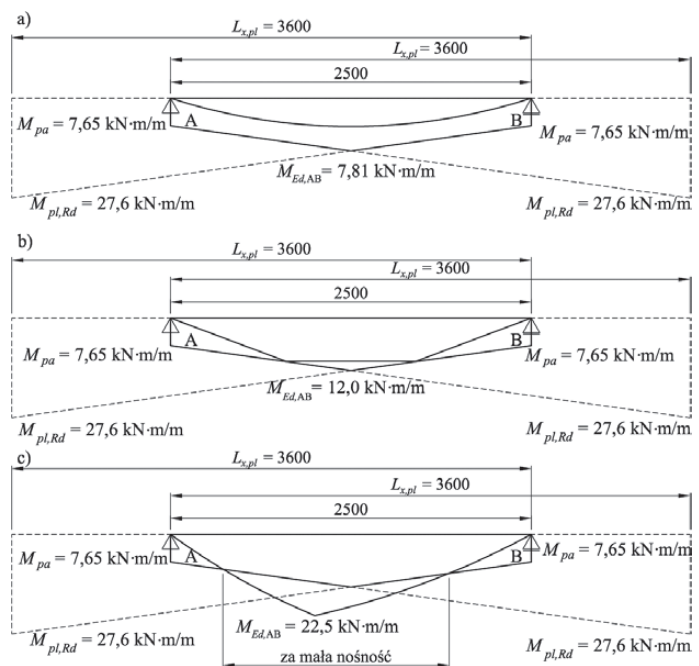
Tablica 1
Sprawdzenie nośności na ścinanie podłużne schematów pokazanych na rys. 10

L_x	m	0,00	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,25
$N_c(L_x)$	kN/m	0,0	20,0	40,0	60,0	80,0	100,0	120,0	125,0
η	–	0,00	0,06	0,11	0,17	0,22	0,28	0,33	0,35
z	cm	6,86	6,89	6,93	6,96	7,00	7,03	7,07	7,08
$M_{Rd}(x)$	kN·m/m	0,00	1,38	2,77	4,18	5,60	7,03	8,48	8,84
M_{pr}	kN·m/m	7,65	7,65	7,65	7,65	7,44	6,91	6,38	6,24
M_{Rd}	kN·m/m	7,65	9,03	10,42	11,83	13,04	13,94	14,86	15,09

Schemat – rys. 10a									
M_{Ed}	kN·m/m	0,00	2,30	4,20	5,70	6,80	7,50	7,80	7,81
$M_{Ed} < M_{Rd}(x)$		TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK

Schemat – rys. 10b									
M_{Ed}	kN·m/m	0,00	3,00	6,00	9,00	12,00	12,00	12,00	12,00
$M_{Ed} < M_{Rd}(x)$		TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK

Schemat – rys. 10c									
M_{Ed}	kN·m/m	0,00	5,30	10,20	14,70	18,80	22,50	20,80	20,31
$M_{Ed} < M_{Rd}(x)$		TAK	TAK	TAK	NIE	NIE	NIE	NIE	NIE



Rys. 11. Sprawdzenie nośności na podłużne ścinanie metodą graficzną: a) obciążenia równomiernie rozłożone, b) dwie siły skupione rozmieszczone symetrycznie, c) obciążenie równomiernie rozłożone i siła skupiona [7]

W tablicy 2 i na rys. 12 porównano nośności kolejnych przekrojów poprzecznych płyty zespolonej, wyznaczone metodą częściowego zespolenia z wykorzystaniem metody analitycznej oraz graficznej. Największe różnice w wynikach obliczeń uzyskanych obiema metodami wyniosły około 8%. W przypadku metody graficznej (uproszczonej) otrzymano nieco mniejsze wartości nośności na zginanie niż w przypadku metody analitycznej.

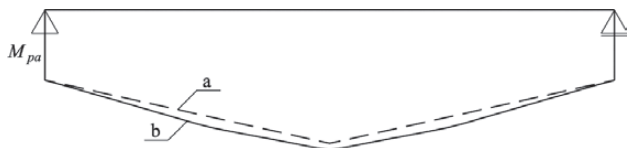
Podsumowanie

Projektując stropy zespolone z blachami fałdowymi, oprócz sprawdzenia nośności na zginanie oraz nośności na ścinanie poprzeczne należy sprawdzić nośność płyty z uwzględnieniem ścinania podłużnego (rozwarstwienia). W normie [8] zamieszczono dwa niezależne sposoby sprawdzenia, tj. metodę $m-k$ i metodę częściowego zespolenia. Pierwsza z nich jest metodą empiryczną,

Tablica 2

Porównanie wyników otrzymanych metodą analityczną i graficzną

L_x , m	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,25
M_{Rd} – metoda analityczna, kN·m	7,65	9,03	10,42	11,83	13,04	13,94	14,86	15,09
M_{Rd} – metoda graficzna, kN·m	7,65	8,76	9,87	10,98	12,08	13,19	14,30	14,58
Różnica, %	0	-3	-6	-8	-8	-7	-5	-5



Rys. 12. Nośność na zginanie przy częściowym zespoleniu obliczona metodą: a) graficzną, b) analityczną [7]

polegającą na porównaniu poprzecznej siły ścinającej z obliczeniową nośnością wyznaczoną z zastosowaniem współczynników m i k otrzymanych z badań. Druga z tych metod opiera się na sprawdzeniu nośności przekroju na zginanie z uwzględnieniem zredukowanej (na długości L_x) siły w ściskanej części betonowej zależnej od wartości naprężeń przyczepności uzyskanej z badań płyt.

Sprawdzenia tego można dokonać w sposób analityczny bądź graficzny, co zostało przedstawione w niniejszym artykule. Stosując metodę graficzną w przedstawionym przykładzie, uzyskano bardziej konserwatywne wyniki niż w przypadku metody analitycznej.

PIŚMIENNICTWO I WYKORZYSTANE MATERIAŁY

- [1] Broszura techniczna: GlobalFloor. Cofraplus 60. Tablice obciążeń.
- [2] Broszura techniczna: GlobalFloor. Cofrastra 70. Tablice obciążeń.
- [3] Ekberg C.E., Schuster R.M.: Floor Systems with Composite Form Reinforced Concrete Slabs. IABSE, New York, Final Report 1986.
- [4] Niedośpiąt M., Grzeszykowski B., Szmigiera E.: Projektowanie stropów zespolonych na blachach fałdowych według Eurokodu 4. "Przewodnik Projektanta", nr 1/2018.
- [5] Niedośpiąt M., Grzeszykowski B., Szmigiera E.: Projektowanie stropów zespolonych z blachami fałdowymi – plastyczna nośność na zginanie i minimum zbrojenia. „Inżynieria i Budownictwo”, nr 4/2019.
- [6] Porter M.L., Ekberg C.E.: Investigation of cold-formed steel-deck-reinforced floor slabs, Proc. 1 st International Speciality Conference on Cold-Formed Steel. Ed.: W.W.Yu, 1971.
- [7] Szmigiera E., Niedośpiąt M., Grzeszykowski B.: Projektowanie konstrukcji zespolonych stalowo-betonowych. Część 1. Elementy zginane. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2019.
- [8] PN-EN 1994-1-1:2008 Eurokod 4: Projektowanie zespolonych konstrukcji stalowo-betonowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [9] PN-EN 1990:2004 Eurokod: Podstawy projektowania konstrukcji.