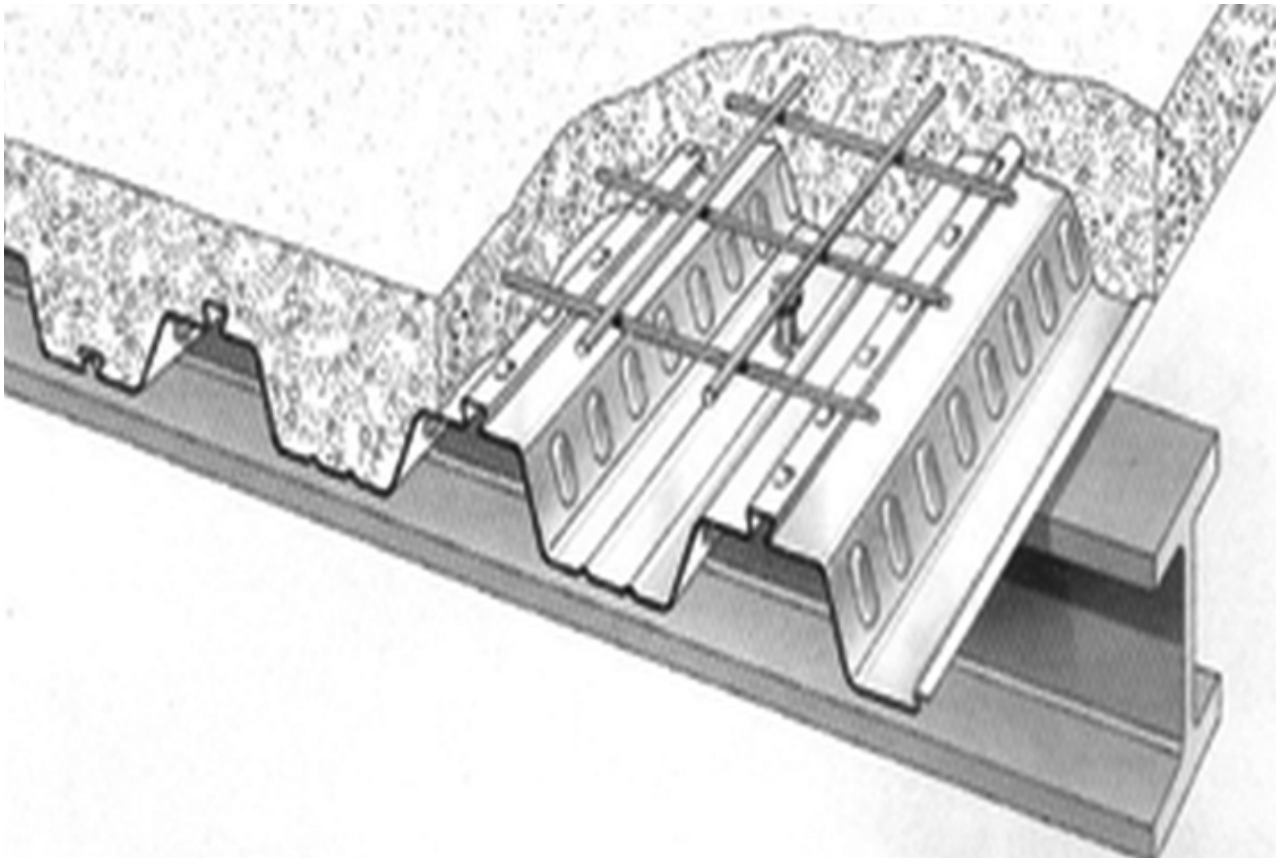
Projektowanie stropów zespolonych na blachach fałdowych według Eurokodu 4

Stropy zespolone na blachach fałdowych stanowią alternatywę dla stropów żelbetowych, szczególnie w przypadku, gdy inwestorowi zależy na skróceniu czasu wykonania inwestycji.

Stropy na blasze fałdowej stosowane są w budownictwie od wielu lat, choć nie są to powszechnie spotykane rozwiązania. Wśród nich wyróżnić można trzy najczęściej stosowane:
a) blacha fałdowa nie współpracuje z betonem, na etapie realizacji jest tyko pomostem roboczym i stanowi szalunek tracony płyty, a na etapie użytkowym naprężenia rozciągające przenosi odpowiednio zaprojektowane zbrojenie
b) blacha fałdowa jest elementem nośnym zarówno na etapie realizacji, jak i na etapie użytkowym, płyta betonowa stanowi tylko wypełnienie i nie przenosi obciążeń
c) blacha fałdowa współpracuje z płytą betonową, na etapie realizacji jest pomostem roboczym, a na etapie użytkowym stanowi zbrojenie dolne płyty.

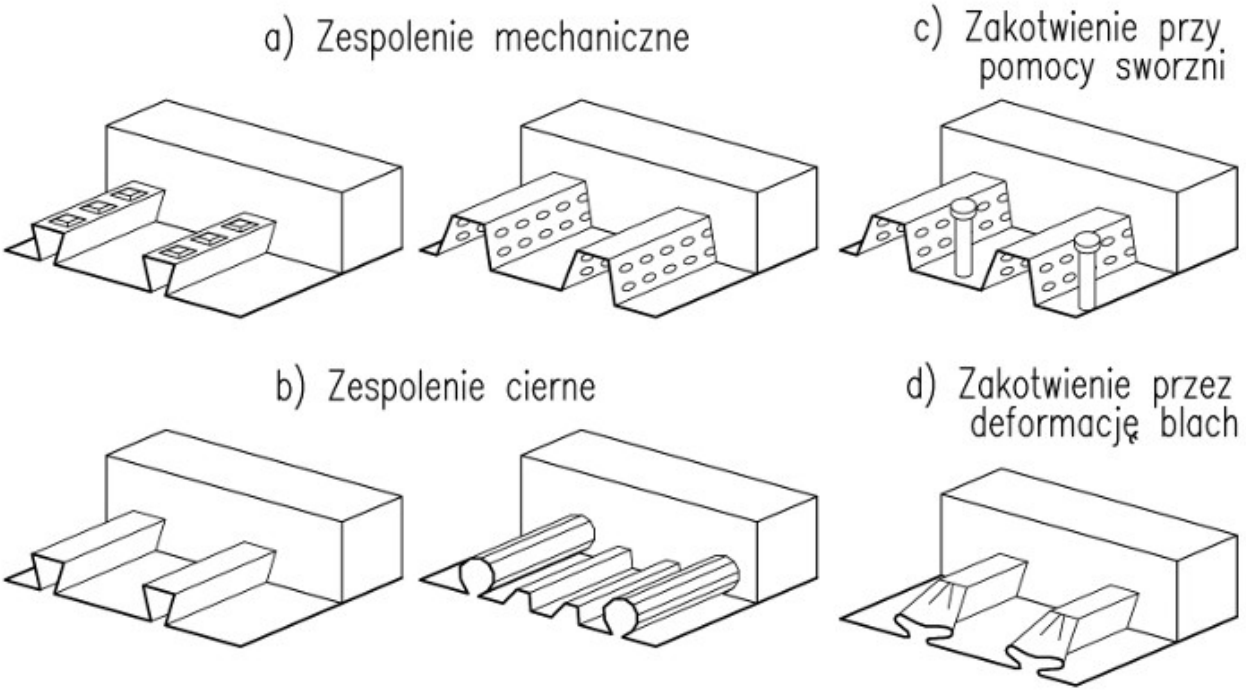
Dotychczas, przy projektowaniu tego typu stropów w Polsce, najczęstszym rozwiązaniem było wykorzystanie blachy jako szalunku traconego (przypadek a). Niemożność jej uwzględnienia jako dodatkowego zbrojenia wynikała przede wszystkim z braku dostępności odpowiednich blach na rynku polskim oraz z braku przepisów technicznych (norm) dotyczących projektowania tego typu stropów (pierwsze wytyczne dotyczące stropów zespolonych pojawiły się w normie z 2006 roku [N1]). Przykładowy schemat stropu zespolonego pokazano na rys.1.



Rys. 1. Przykład stropu zespolonego na blachach fałdowych [2]

Naturalna przyczepność, która występuje pomiędzy gładką blachą a betonem, jest niewystarczająca do przeniesienia sił pojawiających się na styku obu materiałów. Jednym z pierwszych rozwiązań, umożliwiających włączenie blachy do współpracy przy przenoszeniu naprężeń rozciągających było spawanie prętów zbrojeniowych prostopadle do fałd. Było to rozwiązanie czasochłonne i kosztowne, obecnie nie jest stosowane.

Zgodnie z zapisami normy [N6] współpraca płyty betonowej i blachy może być zapewniona poprzez:
a) zespolenie mechaniczne (wytłoczenia, karby, rys. 2a)
b) zespolenie cierne typu „jaskółczy ogon" (odpowiednie ukształtowanie fałd blachy w formie wklęsłej wywołującej docisk blachy do betonu, rys. 2b)
c) zakotwienie końców blachy poprzez zastosowanie sworzni lub innych łączników (łącznie z zespoleniem mechanicznym lub ciernym, rys. 2c)
d) zakotwienie końców poprzez deformację fałdy blachy na końcach (łącznie z zakotwieniem ciernym, rys. 2d).



Rys. 2. Typowe sposoby zespolenia blachy profilowej z płytą betonową wg [N6] (opis w tekście)

Można także stosować inne sposoby zapewnienia wzajemnej współpracy blachy i betonu, ale nie są one ujęte w [N6].
Zaletami stropów zespolonych na blachach fałdowych jest brak konieczności wykonywania szalowania płyty i stosowania dodatkowych podpór montażowych (przy zastosowaniu odpowiedniej blachy), szybkość i prostota montażu, możliwość wykonywania jednocześnie kilku kondygnacji, redukcja ciężaru 1 m^2 płyty stropowej w porównaniu do płyty pełnej (co przekłada się na zmniejszenie ciężaru własnego całej konstrukcji). Wadą jest większe zużycie stali, a tym samym większy koszt materiałów czy konieczność wykonywania specjalnych zabiegów w celu uzyskania wyższej klasy odporności ogniowej (sufit podwieszany, dodatkowe zbrojenie w przęśle). Ponadto, w przypadku blach o zespoleniu ciernym („jaskółczy ogon") pojawiają się ograniczenia w transporcie (te o zespoleniu mechanicznym, na skutek wzajemnego dopasowania, mogą być transportowane w większej liczbie).

Materiały

Według [N6] właściwości materiałowe stali i betonu można przyjmować zgodnie z odpowiednimi normami [N3], [N5]. Odstępstwa od tych norm dotyczą np. przyjętego modelu materiału. Norma [N6] zakłada model sztywno-plastyczny zachowania się betonu i stali przyjmując jako graniczne naprężenia ściskające w betonie wartość $0{,}85f_{cd}$ (f_{cd} – obliczeniowa wytrzymałość betonu na ściskanie). Ponadto ogranicza się

stosowanie betonów do klas nie niższych niż C20/25 (beton zwykły) i LC20/22 (beton lekki) oraz nie wyższych niż odpowiednio: C60/75 i LC60/66.
Minimalna zalecana grubość blachy poszycia to 0,7 mm. Z uwagi na trwałość, powierzchnia, która jest narażona na czynniki atmosferyczne powinna być zabezpieczona przed korozją. Najczęściej zabezpiecza się ją poprzez powłoki cynkowe, przy czym w normie [N6] zawarty jest zapis, że obustronne powłoki cynkowe o masie 275 g/m^2 są wystarczające do zapewnienia trwałości w nieagresywnym środowisku. Najczęściej stosowana jest stal S320GD i S350GD o granicy plastyczności odpowiednio 320 MPa i 350 MPa. Właściwości stali zbrojeniowej należy przyjmować zgodnie z danymi zawartymi w normie [N3], przy czym obliczeniową wartość modułu sprężystości można przyjmować równą 210 GPa (zgodnie z [N4]).

Zasady projektowania

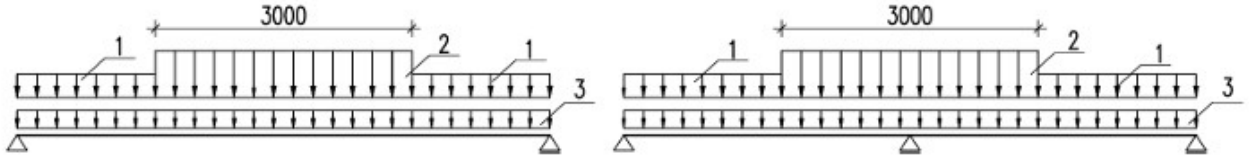
Specyfiką stropów zespolonych na blachach fałdowych jest fakt, że przy projektowaniu należy rozważyć co najmniej dwie sytuacje obliczeniowe: montażową, kiedy obciążenia działają na samą blachę poszycia i użytkową, gdy blacha pracuje jako zespolona z betonem.

1. Sytuacja montażowa

W tej sytuacji oddziaływania na blachę poszycia to m.in.: ciężar własny blachy, ciężar świeżej mieszanki betonowej (zwiększony o 1,0 kN/m^3 w stosunku do betonu stwardniałego) z uwzględnieniem ewentualnego zwiększonego ciężaru od ugięcia blachy (jeśli ugięcie blachy od ciężaru własnego i świeżego betonu będzie większe od 1/10 rozpiętości, w sposób uproszczony można przyjąć, że grubość betonu została zwiększona w całym przęśle o 0,7 obliczonego ugięcia, przy mniejszym ugięciu można pominąć zwiększenie obciążeń), obciążenie montażowe zgodnie z [N2], obciążenie od ewentualnego składowania materiałów. Typowe, zalecane obciążenia wykonawcze, na podstawie [N2], zamieszczono w tab. 1.

Tab. 1. Zalecane obciążenie wykonawcze w czasie układania betonu wg [N2]

Oddziaływanie	Obciążona powierzchnia	Obciążenie
1	Na zewnątrz stanowiska pracy	0,75 kN/m^2
2	Na stanowisku pracy 3 m x 3 m lub na długości nie mniejszej niż rozpiętość przęsła	10% ciężaru własnego betonu, lecz nie mniej niż 0,75 kN/m^2 i nie więcej niż 1,5 kN/m^2
3	Rzeczywista powierzchnia	Ciężar własny form, elementu nośnego oraz ciężar świeżego betonu o projektowanej grubości



Sprawdzenie blachy poszycia należy wykonać zgodnie z wytycznymi zawartymi w normie [N5] (z uwzględnieniem wpływu wytłoczeń lub karbów na nośność obliczeniową) lub skorzystać z danych udostępnianych przez producentów blach. Jeśli blacha obciążona jest jednocześnie momentem zginającym i siłą poprzeczną (np. w przekrojach podporowych), oprócz sprawdzenia nośności na zginanie ($M_{Ed}/M_{c,Rd} \leq 1$) i ścinanie poprzeczne ($F_{Ed}/R_{w,Rd} \leq 1$), należy także sprawdzić warunek interakcji momentu zginającego i siły poprzecznej:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} + \frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd}} \leq 1{,}25$$

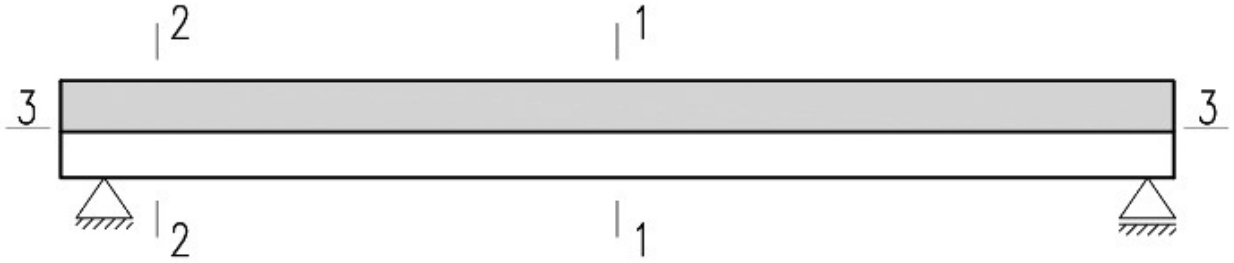
2. Sytuacja użytkowa

Do wyznaczenia sił wewnętrznych w SGN, zgodnie z pkt. 9.4.2 normy [N6], można stosować liniową analizę

sprężystą z redystrybucją lub bez redystrybucji, analizę globalną (sztywno-plastyczną), jeżeli można wykazać, że przekroje, w których mogą powstać obroty plastyczne mają odpowiednią zdolność do obrotu lub analizę sprężysto-plastyczną, uwzględniającą nieliniowe właściwości materiału. W przypadku SGU stosuje się analizę sprężystą. Jako uproszczenie obliczeń, w myśl postanowień normy [N6], płytę ciągłą można projektować jako szereg płyt swobodnie podpartych, stosując dodatkowe zbrojenie nad podporami pośrednimi ograniczające zarysowanie.

2.1. Stan Graniczny Nośności (SGN)

Na rys. 3. pokazano potencjalne przekroje krytyczne występujące w jednoprzęsłowym swobodnie podpartym stropie zespolonym. Oprócz nośności na zginanie (przekrój 1–1) i ścinanie poprzeczne (przekrój 2–2), należy także sprawdzić nośność na ścinanie podłużne (przekrój 3–3). W przypadku płyty ciągłej należy również sprawdzić nośność na zginanie nad podporami pośrednimi.



Rys. 3. Potencjalne przekroje krytyczne w stropach zespolonych

■ Nośność na zginanie przekroju w pełni zespolonego $M_{pl,Rd}$

W strefie pełnego zespolenia i momentu dodatniego nośność plastyczną przekroju na zginanie oblicza się stosując teorię sztywno-plastyczną, w której zakłada się pełne uplastycznienie blachy fałdowej ($f_{yp,d}$) i ewentualnych dodatkowych prętów zbrojeniowych (f_{sd}) oraz, że obliczeniowa wytrzymałość betonu na ściskanie wynosi $0{,}85f_{cd}$. W przypadku obliczania nośności przekroju na moment ujemny zazwyczaj pomija się blachę poszycia (można ją uwzględnić w obliczeniach gdy jest ciągła, a w sytuacji montażowej nie była stosowana redystrybucja momentów z uplastycznieniem podporowego przekroju poprzecznego). Podczas obliczania należy uwzględnić różne przypadki położenia osi obojętnej.

Dodatni moment zginający – oś plastyczna powyżej profilu blachy

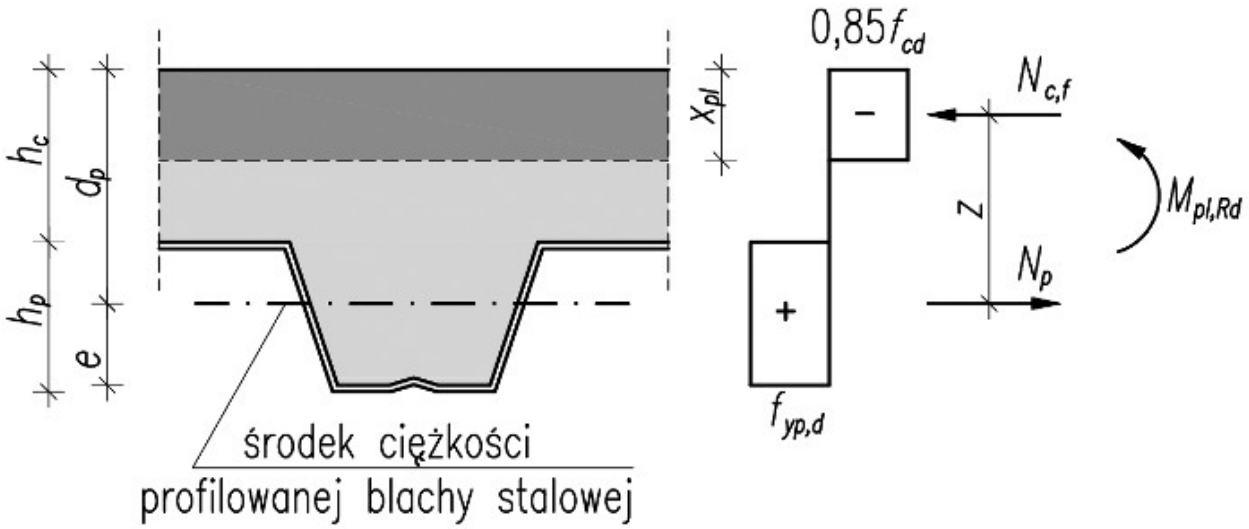
Przy braku dodatkowego zbrojenia w fałdzie, oś plastyczna zginania zlokalizowana będzie powyżej profilu blachy, jeśli spełniony będzie warunek:

$$0{,}85 f_{cd} b h_c \geq f_{yp,d} A_{pe}$$

gdzie: A_{pe} – pole efektywnego przekroju poprzecznego blachy stalowej

b – rozważana szerokość (1 m).

Rozkład naprężeń w przekroju odpowiadający takiemu przypadkowi pokazano na rys. 4.



Rys. 4. Rozkład naprężeń w przypadku dodatniego momentu zginającego, gdy oś obojętna znajduje się ponad profilem blachy

Zasięg strefy ściskanej x_{pl} i nośność przekroju $M_{pl,Rd}$ wyznacza się ze wzorów:

$$x_{pl} = \frac{f_{yp,d} A_{pe}}{0,85 f_{cd} b}$$

$$M_{pl,Rd} = 0,85 f_{cd} b\, x_{pl} \left(d_p - 0,5 x_{pl}\right)$$

Jeśli zastosowano dodatkowe zbrojenie dolne w fałdzie, to warunek na usytuowanie osi obojętnej w przekroju przybiera postać:

$$0,85 f_{cd} b h_c \geq f_{yp,d} A_{pe} + f_{sd} A_s$$

Zasięg strefy ściskanej x_{pl} i nośność przekroju $M_{pl,Rd}$ wynosi wtedy:

$$x_{pl} = \frac{f_{yp,d} A_{pe} + f_{sd} A_s}{0,85 f_{cd} b}$$

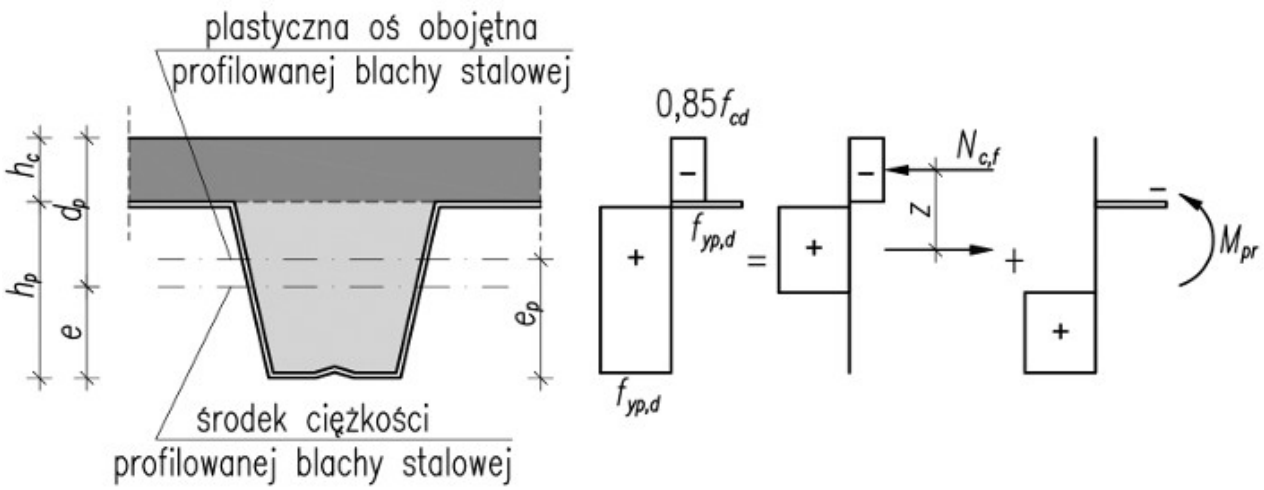
$$M_{pl,Rd} = 0,85 f_{cd} b\, x_{pl} \left(d_p - 0,5 x_{pl}\right) + f_{sd} A_s \left(d_s - d_p\right)$$

gdzie: As – pole powierzchni zbrojenia przypadające na rozważaną szerokość
d_s – odległość od krawędzi ściskanej betonu do środka ciężkości zbrojenia.

Dodatni moment zginający – oś plastyczna w profilu blachy
Sytuacja taka, przy braku dodatkowego zbrojenia, będzie miała miejsce jeżeli:

$$0,85 f_{cd} b h_c < f_{yp,d} A_{pe}$$

Rozkład naprężeń w przekroju, odpowiadający takiemu przypadkowi pokazano na rys. 5.



Rys. 5. Rozkład naprężeń w przypadku dodatniego momentu zginającego, gdy oś obojętna znajduje się w profilu blachy

Wówczas ramię sił wewnętrznych określa się w sposób przybliżony ze wzoru:

$$z = h - 0{,}5h_c - e_p + (e_p - e)\frac{0{,}85 f_{cd} b h_c}{A_{pe} f_{yp,d}}$$

Nośność plastyczną przekroju określa się ze wzoru:

$$M_{pl,Rd} = 0{,}85 f_{cd} b h_c z + M_{pr}$$

w którym:

$$M_{pr} = 1{,}25 M_{pa}\left(1 - \frac{N_{cf}}{A_{pe} f_{yp,d}}\right) \le M_{pa}$$

W powyższych wzorach:
M_{pa} – obliczeniowa nośność plastyczna na zginanie efektywnego przekroju blachy fałdowej
M_{pr} - zredukowana nośność plastyczna na zginanie przekroju blachy fałdowej

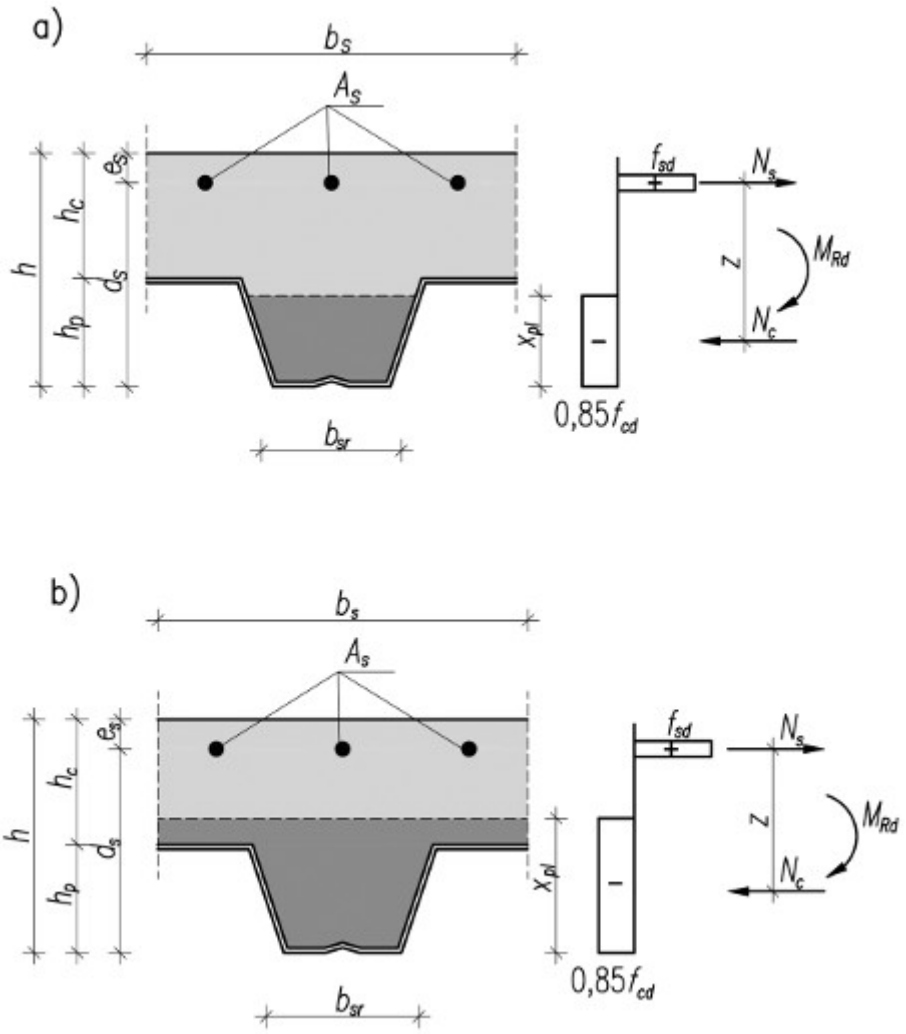
W przypadku zastosowania dodatkowego zbrojenia, warunek sprawdzający położenie osi obojętnej w przekroju przyjmuje postać:

$$0{,}85 f_{cd} b h_c < f_{yp,d} A_{pe} + f_{sd} A_s$$

Wówczas obliczenia nośności przekroju komplikują się i najłatwiej wówczas skorzystać z arkusza kalkulacyjnego dołączonego do książki [10].

Ujemny moment zginający – oś plastyczna w profilu blachy

Rozkład naprężeń w przypadku przekroju pozornie i rzeczywiście teowego pokazano na rys. 6.



Rys. 6. Rozkład naprężeń przy ujemnym momencie zginającym, gdy pomija się udział blachy w przypadku przekroju a) pozornie teowego, b) rzeczywiście teowego

Przekrój jest pozornie teowy, jeśli:

$$0,85 f_{cd} b_{sr} h_p \geq f_{sd} A_s$$

Wówczas zasięg strefy ściskanej x_{pl} wyznacza się ze wzoru:

$$x_{pl} = \frac{f_{sd} A_s}{0,85 f_{cd} b_{sr}}$$

A nośność przekroju jest równa:

$$M_{Rd} = 0,85 f_{cd} b_{sr} x_{pl} \left(d_s - 0,5 x_{pl} \right)$$

W przypadku przekroju rzeczywiście teowego zasięg strefy ściskanej x_{pl} wyznacza się ze wzoru:

$$x_{pl} = \frac{f_{sd} A_s}{0{,}85 f_{cd} b_s} + h_p \left(1 - \frac{b_{sr}}{b_s} \right)$$

A nośność przekroju:

$$M_{Rd} = 0{,}85 f_{cd} \left[b_{sr} x_{pl} \left(d_s - 0{,}5 x_{pl} \right) + \left(b_s - b_{sr} \right) \left(x_{pl} - h_p \right) \left(d_s - h_p - 0{,}5 \left(x_{pl} - h_p \right) \right) \right]$$

Tak obliczona nośność przekroju jest wielkością odpowiadającą jednej fałdzie, aby uzyskać wyniki na 1 m szerokości płyty należy ją przemnożyć przez $100/b_s$.
gdzie: b_s – rozstaw fałd
b_{sr} – średnia szerokość strefy ściskanej w fałdzie.

■ Nośność na ścinanie podłużne
W [N6] wyróżniono dwa sposoby sprawdzenia podłużnego ścinania: metodę m-k oraz metodę częściowego zespolenia. W normie [N6] zawarto szczegółowe informacje dotyczące stosowania obu metod.

Metoda m-k
Jest metodą empiryczną, opracowaną w latach 60. XX wieku. Przy jej stosowaniu nie ma możliwości uwzględnienia dodatkowego zbrojenia lub zakotwienia końców blachy. Należy wykazać, że maksymalna wartość obliczeniowej siły ścinającej V_{Ed} na szerokości płyty b jest nie większa od obliczeniowej nośności płyty na ścinanie określonej wzorem:

$$V_{1,Rd} = \frac{b d_p}{\gamma_{vs}} \left(\frac{m A_p}{b L_s} + k \right)$$

gdzie: b – rozpatrywana szerokość płyty w mm
m,k – obliczeniowe wartości współczynników empirycznych, w N/mm2, otrzymane z badań płyty
A_p – pole przekroju blachy profilowanej w strefie rozciąganej na szerokości b
γ_{vs} – częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla stanu granicznego nośności
L_s – długość strefy ścinania przyjmowana:
– w przypadku obciążenia równomiernie rozłożonego 0,25L (w płycie ciągłej długość przęsła można przyjmować jako 0,8L dla przęsła wewnętrznego i 0,9L dla przęsła zewnętrznego); L jest rozpiętością przęsła
– w przypadku dwóch obciążeń jednakowych i symetrycznie rozmieszczonych – odległość między obciążeniem skupionym, a najbliższą podporą
– w przypadku innych rozkładów obciążeń należy dokonać oceny na podstawie wyników badań lub przyjąć w przybliżeniu jako iloraz momentu maksymalnego podzielonego przez największą wartość siły poprzecznej na podporze rozpatrywanego przęsła.

Metoda częściowego zespolenia
Stosując tę metodę należy wykazać, że w każdym przekroju poprzecznym obliczeniowy moment zginający M_{Ed} jest nie większy od nośności płyty M_{Rd}. Sprawdzenia można dokonać metodą analityczną i graficzną.

Metoda analityczna

Nośność przekroju na zginanie w odległości L_x od podpory określa się ze wzoru:

$$M_{Rd} = M_{Rd}(L_x) + M_{pr}$$

w którym:

$$M_{Rd}(L_x) = N_c(L_x)z$$

Siłę w ściskanej części betonowej ogranicza się do wartości:

$$N_c(L_x) = \tau_{u,Rd} b L_x \leq N_{c,f} = 0{,}85 f_{cd} b x_{pl}$$

Pozostałe oznaczenia:

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

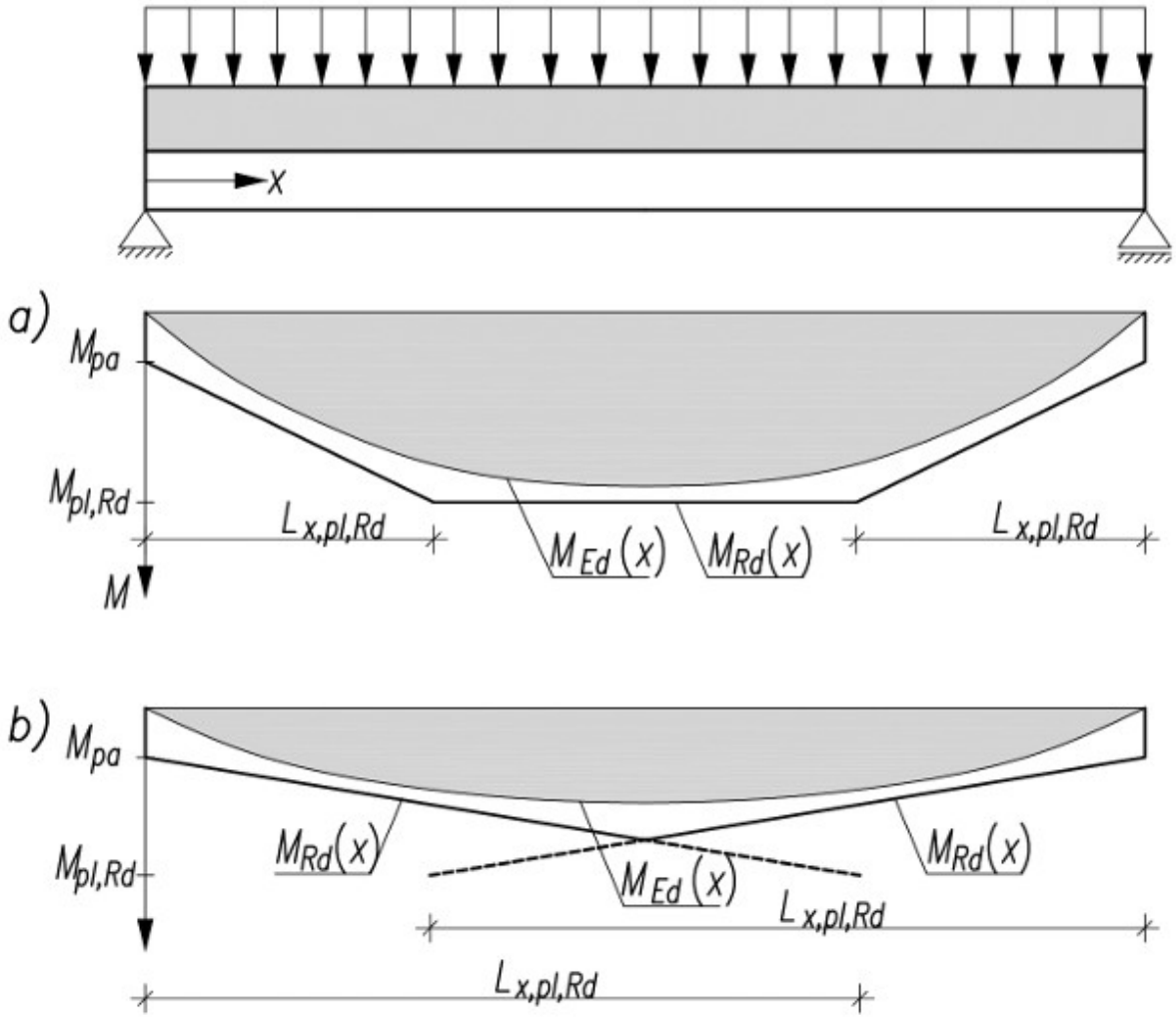
$$M_{pr} = \min\begin{cases} 1{,}25M_{pa}(1-\eta) \\ M_{pa} \end{cases}$$

$$\eta = \frac{N_c}{A_{pe} f_{yp,d}}$$

gdzie: $\tau_{u,Rd}$ – obliczeniowa wytrzymałość na ścinanie podłużne płyty zespolonej.

Metoda graficzna

W uproszczeniu zakłada się, że następuje liniowy przyrost nośności od wartości M_{pa} do $M_{pl,Rd}$ (podobnie jak zakłada się w przypadku belek częściowo zespolonych). Sposób sprawdzenia pokazano na rys. 7.



Rys. 7. Graficzna metoda sprawdzenia nośności na zginanie płyt na blasze fałdowej przy częściowym zespoleniu

Jak można zauważyć, w przypadku pokazanym na rys. 7b, może zaistnieć sytuacja, w której nie osiągnie się w płycie pełnego momentu plastycznego. Tak więc korzystanie tylko np. z tabel producenta podających nośność plastyczną przekroju przy danej grubości płyty może okazać się niewłaściwe.
Odległości $L_{x,pl,Rd}$ w przypadku blach obecnie spotykanych w Polce wynoszą od ok. 0,7 m do nawet 10,4 m (w zależności od typu blachy) [10].

■ Nośność na ścinanie pionowe

W przypadku obliczania nośności na ścinanie pionowe $V_{v,Rd}$ w normie [N6] odsyła się projektanta do normy projektowania konstrukcji żelbetowych [N3]. Pewnym problemem może być interpretacja wielkości A_{sl} i b_w (oznaczenia według [N3]) przyjmowanych do obliczeń nośności $V_{Rd,c}$. W przypadku podpór pośrednich pole A_{sl} w przekroju przy podporze będzie polem zastosowanego zbrojenia górnego. W przypadku przęsła skrajnego jako A_{sl}, o ile można wykazać, że blacha jest należycie zakotwiona, należy przyjąć pole powierzchni blachy fałdowej, w przeciwnym wypadku należy przyjąć wartość zerową. W odniesieniu do szerokości strefy ścinania można (jak w konstrukcjach żelbetowych) przyjąć szerokość b (średnia szerokość fałdy w przypadku profilu otwartego lub minimalna szerokość fałdy w przypadku profilu typu „jaskółczy ogon”). Podobną interpretację szerokości b_w znaleźć można w literaturze (np. [1, 7]).

■ Nośność na przebicie

Sprawdzenie nośności na przebicie stropów zespolonych na blasze fałdowej należy wykonać zgodnie z [N3] przyjmując obwód krytyczny zgodnie z rys. 9.8 normy [N6].

2.2 Stan Graniczny Użytkowalności (SGU)

■ Zarysowanie

W przypadku stropów na blasze fałdowej istnieje konieczność sprawdzenia zarysowania w obszarze momentu ujemnego.

Jeśli płyta ciągła projektowana była jako szereg płyt swobodnie podpartych, wówczas w myśl postanowień normy [N6], należy zastosować zbrojenie o przekroju nie mniejszym niż 0,2% przekroju poprzecznego betonu ponad fałdami i 0,4% dla konstrukcji montażowo podpartej.

Jeśli płyta projektowana była jako ciągła, wówczas nad podporami pośrednimi należy sprawdzić szerokość rys zgodnie z zasadami podanymi w normie [N3]. Szczegółowe omówienie zjawiska zarysowania w odniesieniu do konstrukcji żelbetowych znaleźć można m.in. w [3, 4 ,5], a pewne wybrane aspekty odnoszące się do stropów zespolonych w [6, 8, 9, 10].

■ Ugięcie

Końcowe ugięcie stropu zespolonego jest sumą ugięcia od obciążeń działających na samą blachę (ciężaru własnego i ciężaru mokrego betonu) i przyrostu obciążeń działających na element zespolony.

Sprawdzenie ugięć można pominąć, jeżeli zostaną spełnione równocześnie poniższe warunki [N6]:

a) stosunek rozpiętości przęsła l_{eff} do grubości płyty h nie przekracza wartości podanych w tab. 2 (wartości w tabeli odpowiadają wartościom zamieszczonym w [N3] dla betonu słabo ściskanego)

b) nie występuje efekt poślizgu końców blachy, przy czym według normy można uznać, że w przęsłach skrajnych można nie uwzględniać poślizgu, jeśli w badaniach początkowe obciążenie poślizgowe (czyli powodujące poślizg końców blachy o 0,5 mm) przekracza 1,2-krotnie wartość obliczeniowego obciążenia użytkowego.

Tabl. 2. Wartości stosunku l_{eff}/h w zginanych płytach zespolonych na podstawie [N3]

Rodzaj konstrukcji	l_{eff}/h
Jedno- lub dwukierunkowo zbrojone płyty swobodnie podparte	20
Skrajne przęsła jednokierunkowo zbrojonych płyt ciągłych lub dwukierunkowo zbrojonych płyt ciągłych wzdłuż co najmniej jednego kierunku	26
Wewnętrzne przęsła płyt jednokierunkowo lub dwukierunkowo zbrojonych	30
Wsporniki	8

W przypadku obliczenia ugięcia stosuje się analizę sprężystą z pominięciem efektów skurczu i dla wewnętrznych przęseł można stosować poniższe uproszczenia.

Do obliczeń przyjmuje się:

a) średnią wartość momentu bezwładności dla przekroju zarysowanego i niezarysowanego,

b) stosunek sprężystości stali i betonu jako wartość średnią dla oddziaływań krótko i długotrwałych.

W przypadku płyt jednoprzęsłowych lub przęseł skrajnych płyt ciągłych należy zwrócić uwagę na kwestię poślizgu końców blachy – odpowiednie kryteria oceny zawarte zostały w [N6].

Ugięcie obliczyć można z ogólnego wzoru znanego z mechaniki budowli:

$$f = \alpha_M \frac{M_{\max}}{B} l^2$$

w którym:

α_M – współczynnik zależny od kształtu wykresu momentów zginających (dla wybranych schematów

statycznych wartości αM zamieszczono np. w [3, 10])
M_{max} – maksymalny moment w środku przęsła lub na podporze w przypadku wspornika
B – sztywność elementu
l – rozpiętość przęsła.

Podsumowanie

W niniejszym artykule przedstawiono najważniejsze zasady projektowania stropów zespolonych na blachach fałdowych. Można je dobrać w taki sposób, aby nie wymagały dodatkowego podparcia podczas montażu konstrukcji i stosowania dodatkowego zbrojenia w fałdach. Może to znacznie skrócić czas realizacji (istnieje możliwość wykonania kilku kondygnacji równocześnie, czasochłonne wykonanie siatki zbrojenia dolnego nie jest wymagane). Jednakże zauważyć trzeba, że obliczenie takiego stropu wymaga od projektanta większego nakładu pracy niż w przypadku klasycznych stropów żelbetowych – należy rozważyć sytuację montażową oraz sprawdzić dodatkowe warunki w SGN (ścinanie podłużne). Nakład pracy projektanta można znacznie zmniejszyć, jeżeli stosuje się arkusze kalkulacyjne dołączone do książki [10].

dr inż. Marcin Niedośpiał
mgr inż. Bartosz Grzeszykowski
dr hab. inż. Elżbieta Szmigiera, prof. PW
Politechnika Warszawska
Wydział Inżynierii Lądowej

Literatura

1. Dujmović D., Androić B, Lukaêević I., Composite Structures according to Eurocode 4: Worked Examples, Ernst & Sohn, 2015.
2. Kania P., Stropy zespolone, Konstrukcje stalowe 1(78), 2006.
3. Knauff M., Obliczanie konstrukcji żelbetowych według Eurokodu 2, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2012.
4. Knauff M., Golubińska A., Knyziak P., Tablice i wzory do projektowania konstrukcji żelbetowych z przykładami obliczeń, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2015.
5. Knauff M., Grzeszykowski B., Golubińska A., Przykłady obliczania konstrukcji żelbetowych. Z. 3. Zarysowanie, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2018.
6. Knauff, M., Niedośpiał M., Uwagi o obliczaniu szerokości rys w węzłach stropów zespolonych stalowo-betonowych, Budownictwo i Architektura, 2014;13(3):111–118.
7. Kucharczuk W., Labocha S., Konstrukcje zespolone stalowo-betonowe budynków, Arkady 2008.
8. Niedośpiał M., Knauff M., Barcewicz W., Cracking in concrete near joints in steel-concrete composite slab, Civil and Environmental Engineering Reports, 2015;16(1):167–179.
9. Niedośpiał M., Knauff M., Barcewicz W., Zarysowanie płyty żelbetowej w strefie przywęzłowej stropu zespolonego, Jubileuszowa X Konferencja naukowa „Konstrukcje Zespolone”, edytorzy: T. Biliński and J. Korentz, Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, 2014, str. 347–360.
10. Szmigiera E., Niedośpiał M., Grzeszykowski B., Projektowanie konstrukcji zespolonych stalowo-betonowych wg Eurokodu 4. Elementy zginane, Wydawnictwo Naukowe PWN, w opracowaniu.

Normy

N1. PN-B-03300:2006 Konstrukcje zespolone stalowo-betonowe. Obliczenia statyczne i projektowanie.
N2. PN-EN 1991-1-6:2007 Eurokod 1. Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-6: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania w czasie wykonywania konstrukcji.
N3. PN-EN 1992-1-1:2008/Ap1:2010 Eurokod 2 Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
N4. PN-EN 1993-1-1:2006/A1:2014-07 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
N5. PN-EN 1993-1-3:2008 Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-3: Reguły ogólne. Reguły uzupełniające dla konstrukcji z kształtowników i blach profilowanych na zimno.
N6. PN-EN 1994-1-1:2008 Eurokod 4: Projektowanie zespolonych konstrukcji stalowo-betonowych, Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.