

dr inż. Rafał Tews\*

dr inż. Agata Lachiewicz-Złotowska\*

# Płyty stropowe zespolone stalowo-betonowe.

## Wymiarowanie wg PN-EN 1994-1-1

*Composite steel and concrete slab.*  
*Design according to PN-EN 1994-1-1*

Stropy na stalowych blachach fałdowych mogą być wykonywane dwiema metodami różniącymi się sposobem przenoszenia obciążeń w fazie użytkowej. W pierwszym z nich blacha stanowi deskowanie tracone i dla stanu użytkowego wymaga się zaprojektowania zbrojenia, jak w każdej płycie żelbetowej. W tym rozwiązaniu nie dochodzi do zespolenia między stalową blachą a betonem. W zespolonych płytach, używając specjalnie do tego przeznaczonych blach, w fazie użytkowej blacha stanowi zbrojenie przenoszące dodatnie przęsłowe momenty zginające. Ujemne momenty zginające są przenoszone przez zbrojenie wiotkie w postaci siatek prętów, podobnie jak w płytach żelbetowych. W ten sposób powstaje bardzo efektywne rozwiązanie, polegające na wykorzystaniu dużej wytrzymałości stali na rozciąganie i dużej wytrzymałości betonu na ściskanie. Inne zalety stropów zespolonych to [4]:

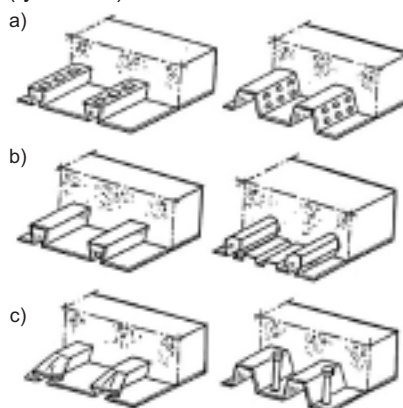
- możliwość użycia blachy jako deskowania traconego;
- możliwość użycia blachy po ułożeniu jako pomostu roboczego;
- możliwość uniknięcia stosowania tymczasowych podparć montażowych;
- możliwość stabilizacji belek stalowych blachą na etapie montażu;
- zmniejszenie zużycia betonu do 30%;
- prostota montażu instalacji i sufitów podwieszanych;
- łatwość transportu i montażu blach poszycia.

Wymienione zalety sprawiają, że płyty stropowe stalowo-betonowe zyskały dużą popularność przy wznoszeniu wielopiętrowych parkingów samochodowych, budynków wielokondygnacyjnych zarówno mieszkalnych, jak i biurowych oraz obiektów służby zdrowia [1].

\* Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska

### Wytyczne projektowania stropów wg PN-EN 1994-1-1

**Zespolenie betonu i stali w płytach stropowych.** Współdziałanie blachy stalowej i betonu jest możliwe pod warunkiem zapewnienia odpowiedniej nośności na ścinanie podłużne w płaszczyźnie kontaktu między dwoma materiałami (rysunek 1).



Rys. 1. Sposoby zapewnienia zespolenia blachy stalowej z betonem: a) za pomocą przetłoczeń i karbów; b) za pomocą ukształtowania blachy; c) za pomocą zakotwień końcowych lub deformacji żeber [PN-EN 1994-1-1]

Podane w PN-EN 1994-1-1 Eurokod 4: *Projektowanie zespolonych konstrukcji stalowo-betonowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków* wytyczne projektowania ograniczają się do zastosowania blach z wąsko rozstawionymi środkami (rysunek 2) opisanymi jako  $b/b_s \leq 0,6$ .

**Wymagania konstrukcyjne.** Minimalna grubość  $h$  płyty zespolonej wynosi 80 mm, a grubość betonu ponad fałdami blach  $h_c$  nie powinna być mniejsza niż 40 mm. W płytach zespolonych z belkami stalowymi lub pełniącymi

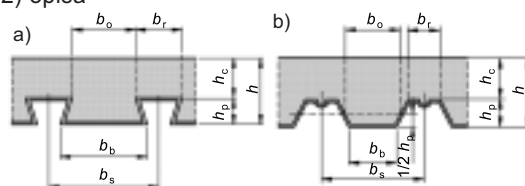
funkcję tarcz usztywniających w budynkach minimalna grubość została zwiększona do 90 mm, przy czym minimalna grubość warstwy betonu nad blachą nie może być mniejsza niż 50 mm.

Zbrojenie płyty zespolonej powinno być ułożone wyłącznie w warstwie betonu ponad fałdami blachy profilowanej. Na każdym z kierunków ułożenia zbrojenie nie może być mniejsze niż  $80 \text{ mm}^2/\text{m}$ . Maksymalny rozstaw prętów jest ograniczony do  $2h$ , ale nie więcej niż do wartości 350 mm. Uziarnienie kruszywa w płytach zespolonych układanych na blachach nie powinno przekraczać:  $0,4h_c$ ;  $b_o/3$ ; 31,5 mm [PN-EN 1994-1-1].

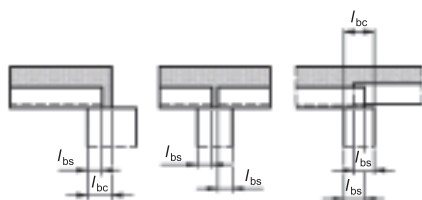
Długość oparcia płyt zespolonych powinna: zapewniać właściwą nośność płyty i podpory na docisk; prawidłowe zamocowanie blachy oraz unie możliwić przypadkowe zsuniecie się blachy.

Minimalna długość oparcia podana w normie PN-EN 1994-1-1 została określona w przypadku płyt po zespoleniu oraz blach profilowanych (rysunek 3). Norma uzależnia ją od rodzaju materiału podpory (stalowe, żelbetowe, inne). Wartości te wynoszą:

- w przypadku płyt zespolonych opartych na betonie i stali  $l_{bc} = 75 \text{ mm}$ ,  $l_{bs} = 50 \text{ mm}$ ;
- w przypadku płyt zespolonych opartych na innych materiałach:  $l_{bc} = 100 \text{ mm}$  i  $l_{bs} = 70 \text{ mm}$ .



Rys. 2. Podstawowe wymiary blach profilowanych: a) o przekroju otwartym; b) o przekroju żebrzym [PN-EN 1994-1-1]



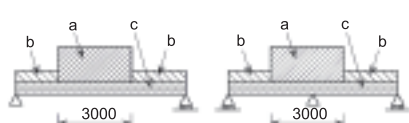
Rys. 3. Długości oparcia płyt zespolonych [PN-EN 1994-1-1]

### Obliczenia płyt stropowych w przejściowej sytuacji obliczeniowej

W obliczeniach związanych z przejściową sytuacją obliczeniową dokonuje się sprawdzenia nośności i użyteczności blachy poszycia, stanowiącej deskowanie tracone. Oddziaływania, jakie bierze się pod uwagę w obliczeniach, dotyczą:

- ciężaru własnego blachy stalowej (rysunek 4 obciążenie c);
- ciężaru własnego układanej mieszanki betonowej (rysunek 4 obciążenie c);
- ciężaru składowanych materiałów;
- efektu lokalnego ugięcia blachy;
- obciążeń montażowych związanych z układaniem mieszanki.

Pierwsze trzy z wymienionych obciążeń ustala się wg PN-EN 1991-1-1 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-1: Oddziaływania ogólne. Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach. Obciążenie montażowe jest określane na podstawie wytycznych podanych w PN-EN 1991-1-6 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-6: Oddziaływania w czasie wykonywania konstrukcji. Jest ono złożone z dwóch części składowych. Na polu o wymiarach 3 x 3 m przyjmuje się obciążenie 10% ciężaru mieszanki betonowej, lecz nie mniej niż 0,75 kN/m<sup>2</sup> i nie więcej niż 1,5 kN/m<sup>2</sup> (rysunek 4, obciążenie a). Na pozostałej części płyty zakłada się działanie obciążenia o wartości 0,75 kN/m<sup>2</sup> (rysunek 4, obciążenie b). Efekt lokalnego ugięcia blachy jest związany z możliwością zsuwania się ułożonej mieszanki betonowej w kierunku środka rozpiętości przęsła i powinien być uwzględniony w obliczeniach, jeżeli ugięcie blachy



Rys. 4. Przykładowe układy obciążeń blachy w przejściowej sytuacji obliczeniowej [1]

$\delta$  jest większe niż 1/10 grubości płyty. Podany w normie PN-EN 1994-1-1 sposób jego zastosowania jest prosty i polega na zwiększeniu grubości mieszanki betonowej o wartość 0,7 $\delta$ .

Przyjmowany schemat statyczny musi uwzględniać, jeśli zachodzi taka potrzeba, obecność podparć montażowych. Przykładowe układy w przejściowej sytuacji obliczeniowej zostały pokazane na rysunku 4.

Obliczenie nośności blachy poszycia odbywa się zgodnie z zasadami podanymi w PN-EN 1993-1-3 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-3: Reguły ogólne. Reguły uzupełniające dla konstrukcji z kształtowników i blach profilowanych na zimno i nie należy do łatwych ze względu na grubość blach. W strefie ściskanej blacha szybko ulega lokalnej utracie stateczności, co powoduje konieczność określania efektywnych cech jej przekroju poprzecznego.

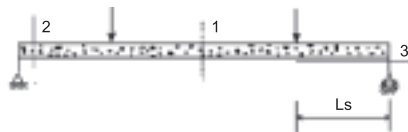
Obliczenia stanu granicznego użyteczności (SLS) polegają na wykazaniu, że pod działaniem charakterystycznej kombinacji obciążeń ugięcie płyty nie przekracza wartości L/180.

### Obliczenia płyt stropowych w trwałej sytuacji obliczeniowej

Należy wówczas uwzględnić wszystkie oddziaływania, jakie występują podczas normalnej pracy konstrukcji, takie jak:

- obciążenia wywołane ciężarem własnym blachy, stwardniałego betonu oraz warstw wierzchnich stropu;
- obciążenie użytkowe ustalone na podstawie przyjętej dla stropu kategorii użytkowania.

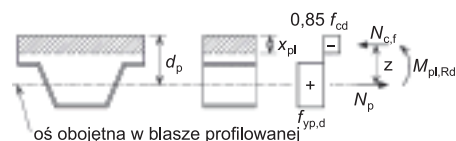
Jeśli w przejściowej sytuacji obliczeniowej występowały podparcia tymczasowe, to w obliczeniach statycznych płyty zespolonej należy uwzględnić ich usunięcie. Zgodnie z PN-EN 1994-1-1 zespolone płyty ciągle mogą być obliczane jako swobodnie podparte, pod warunkiem umieszczenia odpowiedniego zbrojenia nad podporami pośrednimi. Przy takim podejściu do wymiarowania płyty zespolonej można wyróżnić w niej trzy przekroje krytyczne przedstawione na rysunku 5:



Rys. 5. Przekroje krytyczne płyty zespolonej [1]

- 1 – krytyczny przekrój z uwagi na zginanie momentem przęsłowym;
- 2 – krytyczny przekrój z uwagi na ścinanie poprzeczne;
- 3 – krytyczny przekrój z uwagi na ścinanie podłużne (rozwarstwienie).

Obliczeniową nośność płyty na zginanie określa się w stanie plastycznym. Można wyróżnić dwa charakterystyczne przypadki położenia osi obojętnej. W pierwszym (rysunek 6) znajduje się



Rys. 6. Rozkład naprężeń przy zginaniu dodatnim momentem zginającym – przypadek osi obojętnej ponad blachą profilowaną [PN-EN 1994-1-1]

ona w płycie betonowej (ponad blachą profilowaną). Wówczas położenie osi obojętnej wyznacza się z zależności

$$x_{pl} = \frac{f_{yp,d} A_p}{0,85 f_{cd} b} \quad (1)$$

gdzie:

- $A_p$  – pole przekroju blachy profilowanej na szerokości  $b$ ;
- $b$  – szerokość blachy;
- $f_{yp,d}$  – obliczeniowa granica plastyczności stali blachy;
- $f_{cd}$  – obliczeniowa wytrzymałość betonu na ściskanie.

Obliczeniową nośność na zginanie w stanie plastycznym płyty określa się z zależności

$$M_{pl,Rd} = f_{yp,d} A_p (d_p - 0,5x_{pl}) \quad (2)$$

Drugi przypadek dotyczy położenia osi obojętnej w blasze profilowanej (rysunek 7).



Rys. 7. Rozkład naprężeń normalnych przy zginaniu dodatnim momentem zginającym – przypadek położenia osi w blasze profilowanej [PN-EN 1994-1-1]

W tej sytuacji obliczeniową nośność płyty określa się wzorem

$$M_{Rd,pl} = 0,85 f_{cd} b h_c (h - 0,5 h_c - e_p + (e_p - e) \eta_r) + 1,25 M_{pa} (1 - \eta_r) \quad (3)$$

przy czym

$$\eta_r = \frac{N_{c,f}}{N_{pa}} = \frac{0,85 f_{cd} b h_c}{A_{pe} f_{yp,d}} \quad (4)$$

gdzie:

$A_{pe}$  – efektywne pole przekroju blachy na szerokości  $b$ ;  
 $M_{ps}$  – obliczeniowa nośność plastyczna na zginanie efektywnego przekroju blachy profilowanej;  
 $e$  – odległość środka ciężkości blachy od dolnej krawędzi;  
 $e_p$  – odległość plastycznej osi obojętnej efektywnego przekroju blachy od krawędzi dolnej;  
 $h_c$  – grubość płyty betonowej ponad blachą.  
 Pozostałe oznaczenia jak we wzorze (1).

Należy zaznaczyć, że w zależnościach (1) ÷ (4) położenie osi obojętnej nie odpowiada warunkom podanym w PN-EN 1992-1-1. Jest to wynik uproszczeń oraz zachowania zgodności z podaną w PN-EN 1994-1-1 metodą obliczania nośności belek zespolonych [5]. W przekroju krytycznym 2 sprawdza się nośność płyty zespolonej na ścinanie poprzeczne. Obliczeniowy przekrój poprzeczny płyty na ścinanie obejmuje wycinek płyty o szerokości równej odległości między środkami żeber. Biorąc pod uwagę zalecenia normy PN-EN 1994-1-1, nośność przekroju betonowego niezbrojonego na ścinanie oblicza się zakładając, że blacha stanowi zbrojenie podłużne. Zgodnie z PN-EN 1992-1-1 obliczeniowa nośność przekroju niezbrojonego na ścinanie wynosi

$$V_{Rd,c} = \left[ C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \sigma_{cp} \right] b_0 d_p \leq \left( 0,035 k^{\frac{2}{3}} f_{ck}^{\frac{1}{2}} + k_1 \sigma_{cp} \right) b_0 d_p \quad (5)$$

gdzie:  $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_p}} \leq 2,0,$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c},$$

$$\rho_l = \frac{A_p}{b_0 d_p} \leq 0,02 \text{ – stopień zbrojenia podłużnego w strefie ścinania,}$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = 0,$$

$$k_1 = 0,15,$$

$d_p$  – wysokość użyteczna przekroju (rysunek 4).

W przekroju krytycznym 3 należy wykazać odpowiednią nośność płyty na rozwarstwienie między stalą a betonem. Eurokod 4 podaje dwie podstawowe metody sprawdzania ścinania podłużnego: metodę „m-k” oraz metodę zespolenia częściowego. W obu z nich korzysta się z informacji wyznaczanych na drodze badań doświadczalnych. W metodzie „m-k” z testów doświadczalnych otrzymuje się wartości naprężeniowych współczynników  $m$  oraz  $k$ . Sprawdzania tą metodą zaleca się dokonywać w płytach obciążonych wyłącznie równomiernie [1], niezależnie od zachowania się płyty. Nośność na ścinanie podłużne jest w tym podejściu określona wzorem

$$V_{I,Rd} = \frac{bd_p}{\gamma_{vs}} \left( \frac{mA_p}{bL_s} + k \right) \quad (6)$$

gdzie:  
 $m, k$  – współczynniki wyznaczone doświadczalnie dla danego typu płyty;  
 $\gamma_{vs} = 1,25$  – częściowy współczynnik bezpieczeństwa;  
 $A_p$  – pole powierzchni przekroju poprzecznego blachy;  
 $L_s$  – długość odcinka ścinania poprzecznego w płycie swobodnie podpartej przyjmowana jako: połowa odległości między podporą a miejscem maksymalnego momentu zginającego; odległość od podpory do siły skupionej.

W metodzie zespolenia częściowego parametrem otrzymywanym z badań jest charakterystyczna wytrzymałość na ścinanie podłużne  $\tau_{u,RK}$ . Jest to sposób sprawdzenia zalecany w przypadku płyt ciągliwych oraz płyt z zakotwieniami końcowymi [1]. Wówczas obliczeniową nośność płyty na zginanie oblicza się na podstawie wzoru (3), określając siłę w płycie betonowej jako

$$N_c = bL_x \frac{\tau_{u,RK}}{\gamma_{vs}} \leq N_{c,f} \quad (7)$$

gdzie:  
 $L_x$  – odległość przekroju od najbliższej podpory;  
 $\tau_{u,RK}$  – charakterystyczna wytrzymałość płyty na ścinanie;  
 $\gamma_{vs} = 1,25$  – częściowy współczynnik bezpieczeństwa.

Siłę w płycie z zakotwieniem końcowym można powiększyć o wpływ nośności zakotwienia. Sprawdzenia nośności na ścinanie dokonuje się wykazując, że w każdym przekroju obliczeniowy moment zginający  $M_{Ed}$  nie przekracza obliczeniowej nośności określonej wzorem (3). Sprawdzenia stanu granicznego użyteczności (SLS) są związane z kontrolą zarysowania betonu i ugięcia płyty zespolonej. Zgodnie z wytycznymi PN-EN 1994-1-1 sprawdzeniu zarysowania podlegają strefy płyt ciągłych obciążone ujemnymi momentami zginającymi. Obliczeń dokonuje się zgodnie z PN-EN 1992-1-1 *Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków*. W przypadku, kiedy płyta ciągła została obliczona jako swobodnie podparta, wówczas przekrój poprzeczny zbrojenia przeciwko zarysowaniu nie powinien być mniejszy niż:

- 0,2% przekroju betonu ponad fałdą blachy, jeśli płyta nie jest montażowo podparta;
- 0,4 % przekroju betonu ponad fałdą blachy, jeśli zastosowane zostały podparcia montażowe.

Ugięcia płyt zespolonych oblicza się z zastosowaniem analizy sprężystej, stosując uproszczenia związane z określeniem ich sztywności.

W przypadku płyt niepodpieranych montażowo na końcową wartość ugięcia składają się [3] przemieszczenia blachy przed zespoleniem, wywołane obciążeniami stałymi oraz przemieszczenia płyty od obciążeń działających po zespoleniu.

## Podsumowanie

W artykule przedstawiono ogólną charakterystykę stropów zespolonych stalowo-betonowych oraz przybliżono podstawowe zasady wymiarowania tego typu elementów. Stropy zespolone stalowo-betonowe stanowią ciekawą alternatywę dla rozwiązań typowych stropów żelbetonowych, monolitycznych, czy prefabrykowanych. Pozwalają na osiągnięcie realnych oszczędności w zużyciu betonu. Szczególnie ich zalety objawiają się w połączeniu ze szkieletowymi konstrukcjami stalowymi, stanowiąc bardzo dobre usztywnienie szkieletu nośnego.

## Abstract

For a long time there was not in the Polish standards document directory allowing the design of composite floors for corrugated steel sheets. The introduction, as applicable, European standards (Eurocodes) changed this situation. PN-EN 1994-1-1: Eurocode 4 provides guidance for the design of steel and concrete structural components, including the floor slabs. The authors presented a detailed recommendation and guidelines for checking the status of ultimate limit states in slabs of composite steel and concrete. They concern the bending load conditions, lateral and longitudinal shear.

## Literatura

- [1] Hicks S.: EN 1994 – Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures. Composite slabs. Dissemination of information workshop. Eurocodes: background and applications. Brussels 2008.
- [2] Johnson R.P., Buckby R.J.: Composite structures of steel and concrete. Volume 1. Beams, slabs, columns, and frames for buildings, Blackwell Scientific Publications, 1994.
- [3] Kucharczuk W., Labocha S.: Konstrukcje zespolone stalowo-betonowe budynków. Arkady, Warszawa 2007.
- [4] Nagy Z., Szatmari I.: Composite slab design, 2nd Int. PhD Symposium in Civil Engineering, Budapest 1998.
- [5] Schleich J.B., Mathieu J., Conan Y.: Design handbook for braced composite steel-concrete buildings according to Eurocode 4, ECCS, 1999.