

Jacek Nawrot<sup>1</sup>

## ANALIZA EFEKTYWNOŚCI DOBORU ŁĄCZNIKÓW DO ZESPOLONYCH STROPÓW STALOWO-BETONOWYCH DLA WYBRANYCH RODZAJÓW PŁYT

### Wprowadzenie

Istotnym zagadnieniem przy projektowaniu stalowo-betonowych stropów zespolonych jest dobór odpowiednich łączników, zapewniających współpracę między belką stalową a żelbetową płytą stropową. Łączniki takie powinny być tak dobrane, aby ich nośność była większa od podłużnej siły ścinającej, działającej w płaszczyźnie zespolenia. Poza względami wytrzymałościowymi należy również wziąć pod uwagę aspekt ekonomiczny, czyli koszt zakupu lub wytworzenia łącznika oraz pracochłonność jego montażu. Czynniki te w dużej mierze zależą od rodzaju zastosowanej płyty stropowej. Ponieważ w aktualnie obowiązującej normie, dotyczącej projektowania konstrukcji zespolonych [1], podano zasady odnoszące się tylko do najbardziej popularnych łączników sworzniowych, w niniejszym artykule przeanalizowano zasadność stosowania innych dostępnych na rynku rozwiązań omówionych m.in. w [2], w zależności od rodzaju zastosowanej płyty stropowej.

### 1. Łączniki do zespolonych stropów stalowo-betonowych

Głównym zadaniem łączników w zespolonych stropach stalowo-betonowych jest zapewnienie takiego połączenia między elementem stalowym (kształtownikiem walcowanym lub spawanym) a elementem betonowym (płyta żelbetowa), aby tworzyły one jeden wspólny przekrój. W takim przypadku w przekroju przęsłowym belki beton przenosi naprężenia ściskające, a stal konstrukcyjna naprężenia rozciągające. Dzięki temu w stropach zespolonych można uzyskać dużo większą nośność na zginanie niż w analogicznych stropach stalowo-betonowych wykonanych bez zespolenia. Na skutek działania podłużnej siły ścinającej w płaszczyźnie

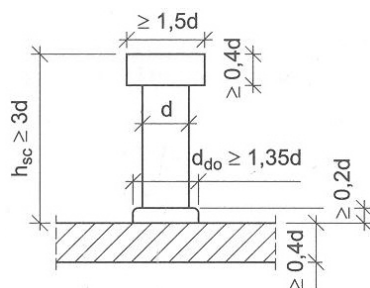
---

<sup>1</sup> Politechnika Częstochowska, Wydział Budownictwa, ul. Akademicka 3, 42-200 Częstochowa, e-mail: jnawrot@bud.pcz.czest.pl

zespolenia łączniki podlegają ścinaniu i jest to zasadnicze obciążenie łącznika. Zabezpieczają również płytę przed odrywaniem od kształtownika stalowego na skutek występowania obciążeń pionowych, dzięki czemu przenoszą nieznaczne siły rozciągające. Wymagana nośność łącznika na rozciąganie powinna być nie mniejsza niż 0,1 jego obliczeniowej nośności na ścinanie [1]. Łączniki mogą być ciągłe i nieciągłe. Jeżeli odkształcalność łącznika umożliwia idealnie plastyczne zachowanie się połączenia ścinanego w rozpatrywanej konstrukcji, łącznik taki można uznać za ciągły. Jeżeli ten warunek nie jest spełniony, łącznik należy traktować jak nieciągły. Łączniki ciągłe (przy spełnieniu odpowiednich kryteriów) można rozmieszczać równomiernie między sąsiednimi przekrojami krytycznymi. Rozmieszczenie łączników nieciągłych należy ustalić, uwzględniając rozkład podłużnej siły ścinającej.

### 1.1. Łączniki sworzniowe

Z uwagi na stosunkowo szybki i łatwy montaż łączniki sworzniowe zyskały największą popularność i są obecnie najczęściej stosowanymi łącznikami w stalowo-betonowych stropach zespolonych. Charakteryzują się stosunkowo dużą nośnością na ścinanie, uzależnioną przede wszystkim od średnicy trzpienia. Dzięki wieńczącej trzpień główce zabezpieczają również płytę przed odrywaniem od belki. Mocowane są poprzez automatyczne przypawanie do pasa kształtownika stalowego. Przy odpowiednio dobranej geometrii (całkowita długość łącznika po zamocowaniu jest nie mniejsza niż czterokrotna średnica trzpienia - dla zakresu średnic z przedziału pomiędzy 16 a 22 mm) można traktować je jako łączniki ciągłe zgodnie z [1] i rozmieszczać równomiernie na całej długości belki. Nośność łącznika zależy od jego wymiarów geometrycznych (rys. 1), stali, z jakiej został wykonany, oraz klasy betonu płyty. Przykładowo nośność łącznika o średnicy 19 mm, wysokości 80 mm wykonanego ze stali o wytrzymałości na rozciąganie  $f_u = 450$  MPa, w płycie jednolitej wykonanej z betonu klasy C 20/25 wynosi 64,9 kN [3].

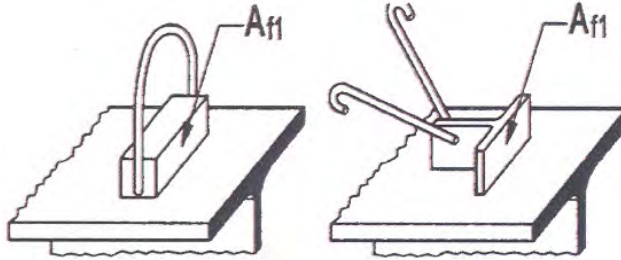


Rys. 1. Łącznik sworzniowy [1]

### 1.2. Łączniki blokowe

Wykonane są w postaci sztywnych elementów stalowych (płaskowników, blach lub odcinków kształtowników walcowanych), spawanych do pasa górnego belki

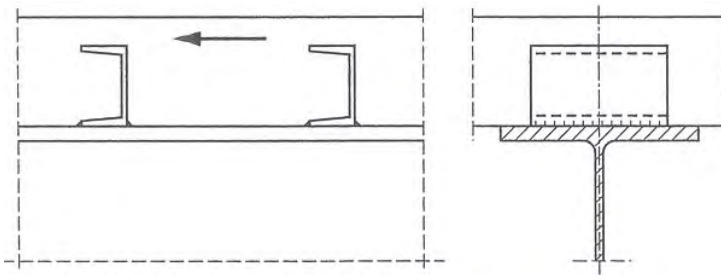
stalowej. Geometria łącznika dobrana jest tak, aby o nośności decydował docisk powierzchni czołowej łącznika  $A_{f1}$  do betonu [4]. Łączniki blokowe przenoszą bardzo duże siły ścinające. Aby zabezpieczyć płytę przed odrywaniem od belki, wyposaża się je w pętle lub kotwy (rys. 2). Z uwagi na dużą pracochłonność wykonania i montażu obecnie stosowane są sporadycznie (tam gdzie wymagana jest bardzo duża nośność łącznika na ścinanie).



Rys. 2. Łączniki blokowe [4]

### 1.3. Łączniki z odcinków ceowników

Łączniki z odcinków ceowników mocowane są do belki dolną półką za pomocą spoiny pachwinowej (rys. 3). Ceowniki powinny być rozmieszczone na belce w taki sposób, aby ich półki skierowane były zgodnie z rozkładem podłużnej siły ścinającej (rys. 3), która jest przenoszona głównie przez część łącznika przylegającą do belki [3].



Rys. 3. Łączniki z odcinków ceowników [3]

### 1.4. Łączniki profilowane z blach

W przypadku płyt stropowych wykonywanych na blachach fałdowych korzystnym rozwiązaniem zapewniającym zespolenie płyty z belką są łączniki mocowane za pomocą wstrzeliwanych gwoździ - podczas montażu blachy można jednocześnie mocować łączniki.

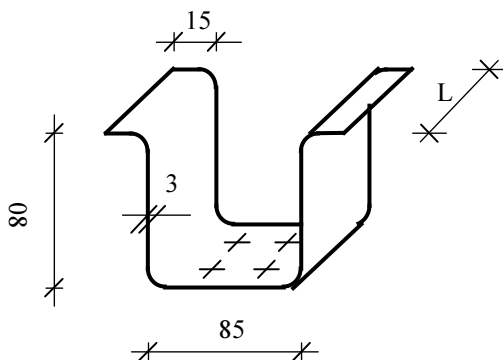
Przykładem takiego rozwiązania może być łącznik kątowy X-HVB firmy Hilti (rys. 4). Łączniki te są formowane plastycznie z blachy o grubości 2 mm lub 2,5 mm i mocowane do belki za pomocą dwóch gwoździ wstrzeliwanych typu

ENP2-21-L15 lub ENPH2-21-L15 [5]. Nośność łącznika uzależniona jest od jego wielkości. Przykładowo nośność łącznika X-HVB 95 wynosi 28 kN.



Rys. 4. Łącznik kątowy Hilti [5]

Innym przykładem tego typu łącznika może być łącznik z odcinka kształtownika kapeluszowego (rys. 5). Jego geometrię ustalono, biorąc pod uwagę najczęściej występujące grubości płyt w stropach zespolonych oraz gotowe profile dostępne na rynku. Przy długości łącznika równej  $L = 60$  mm spełniony jest warunek ciągłości zgodnie z [1], w związku z tym łącznik ten może być rozmieszczany równomiernie na całej długości belki. Mocowanie do kształtownika stalowego odbywa się za pomocą czterech gwoździ wstrzeliwanych. Dzięki górnym odgięciom ścianek łącznika na obydwie strony zabezpiecza on płytę przed odrywaniem się od belki. Obliczeniowa nośność na ścinanie łącznika uzależniona jest od nośności na ścinanie lub wyciąganie mocujących go gwoździ i dla pokazanej na rysunku 5 geometrii łącznika (mocowanego za pomocą czterech gwoździ wstrzeliwanych Hilti  $\varnothing 4,5$  mm) wynosi 54,7 kN.



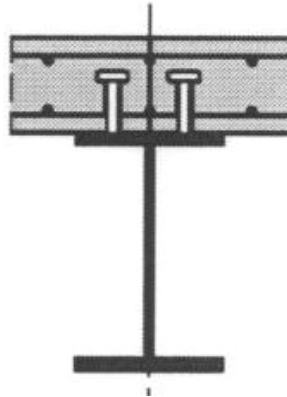
Rys. 5. Łącznik z odcinka kształtownika kapeluszowego [6]

## 2. Płyty stropowe

Płyty stropowe w stalowo-betonowych stropach zespolonych podzielić można na prefabrykowane (w całości lub w części) oraz monolityczne: wykonane na tradycyjnym deskowaniu (jednolite) lub na blachach fałdowych. Obecnie największą popularność zyskały płyty monolityczne (szczególnie betonowane na specjalnych blachach do stropów zespolonych), prefabrykowane ze względów ekonomicznych stosowane są dość rzadko.

### 2.1. Płyty monolityczne jednolite

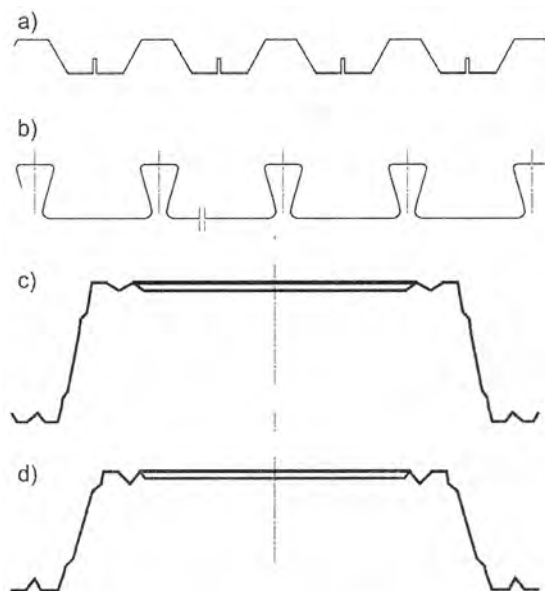
Płyty monolityczne jednolite (rys. 6) z uwagi na dużą pracochłonność wykonania wynikającą z konieczności stosowania deskowań systemowych nie są zbyt popularne [7]. W związku z tym tradycyjne deskowania zastępowane są blachami fałdowymi. Stosowanie płyt jednolitych jest ekonomicznie uzasadnione, jeżeli płyta stropowa musi mieć wymaganą odporność ogniową. W takim przypadku większy koszt wykonania takiego w stropu (w stosunku do stropu z blachą fałdową) rekompensowany jest brakiem konieczności zapewnienia dodatkowego zabezpieczenia poż.



Rys. 6. Płyta monolityczna jednolita [1]

### 2.2. Płyty monolityczne na blachach fałdowych

Najefektywniejszym rozwiązaniem płyt stropowych są płyty wykonane na specjalnych blachach fałdowych dedykowanych stalowo-betonowym stropom zespolonym (rys. 7). Dzięki specyficznemu ukształtowaniu fałd lub powierzchni blachy dochodzi do jej zespolenia z betonem. W takim przypadku blacha pełni rolę zbrojenia zewnętrznego płyty, przejmując naprężenia rozciągające w przekroju przęsłowym płyty, zbrojenie wewnętrzne wykonane najczęściej w postaci siatek zgrzewanych z prętów niewielkiej średnicy (np.  $\varnothing 6$  mm) przenosi naprężenia wywołane skurczem betonu.



Rys. 7. Blachy faldowe do stropów zespolonych [3]: a) PEVA 45, b) Florstrop T59Z, c) Hoesch, d) Plannja

### 3. Zakres stosowania analizowanych rodzajów łączników

Przy doborze łączników do stalowo-betonowych stropów zespolonych należy wziąć pod uwagę następujące czynniki:

- wartość podłużnej siły ścinającej, na podstawie której określa się wymaganą liczbę łączników,
- możliwe do uzyskania rozstawy łączników zapewniające ich prawidłową pracę (w przypadku płyt na blachach faldowych rozmieszczenie dolnych fałd blachy determinujące potencjalne rozstawy łączników),
- koszt zakupu lub wytworzenia łącznika,
- pracochłonność montażu łącznika (w tym również dostępność urządzeń służących do jego mocowania).

#### 3.1. Zespolecie płyt jednolitych

Jeżeli mamy do czynienia z płytą wykonaną na tradycyjnym deskowaniu systemowym, najkorzystniejszym rozwiązaniem w zakresie zespolenia belki z płytą stropową będą łączniki sworzniowe. Asortyment tych łączników jest bardzo duży, co umożliwi dobór odpowiedniego rodzaju łącznika (o określonej średnicy, wysokości, itp.) w zależności od wymaganej nośności. W przypadku bardzo dużej wartości podłużnej siły ścinającej istnieje możliwość rozmieszczenia tych łączni-

ków w dwóch lub trzech rzędach tak, aby uzyskać odpowiednią nośność zespolenia. W przypadku stropów z płytami jednolitymi łączniki sworzniowe mocuje się do belki na warsztacie, skracając jednocześnie czas montażu konstrukcji na budowie, a sam czas przypawania pojedynczego łącznika - z uwagi na automatyzację tego procesu - jest bardzo krótki. Stosowanie łączników z odcinka kształtownika kapeluszowego oraz kątowych Hilti w płytach stropowych bez blach fałdowych zazwyczaj jest mniej korzystne niż łączników sworzniowych. Ich montaż jest bardziej pracochłonny, jeżeli nie jest połączony z montażem blachy. Ponieważ cechują się mniejszą sztywnością niż łączniki sworzniowe, są bardziej narażone na uszkodzenia podczas transportu konstrukcji z wytwórni na budowę (przy założeniu mocowania ich do belki podczas procesu prefabrykacji konstrukcji). Poza tym, ponieważ cechują się mniejszą nośnością niż łączniki sworzniowe, ich ilość zazwyczaj jest większa.

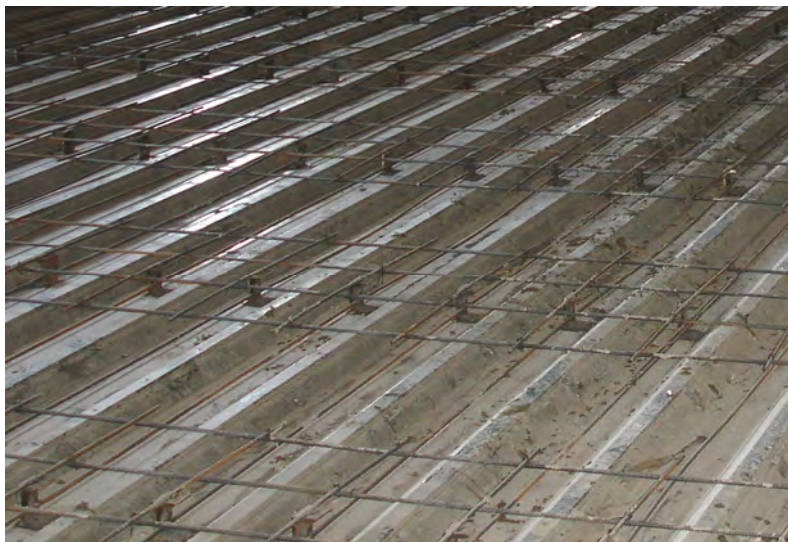
Łącznik sworzniowe będą również lepszym rozwiązaniem niż łączniki blokowe oraz łączniki z odcinków ceowników. Tego typu łączniki z uwagi na dużą pracochłonność wykonania i montażu w zasadzie przestały być stosowane w momencie spopularyzowania i zapewnienia powszechnej dostępności łączników sworzniowych. Można jednak napotkać sporadyczne realizacje stropów zespolonych z ich wykorzystaniem.

### 3.2. Zespolenie płyt z profilowanymi blachami stalowymi

Przy niezbyt dużej wartości podłużnej siły ścinającej należy rozważyć możliwość zastosowania łączników mocowanych za pomocą wstrzeliwanych gwoździ (łącznik z odcinka kształtownika kapeluszowego, łącznik kątowy Hilti). W przypadku płyt stropowych wykonanych na blachach fałdowych użycie tego typu łączników nie powoduje wzrostu pracochłonności montażu - montując blachę, jednocześnie mocujemy łącznik (tymi samymi gwoźdźmi, w tym samym czasie). Jeżeli uzyskana na podstawie obliczeń liczba łączników mieści się na belce (uwzględniając ilość i rozstaw dolnych fałd blachy), takie rozwiązanie może okazać się najkorzystniejsze.

Jeżeli wartość podłużnej siły ścinającej jest na tyle duża, że nie da się zapewnić wymaganej nośności na ścinanie podłużne belki zespolonej przy użyciu łączników profilowanych z blach, należy zastosować łączniki sworzniowe.

W płytach na blachach fałdowych z przyczyn technologicznych nie powinno się projektować zespolenia za pomocą łączników z odcinków ceowników. Oprócz dużej pracochłonności montażu wynikającej z wykonania obwodowej spoiny pachwinowej mocującej łącznik do belki, konieczne jest w celu jej ułożenia wycięcie w blasze prostokątnych otworów o nieco większej powierzchni niż dolna półka ceownika. Niestety, mimo ww. wad tego typu rozwiązania również są stosowane (rys. 8).



Rys. 8. Płyta stropowa na blasze fałdowej z łącznikami z odcinków ceownika

### **Podsumowanie**

Najkorzystniejszym i najczęściej stosowanym rozwiązaniem płyt stropowych w zespolonych stropach stalowo-betonowych są płyty monolityczne wykonane na profilowanych blachach fałdowych. Dla takich płyt przy dużych wartościach podłużnej siły ścinającej najlepszym rozwiązaniem zapewniającym zespolenie są łączniki sworzniowe.

Jeżeli siła działająca w płaszczyźnie zespolenia jest mniejsza, należy rozważyć możliwość zastosowania łączników profilowanych z blach i mocowanych do belki za pomocą gwoździ wstrzeliwanych: łącznik kątowy Hilti lub łącznik z odcinka kształtownika kapeluszowego.

W przypadku monolitycznych płyt stropowych wykonanych na tradycyjnych deskowaniach najlepszym rozwiązaniem będą łączniki sworzniowe.

Z uwagi na bardzo dużą prędkość wykonania należy unikać stosowania łączników z odcinków ceowników, szczególnie w stropach na blachach fałdowych, gdzie do ich montażu konieczne jest wycięcie blachy w obrębie każdego łącznika celem ułożenia spoiny.

### **Literatura**

- [1] PN-EN 1994-1-1:2008 Eurokod 4, Projektowanie zespolonych konstrukcji stalowo-betonowych, Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [2] Major M., Kuliński K., Łączniki w konstrukcjach zespolonych stalowo-betonowych - przegląd rozwiązań, Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej 2015, 171, Budownictwo 21, 205-210.
- [3] Kucharczuk W., Labocha S., Konstrukcje zespolone stalowo-betonowe budynków, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 2008.



- [4] PN-B-03300: Konstrukcje zespolone stalowo-betonowe. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [5] Hilti - Katalog wyrobów 1990/91. Jarzma HVB: Ekonomiczny sposób wiązania konstrukcji stalowej z betonem.
- [6] Nawrot J., Kucharczuk W., Badanie nośności nowych łączników do zespolonych stropów stalowo-betonowych, *Inżynieria i Budownictwo* 2004, 12, 654-657.
- [7] Major M., Major I., Konstrukcje zespolone w budownictwie zrównoważonym, *Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym* 2015, 2(16), 51-56.

### **Streszczenie**

W artykule przedstawiono zagadnienia dotyczące doboru łączników do zespolonych stropów stalowo-betonowych w zależności od rodzaju zastosowanej płyty stropowej. Omówiono wybrane rodzaje łączników oraz płyt stropowych oraz podano czynniki, jakimi należy się kierować przy wyborze sposobu zespolenia belki stalowej z płytą.

**Słowa kluczowe:** stropy zespolone stalowo-betonowe, łączniki ścinane

### **Analysis of the efficiency of the selection of shear connectors to the steel-concrete composite floor for selected types of slab**

#### **Abstract**

The article presents considerations for selection of shear connectors to the steel-concrete composite floor depending on the type of slabs. Selected types of shear connectors and slabs are discussed and list of the factors which should be followed when choosing of type of composite connection.

**Keywords:** steel-concrete floor, shear connectors