ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2005
Seria: BUDOWNICTWO z. 104 Nr kol. 1695

Paweł KANIA*
Politechnika Częstochowska

BELKI STALOWO-BETONOWE ZESPOLONE ZA POMOCĄ WSTRZELIWANYCH GWOŹDZI

Streszczenie. Opracowanie dotyczy nowego rozwiązania konstrukcyjnego łącznika dla belek zespolonych stalowo–betonowych. Przedstawione rozwiązanie polega na wykorzystaniu do zespolenia blachy profilowanej FLORSTROP T-59Z zastosowanej jako tracone deskowanie. Elementem zespalającym ma być fałda blachy o specyficznym kształcie. Sama blacha zamocowana jest do belki stalowej za pomocą łączników (np. gwoździ wstrzeliwanych).

Proponowane rozwiązanie konstrukcyjne wymaga przeprowadzenia cyklu badań, pozwalających na określenie wytrzymałości łącznika. W opracowaniu przedstawiono szczegółowo plan badań.

STEEL-CONCRETE COMPOSITE BEAMS CONNECTED WITH SHOT FIRED STUDS

Summary. This paper reviews the new solution of connectors for use in steel-concrete composite beams. Presented solution consists in using profiled steel sheet FLORSTROP T-59Z which is a permanent shuttering for connecting steel and concrete. The connecting element is a re-entrant fold of sheet. Profiled sheet is fastened to steel beam with connectors (for example shot fired studs).

This solution needs to perform tests for defining of strength of shear connectors. This paper describes the detailed plan of tests.

1. Wstęp

Konstrukcje zespolone stalowo-betonowe są powszechnie stosowane w budownictwie światowym już od wielu lat. W Polsce zastosowanie ich jest jednak bardzo ograniczone. Przyczynami, które powodują niskie zainteresowanie konstrukcjami zespolonymi przez rodzimych projektantów, są ograniczenia materiałowe i technologiczne oraz brak literatury

* Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Witold Kucharczuk, prof. Politechniki Częstochowskiej

fachowej dotyczącej tego zagadnienia. Taki stan rzeczy związany jest bezpośrednio z niskimi nakładami na badania w krajowych ośrodkach naukowych.

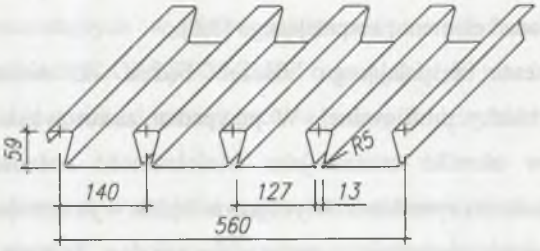
W budownictwie stosuje się wiele rodzajów konstrukcji zespolonych. Jednym z nich są stropy zespolone. Pozwalają one na wykorzystanie zalet obu materiałów i jednocześnie redukcję ich wad. Połączenie stali z betonem powoduje zmniejszenie zużycia stali przez wykorzystanie betonu w strefie ściskanej oraz usztywnienie konstrukcji. Czynnikiem zwiększającym pracochłonność jest konieczność zespolenia obu materiałów.

Istnieje wiele rodzajów stropów zespolonych. Jednym z bardziej popularnych są stropy na blachach fałdowych. Istotą tego rozwiązania jest ułożenie blachy fałdowej na belkach stalowych i wykonanie na niej płyty żelbetowej, blacha pełni funkcję traconego deskowania oraz ewentualnie przęsłowego zbrojenia płyty. Płytę dodatkowo zespala się z belkami stalowymi za pomocą łączników. Łączniki mogą mieć różne formy: odcinków profili, kotew, pętli lub najbardziej popularnych łączników sworzniowych.

Poszukiwania coraz doskonalszych rozwiązań konstrukcyjnych doprowadziły do powstania różnorodnych nowych rodzajów blach fałdowych. Blachy te, ze względu na swój kształt przekroju, pozwalają na wykonanie zespolonych płyt stalowo-betonowych bez dodatkowego zbrojenia przęsłowego w postaci prętów (funkcję tę pełni sama blacha profilowana). Rozwiązania takie wpływają na szersze zastosowanie konstrukcji zespolonych.

2. Opis przyjętego rozwiązania

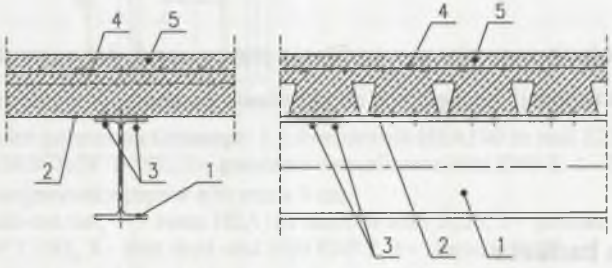
Obecnie na polskim rynku pojawiła się specjalistyczna blacha fałdowa do wykonywania stropów zespolonych. Blacha o nazwie handlowej FLORSTROP T-59Z produkowana jest przez „Ispat Polska Stal" SA Oddział w Świętochłowicach [2]. Fałda blachy ma charakterystyczny kształt jaskółczego ogona (rys.1). Kształt fałdy ma wiele zalet: pozwala na wykorzystanie blachy jako przęsłowego zbrojenia płyty zespolonej stalowo-betonowej, umożliwia łatwe podwieszanie elementów wykończenia lub instalacji poprzez zastosowanie wieszaków mocowanych w fałdzie.



Rys. 1. Blacha trapezowa FLORSTROP T-59Z
Fig. 1. Profiled sheet FLORSTROP T-59Z

Taka forma przekroju poprzecznego blachy być może pozwoli również na przenoszenie sił rozwarstwiających pomiędzy belką stalową i płytą betonową, bez konieczności stosowania dodatkowych łączników. Przypuszczenie to wynika z analizy cząstkowych badań tego zagadnienia przeprowadzonych w Anglii [7].

Proponowane rozwiązanie konstrukcyjne to belka zespolona stalowo – betonowa, gdzie jako element zespalający użyta zostanie blacha FLORSTROP T-59Z (która jednocześnie pełni rolę traconego deskowania i zbrojenia przęsłowego dla płyty żelbetowej) (rys. 2). Blacha musi zostać trwale połączona z belką stalową. Zastosować można do tego celu na przykład wstrzeliwane gwoździe do blach profilowanych: Hilti ENP 2 [4].

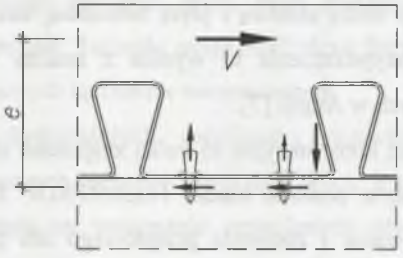


Rys. 2. Schemat belki zespolonej: 1 – belka stalowa, 2 – blacha profilowana FLORSTROP T-59Z, 3 – łączniki (np. gwoździe wstrzeliwane Hilti ENP 2), 4 – zbrojenie płyty żelbetowej, 5 – płyta żelbetowa
Fig. 2. Details of the composite beam: 1 – steel beam, 2 – profiled sheet FLORSTROP T-59Z, 3 – connectors (for example shot fired stud Hilti ENP 2), 4 – reinforcement mesh, 5 – concrete slab

Strop zespolony wykonany z użyciem tego rozwiązania jest konstrukcją prostą, łatwą i szybką w montażu a co za tym idzie charakteryzuje się on niską pracochłonnością. Jego

zaprojektowanie wymaga określenia nośności belki zespolonej, a to wymaga przeprowadzenia badań elementu zespalającego [5,6].

Nośność elementu zespalającego zależeć będzie od nośności łączników oraz od wytrzymałości blachy profilowanej. W przypadku zastosowania gwoździ Hilti ENP 2 nośność łączników określić można jako wielokrotność nośności jednego gwoździa. Przewiduje się jednak, iż czynnikiem decydującym będzie wytrzymałość blachy profilowanej. Pod wpływem działania obciążenia rozwarstwiającego (rys. 3) może ona ulegać deformacji powodującej utratę nośności całego połączenia zespalającego. Dlatego dla dobrego zespolenia belki stalowej z płytą betonową wskazane jest stosowanie blach grubszych: 1,00 mm, 1,25 mm.



Rys. 3. Rozkład sił wewnętrznych w belce zespolonej
Fig. 3. Arrangement of internal forces in composite beam

Planowane badania pozwolą na weryfikację przypuszczeń dotyczących pracy połączenia oraz uzyskanie informacji niezbędnych do określenia parametrów wytrzymałościowych całej belki.

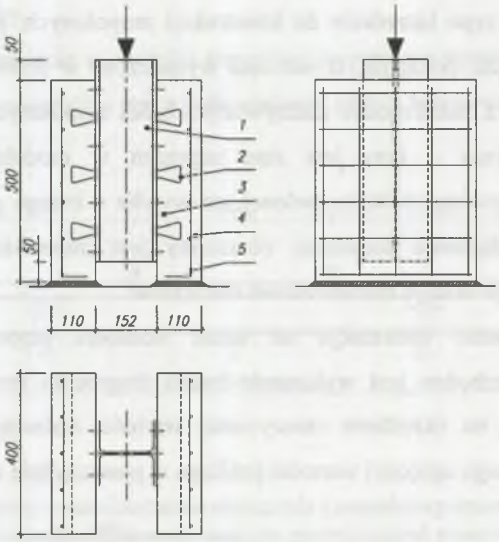
3. Planowane badania

Celem badań będzie określenie nośności granicznej połączenia płyty betonowej z belką stalową. Badania podstawowe przeprowadzone zostaną na modelach zgodnie z [5,6].

Model do badania nośności łączników na ścinanie składa się z belki stalowej oraz dwóch płyt żelbetowych wykonanych na blachach FLORSTROP T-59Z. Płyty wykonane są z betonu klasy B25 i zbrojone siatkami z prętów stalowych. Blachy łączone są do belki stalowej gwoździami wstrzeliwanymi Hilti ENP 2 (rys. 4).

Nośność połączenia zależna jest od liczby łączników (gwoździ) oraz od grubości blachy. W celu uzyskania miarodajnych wyników próby przeprowadzić należy na modelach wykonanych z użyciem blach FLORSTROP T-59Z o grubości 1,00 mm i 1,25 mm oraz przy zastosowaniu różnej ilość gwoździ mocujących w jednej fałdzie blachy. Program badań przedstawiono w tabeli 1.

Modele zostaną zaopatrzone w czujniki zegarowe do pomiaru pionowych przemieszczeń (poślizgu) pomiędzy płytami a belką. Procedura obciążania modeli będzie zgodna z wytycznymi zawartymi w [5,6].



Rys. 4. Model do badań połączenia ścinanego: 1 – dwuteownik HEA160 ze stali S235, 2 – blacha fałdowa FLORSTROP T-59Z, 3 – gwoździe wstrzeliwane Hilti ENP 2, 4 – beton klasy B25, 5 – siatka zbrojeniowa z prętów ϕ10 mm x 9 cm.

Fig. 4. Model for push-out test: 1 – beam HEA160 made of steel S235, 2 – profiled sheet FLORSTROP T-59Z, 3 – shot fired stud Hilti ENP 2, 4 – concrete B25, 5 – reinforcement mesh ϕ10mm x 9cm

Badania różnego typu łączników do konstrukcji zespolonych, przeprowadzane w wielu ośrodkach badawczych, pokazują, iż wartości wyznaczone w próbie ścinania odbiegają od wartości uzyskanych z badań modeli rzeczywistych belek zespolonych [7]. Wynika to z wielu przyczyn: po pierwsze – inny jest stan naprężeń w modelu połączenia ścinanego i w elementach rzeczywistej belki zespolonej, co wynika z innego przyłożenia obciążeń; po drugie – model połączenia ścinanego obarczony jest imperfekcjami technologicznymi i materiałowymi, co powoduje mimośrodowe obciążenie.

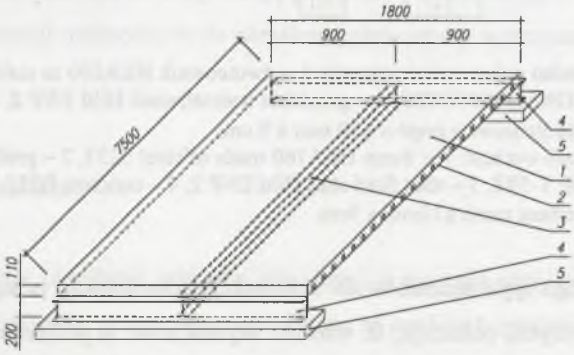
Tabela 1

Program badań modeli ścinanych

Nr modelu	Grubość blachy FLORSTROP T-59Z	Liczba gwoździ zastosowanych na jedną fałdę blachy	Liczba prób wytrzymałościowych
1	1,00	4	1 (próba pilotażowa)
2	1,00	4	3
3	1,00	2	3
4	1,25	2	3

Badania różnego typu łączników do konstrukcji zespolonych, przeprowadzane w wielu ośrodkach badawczych, pokazują, iż wartości wyznaczone w próbie ścinania odbiegają od wartości uzyskanych z badań modeli rzeczywistych belek zespolonych [7]. Wynika to z wielu przyczyn: po pierwsze – inny jest stan naprężeń w modelu połączenia ścinanego i w elementach rzeczywistej belki zespolonej, co wynika z innego przyłożenia obciążeń; po drugie – model połączenia ścinanego obarczony jest imperfekcjami technologicznymi i materiałowymi, co powoduje mimośrodowe obciążenie.

Aby uzyskać pełne informacje na temat nośności proponowanego rozwiązania konstrukcyjnego, niezbędne jest wykonanie badań fragmentu stropu w skali naturalnej. Badania te pozwolą na określenie rzeczywistej wartości nośności belki zespolonej oraz pomiar jej rzeczywistego ugięcia i wartości poślizgu w płaszczyźnie zespolenia.

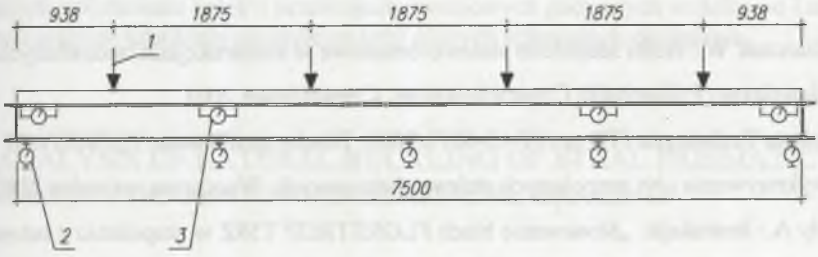


Rys. 5. Model belki zespolonej: 1 – płyta żelbetowa z betonu klasy B25 zbrojona siatką z prętów ϕ8 mm x 12 cm, 2 – blacha fałdowa FLORSTROP T-59Z x 1,00 mm, 3 – dwuteownik IPE 200, 4 – belka podporowa U200, 5 – podpora.

Fig. 5. Model of the composite beam: 1 – concrete slab B25 with reinforcement mesh ϕ8 mm x 12 cm, 2 – profiled sheet FLORSTROP T-59Z x 1,00mm, 3 – steel beam IPE 200, 4 – support beam U200, 5 – support

Ze względu na wysoki koszt badań wielkowymiarowych wykonany zostanie tylko jeden model belki zespolonej (rys. 5). Model będzie miał rozpiętość 7,5 m i szerokość 1,8 m. Składał będzie się z belki stalowej IPE200 ze stali S235 oraz płyty żelbetowej z betonu klasy B25 o całkowitej grubości 11cm, zazbrojonej siatkami. Płyta wykonana zostanie na blasze fałdowej FLORSTROP T-59Z o grubości 1,00 mm, połączonej z belką stalową gwoździami wstrzeliwanymi Hilti ENP 2. Istnieje podejrzenie, iż proponowany sposób zespolenia belki stalowo – betonowej należy traktować jako nieciągliwy, dlatego rozmieszczenie gwoździ na długości belki będzie niejednolite. W strefach przypodporowych, na odcinku 1/5 rozpiętości belki, osadzone zostaną po 4 gwoździe na jedną fałdę blachy, w strefie środkowej po 2 gwoździe na fałdę blachy.

Model wyposażony zostanie w czujniki zegarowe do pomiaru przemieszczeń pionowych (ugięć) i poziomych na powierzchni styku belki stalowej i płyty betonowej (poślizgu).



Rys. 6. Model belki zespolonej – rozmieszczenie obciążenia i czujników pomiarowych:
1 – obciążenie, 2 – czujniki zegarowe do pomiaru przemieszczeń pionowych (ugięć),
3 – czujniki zegarowe do pomiaru przemieszczeń poziomych na styku belki i płyty
Fig. 6. Model of the composite beam – location of loads and sensors: 1 – loads,
2 – sensors for vertical dislocation (deflections), 3 – sensors for horizontal dislocation between steel beam and concrete slab

Obciążenie przyłożone będzie za pomocą połączonych siłowników. W celu uzyskania wartości obciążenia zbliżonej do obciążenia równomiernie rozłożonego zastosowane zostaną 4 siłowniki rozmieszczone w równych odstępach na rozpiętości belki (rys. 6). Siłowniki ustawione zostaną nad osią belki stalowej.

4. Uwagi końcowe

Opisane rozwiązanie połączenia płyty betonowej z belką stalową w stalowo – betonowej belce zespolonej może okazać się bardzo przydatne dla coraz powszechniej stosowanych stropów zespolonych. Przydatność ta wynika z niskiej pracochłonności i łatwości wykonania zespolenia. Cechy te mogą znacząco zmniejszyć czas realizacji i koszty inwestycji oraz przyczynić się do szerszego zastosowania konstrukcji zespolonych.

Aby opisane rozwiązanie mogło być stosowane w codziennej praktyce projektowej, a tym samym, aby znalazło zastosowanie w nowo projektowanych obiektach budowlanych, niezbędne jest stworzenie wytycznych projektowych.

LITERATURA

1. Kucharczuk W.: Belki zespolone stalowo-betonowe w konstrukcjach budowlanych. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2001.
2. Aprobata Techniczna ITB nr AT-15-6071/2003: Blachy profilowane FLORSTROP T-59 Z do wykonywania płyt zespolonych stalowo-betonowych. Warszawa, wrzesień 2003.
3. Byrdy A.: Instrukcja: „Stosowanie blach FLORSTROP T59Z w zespoleniu z betonem na stropy zespolone". Kraków, listopad 2003.
4. Hilti: Podręcznik techniki mocowań. Wydanie II.
5. PN-B-03300 Konstrukcje zespolone stalowo-betonowe. Obliczenia statyczne i projektowanie
6. ENV 1994-1-1: 1992 Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures – Part 1-1; General rules and rules for buildings.
7. Moy S., Jolly C., El-Shihy A.: Unwelded shear connectors for composite beams; Composite steel structures. Advances, Design and Construction. Page 65. Spon E & F N (UK) december, 1990.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Aleksander Kozłowski