

dr hab. inż. Paweł Lewiński, prof. ITB¹⁾
mgr inż. Jerzy Derysz²⁾

Nowy system stropów zespolonych typu *slim floor*

A new system of composite slim floors

DOI: 10.15199/33.2019.04.05

Streszczenie. Nowo projektowane stropy typu *slim floor* składają się z belki zespolonej stalowo-betonowej połączonej z płytami prefabrykowanymi lub monolitycznymi. Płyty zostały oparte na dolnych półkach belki zespolonej tak, aby zapewnić płaską dolną powierzchnię stropu. Zespalające trzpienie żelbetowe zbrojone są prętami poziomymi przechodzącymi przez perforowane środniki belki i zakotwionymi w otworach płyt kanałowych. Przedmiotem badań w skali naturalnej wykonanych we współpracy z laboratorium badań wytrzymałościowych ITB były dwa typy stropów *slim floor* składających się z belki zespolonej i prefabrykowanych płyt stropowych. Wyniki doświadczalne i obliczeniowe wykazały zadowalającą zgodność.

Słowa kluczowe: konstrukcje zespolone; konstrukcje stalowo-betonowe; łączniki ścinane; badania w pełnej skali.

Abstract. This type of the slim floor slab consists of newly constructed steel and concrete composite beam connected together with prefabricated or cast in situ floor slab. The slabs have been supported on lower flanges of the composite beam to provide a flat lower surface of finished floor slab. The studs have been devised as the set of horizontal rebars passing through the perforated webs of the beam and anchored in the circular openings of the hollow-core slabs. Two types of structures, each consisting of composite beam and the prefabricated floor slabs, have been the subject of full scale tests performed in cooperation with ITB strength tests laboratory. Experimental and computational results showed satisfactory consistence.

Keywords: composite structures; steel-concrete structures; shear connections; full-scale tests.

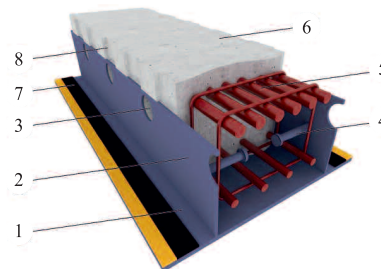
Wieloletnie doświadczenia z eksploatacji stropów z płyt kanałowych pozwoliły na głębsze poznanie ich współpracy z odkształcalnymi belkami stalowymi stanowiącymi oparcie podatne [1, 2, 3]. Belki ulegają znacznym odkształceniom pod wpływem obciążeń i w efekcie płyty nie opierają się na całej powierzchni półek, a w granicznym przypadku jedynie na krawędziach. Płyty pod wpływem odkształcenia poprzecznego w strefie oparcia belki na podporze doznają naprężeń ścinających w kierunku poprzecznym do ich osi. Ten stan prowadzi do pęknięć w rejonie środników płyt i znacznej redukcji ich nośności na siłę poprzeczną. Najnowsze badania Heggera, Roggendorfa i Kerkeniego [3] doprowadziły do wprowadzenia zmian w normach niemieckich, pozwalających na uregulowanie zasad obliczeniowych, które obowiązują od maja 2017 r. i zostaną również uwzględnione w Eurokodach. Badania doświadczalne płyt HC opartych na podporach podatnych wykazały, że istotny wpływ na nośność płyt ma sztywność na zginanie belek w okresie początkowym. Odkształcenia belek

stropowych w stanie montażu mają zatem znaczny wpływ na nośność stropu podczas eksploatacji. Belka BH (hybrydowa), będąca dźwigarem nośnym opisywanej koncepcji stropów zespolonych, została zaprojektowana z uwzględnieniem aktualnego stanu wiedzy. Dzięki zespoleniu przekroju żelbetowego ze stalowym belka BH uzyskała dużą sztywność na zginanie i skręcanie. Ponadto zastosowano podniesienie wykonawcze w postaci ujemnej strzałki ugięcia, co pozwala eliminować niebezpieczeństwo zarysowania żeberków płyt HC podczas montażu. Przez dodatkowe zespolenie z płytami stropu za pomocą trzpieni żelbetowych i specjalnie wykształconych wrębów zwiększono sztywność i nośność belki BH w fazie użytkowania. Dzięki wypełnieniu wszystkich kanałów płyt mieszanką betonową zapobiegnięto zjawisku ścinania żeberków płyt kanałowych w stropie.

Koncepcja konstrukcyjna

Rozważany system stropowy składa się z belki zespolonej stalowo-betonowej połączonej z płytą stropową wylewaną na mokro lub prefabrykowaną. Kluczową rolę w zespoleniu wewnętrznym belek typu BH odgrywają trzpienie główkowe, które mają za zadanie połączyć stalowy korpus belki (przenoszący

siły rozciągające) z jej częścią żelbetową przejmującą siły ściskające (rysunki 1 i 2). Prefabrykowane sprężone kanałowe płyty stropowe są podparte na dolnych półkach stalowej części belki zespolonej BH o odwróconym przekroju poprzecznym TT, tak aby zapewnić płaską dolną powierzchnię płyty stropowej (rysunki 1 i 2). W celu zapobiegnięcia utracie połączenia belki zespolonej i płyt stropowych zastosowano systemy żelbetowych trzpieni i wrębów, zapewniających odpowiednie połączenie między tymi elementami. Połączenie to realizuje się za pomocą zbrojenia zrywającego, wkładanego do otworów



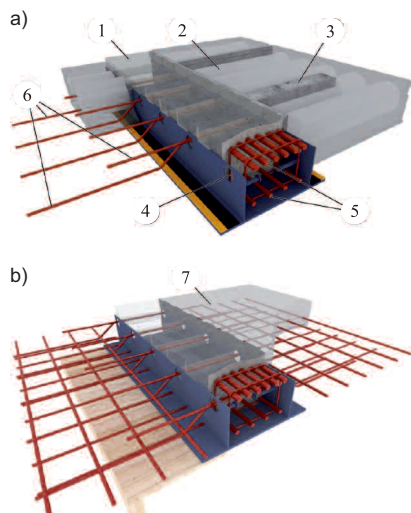
Rys. 1. Stropowa belka zespolona BH: 1 – półka dolna; 2 – środnik; 3 – otwór; 4 – trzpień główkowy; 5 – zbrojenie; 6 – beton belki; 7 – podkładka elastomerowa; 8 – wręby

Fig. 1. The composite BH beam: 1 – lower flange; 2 – web; 3 – opening; 4 – swollen pin; 5 – rebar; 6 – concrete of the beam; 7 – elastomeric pad; 8 – notched surface

¹⁾ Instytut Techniki Budowlanej

²⁾ Pfeifer Steel Production Poland

^{*}) Adres do korespondencji: p.lewinski@itb.pl



Rys. 2. Zastosowanie belek typu BH jako podparcia stropów: a) kanałowych; b) monolitycznych; 1 – belka BH; 2 – płyta kanałowa; 3 – beton wypełniający kanały; 4 – otwór w belce; 5 i 6 – zbrojenie podłużne i zszywające; 7 – płyta monolityczna

Fig. 2. Application of BH beams as the supports for: a) HC slabs; b) cast in situ slabs; 1 – BH beam; 2 – HC slab; 3 – concrete filling the channels; 4 – opening in the beam; 5 and 6 – longitudinal and stitching reinforcement; 7 – cast in situ slab

montażowych w belce i kanałach w płytach stropowych, a po wypełnieniu szczelin montażowych drobnoziarnistym betonem na głębokość co najmniej 25 cm uzyskuje się jednolity przekrój hybrydowy łączący belkę BH i płyty stropowe, dzięki czemu otrzymuje się oczekiwaną szerokość współpracującą płyt stropowych (rysunek 3).



Rys. 3. Belka BH zintegrowana ze stropem – podwójne zespolenie

Fig. 3. BH beam integrated with the floor slab – double junction

Badania doświadczalne

Badania doświadczalne belek BH przeprowadzono w laboratorium badań wytrzymałościowych ITB, natomiast systemy belkowo-płytowe na belkach BH były przedmiotem badań połowych w skali naturalnej wykonanych we współpracy z laboratorium ITB [1]. Jako modele badawcze do badań połowych zastosowano dwa rodzaje konstrukcji, z których każda składała się z belki typu BH i prefabrykowanych płyt stropowych. Do badań przygotowano jedną belkę

BH 20-300 o rozpiętości teoretycznej 5,80 m, wysokości 200 mm i szerokości 300 mm jej części żelbetowej oraz drugą belkę BH 27 – 350 o rozpiętości teoretycznej 7,80 m, wysokości 270 mm i szerokości 350 mm jej części żelbetowej. Przed badaniem wprowadzono siłomierze pomiędzy każdą ze stref podporowych belki a podporą. Umożliwiło to określenie reakcji podporowych, a tym samym obciążenia sumarycznego działającego na belkę. W pierwszym etapie badania przykładano obciążenie w postaci żelbetowych płyt drogowych układanych na warstwie wyrównawczej piasku za pomocą suwnicy, natomiast w drugim umieszczono na nich zbiorniki, które wypełniono wodą. W trakcie badania rejestrowano ugięcie belki w środku jej rozpiętości za pomocą czujnika LDVT. Sposób przeprowadzenia pomiaru wyeliminował wpływ osiadania belki na podporach z łożyskami elastomerowymi. Wraz z ugięciem rejestrowano wartości reakcji podporowych oraz odkształcenia w wybranych miejscach na zbrojeniu podłużnym i powierzchni belki. Nie zaobserwowano odpajania się płyt kanałowych.

Rezultat analizy porównawczej przedstawiono częściowo w [1]. Wyniki doświadczalne i obliczeniowe wykazały zadowalającą zgodność. Konstrukcja charakteryzuje się dużą sztywnością na skręcanie, dzięki czemu można wyeliminować podparcie stropu w czasie montażu oraz zaplanować dowolną kolejność układania płyt HC na belkach bez obawy utraty stabilności niepołączonych jeszcze elementów stropu wywołanej momentem skręcającym działającym na jednostronnie obciążoną belkę (fotografia).

Podsumowanie i wnioski

W artykule przedstawiono nową koncepcję stropów zespolonych, których zaletą jest to, że belki zespolone są usytuowane prawie na tym samym poziomie, co płyty stropowe, co pozwala uzyskać płaską powierzchnię dolną



Montaż stropu typu slim floor z płyt kanałowych opartych na belkach BH

Assembly of the floor slabs slim floor type composed of HC slabs based on BH beams

stropów. Przy przyjęciu takich założeń możliwe okazało się opracowanie metody obliczania omawianych układów konstrukcyjnych, głównie poddawanych zginaniu (i niekiedy skręcaniu) oraz rozpoznanie mechanizmu zniszczenia. Proponowany model analityczny bazuje na normach europejskich, ale został zaktualizowany w celu uwzględnienia wyników najnowszych prac badawczych [1 – 3]. Wyniki eksperymentalne i obliczeniowe wykazały zadowalającą zgodność, co świadczy o tym, że proponowany model analityczny pozwala właściwie oszacować nośność i ugięcie. Przedmiotem dalszych badań B+R omawianych systemów stropowych będą:

- uściślenie modeli obliczeniowych SGU i SGN zarówno całych układów belkowo-płytowych, jak i wydzielonych belek zespolonych;
- badania pilotażowe modernizowanych układów belkowo-płytowych;
- badania wdrożeniowe nowych typów współpracujących płyt stropowych.

Rysunki i fotografie: J. Derysz

Literatura

- [1] Derysz Jerzy, Paweł M. Lewiński, Przemysław Więch. 2017. „New concept of composite steel-reinforced concrete floor slab in the light of computational model and experimental research”. *Procedia Engineering* 193: 168 – 175. DOI: org/10.1016/j.proeng.2017.06.200.
- [2] Giżejowski Marian A., Aleksander Kozłowski, Wojciech Lorenc. 2018. „Aktualne problemy budownictwa stalowego”. *Inżynieria i Budownictwo* 7 – 8: 390 – 396.
- [3] Hegger Josef, Thomas Roggendorf, Naceur Kerkeni. 2009. „Shear capacity of prestressed hollow core slabs in slim floor constructions”. *Engineering Structures* 31 (2): 551 – 559. DOI: org/10.1016/j.engstruct.2008.10.006.

Przyjęto do druku: 19.03.2019 r.