

Maciej Major, Krzysztof Kuliński

ŁĄCZNIKI W KONSTRUKCJACH ZESPOLONYCH STALOWO-BETONOWYCH - PRZEGLĄD ROZWIĄZAŃ

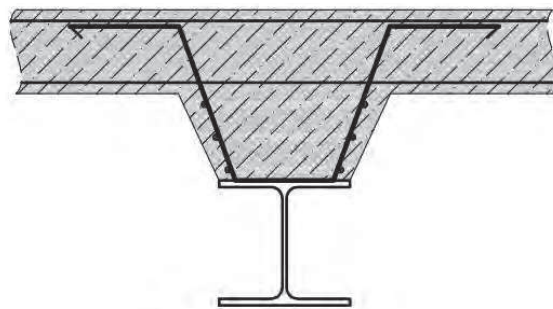
Wprowadzenie

Metal, a także sztuczny kamień w postaci betonu znane są ludzkości już od wieków. Początki sztucznego kamienia będącego betonem sięgają starożytnego Rzymu i Egiptu. Również odkrycie metalu - miedzi sięga starożytności, a datę jego wynalezienia szacuje się na 9000 r. p.n.e. Na przestrzeni wieków, gdzie dokonywał się rozwój wiedzy, jak i znanej technologii, oba materiały znalazły zastosowanie w budownictwie. Beton jako budulec używany był już w starożytności, podczas gdy pierwsze konstrukcje wykonane całkowicie z metalu zaczęły powstawać w drugiej połowie XVIII w. Choć oba materiały znane były od wieków, to pierwsze połączenie obu materiałów, tworzących tym samym grupę elementów żelbetowych, datuje się na połowę XIX wieku.

Doskonalenie monolitycznych konstrukcji żelbetowych, w których wykorzystywane było zbrojenie samonośne, w bezpośredni sposób przyczyniło się do powstania konstrukcji zespolonych. Zbrojenie samonośne wykorzystywane było głównie w budownictwie mostowym, gdzie spełniało ono rolę swego rodzaju rusztowania dla konstrukcji żelbetowej. W kolejnych latach, w szczególności w Europie Zachodniej i Ameryce Północnej, rozpowszechnił się trend budowania obiektów wielokondygnacyjnych o szkieletcie stalowym i stropach stalowo-betonowych. Płyty stropowe wykonywane były na belkach stalowych, a współpracę betonu ze stalą zapewniano poprzez obetonowanie belek. Stalowa obetonowana belka była elementem dość kłopotliwym i czasochłonnym pod względem wykonania, dlatego też inżynierowie dążyli do usprawnienia całego procesu wykonawstwa. Przełomowym odkryciem było zastosowanie łączników mechanicznych, które pozwalały na uformowanie spodu żelbetowej płyty na równi z górną powierzchnią profilu belki stalowej przy jednoczesnym zachowaniu współpracy pomiędzy obydwojema materiałami.

1. Historia łączników mechanicznych

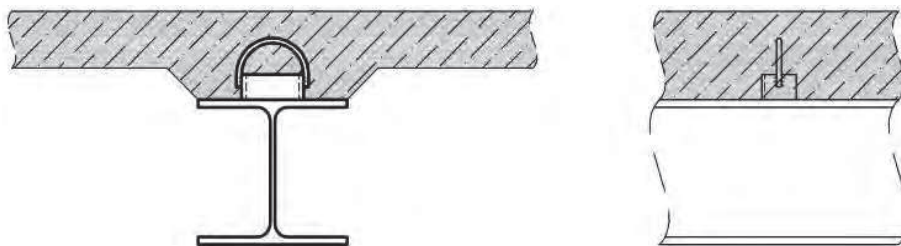
W początkowej fazie rozwoju konstrukcji zespolonych stalowo-betonowych stosowane były łączniki mechaniczne w postaci prętów zbrojeniowych. Elementy te zabezpieczały płytę przed zjawiskiem poślizgu na styku płyty betonowej z belką stalową pod wpływem sił rozciągających, jak również zabezpieczały płytę przed odrywaniem się od belki. Jeden z pierwszych stropów, w którym płyta betonowa łączona była z górną powierzchnią belek stalowych za pomocą kotew w postaci okrągłych prętów zbrojeniowych, wykonano w budynku firmy Thyssen w Niemczech [1]. Pręty spawano do górnej półki belki stalowej pod kątem 45° , tak aby w przekroju uzyskać element belki z prętami tworzącymi trapez z otwartą na zewnątrz podstawą górną (rys. 1), płytę natomiast wykonywano jako pogrubioną w miejscach przypodporowych. „Trapezowe” łączniki dodatkowo wzmacniano poprzez przyspawanie prętów podłużnych.



Rys. 1. Zespolecie belki z płytą za pomocą prętów zbrojeniowych przyspawanych do górnej półki belki stalowej. Początkowy etap rozwoju konstrukcji zespolonych

Dalsze badania konstrukcji zespolonych w latach 1933-1956 skupione były wokół zastosowania jako łącznika mechanicznego spirali wykonanej z pręta okrągłego [2]. Rozwiązanie to pozwalało na uzyskanie znacznej powtarzalności łącznika, zapewnienie odpowiedniej nośności połączenia oraz formowanie styku płyty na górnej powierzchni belki stalowej. Wadą tego rozwiązania była czasochłonność wykonania pojedynczego łącznika. W latach czterdziestych XX wieku przeprowadzone zostały w Stanach Zjednoczonych szerokie badania dotyczące zastosowania łączników mechanicznych w postaci kształtowników walcowanych [2]. Badania te wykazały, że najlepsze parametry uzyskuje się przy zastosowaniu kawałków ceowników oraz łączników z blach. Podobnie jak w przypadku łączników spiralnych z prętów okrągłych, rozwiązanie to miało jedną wadę - czasochłonność wykonania.

W tych samych latach, w których prowadzone były badania nad łącznikami spiralnymi i łącznikami z kształtowników walcowanych, w Szwajcarii i Niemczech prowadzono badania nad łącznikami blokowymi [2]. Łącznik blokowy tworzone poprzez przyspawanie do górnej półki belki płytki stalowej lub kawałka ceownika, a następnie do takiego elementu przyspawano stalowe ucho (rys. 2).



Rys. 2. Łącznik blokowy wykonany z ceownika i stalowego ucha stosowany w konstrukcjach mostowych

Łączniki te posiadają znacznie większą nośność w porównaniu do pozostałych łączników, wynoszącą do 1000 kN. Przyspawany do belki stalowej kawałek ceownika lub płytka stalowa ma za zadanie przejście sił ścinających, natomiast stalowe ucho ma za zadanie przeniesienie sił powodujących odrywanie się płyty. Metoda łączenia elementów stalowych z betonem za pomocą łączników blokowych znalazła zastosowanie przede wszystkim w budownictwie mostowym i stosowana jest również współcześnie. Ponieważ wytwarzanie tego typu łączników jest pracochłonne, jak również sam proces spawania jest czasochłonny, często projektuje się łączniki w postaci ciągłego pasma blachy perforowanej, która jest znacznie prostsza w produkcji oraz pozwala na wykorzystanie automatów spawalniczych [3].

W latach 50. przeprowadzono i rozpowszechniono system połączenia belki stalowej z płytą monolityczną za pomocą łączników sworzniowych. Metoda produkcji łączników była prosta, a sposób montażu wydajny, gdyż łącznik przypawywano do górnej powierzchni belki stalowej. Łączniki sworzniowe z główką są rozwiązaniem, które jest współcześnie najczęściej stosowaną metodą w budownictwie przy konstrukcjach zespolonych.

Badania oraz realizacja konstrukcji zespolonych prowadzone były również w Polsce w latach 60. Zaprojektowane zostały sprężone wiązary stalowe z dwugałęziowym pasem górnym, poprzez który wykonane zostało zespolenie. Wiązary te następnie zostały przebadane pod względem osiągniętej nośności i bezpieczeństwa pracy konstrukcji, a następnie po pomyślnie przeprowadzonych testach projekt został zrealizowany [4, 5].

W latach 60. prowadzono jednocześnie badania nad łącznikami ze śrub wysokiej wytrzymałości, które wykorzystywano przy zespoleniu belek z płytami prefabrykowanymi. Udoskonalanie technologii pozwoliło dodatkowo na zastosowanie przy zespoleniu stropów łączników w postaci śrub sprężających, przy których zwiększenie nośności połączenia uzyskiwało się poprzez zastosowanie kleju na bazie żywicy epoksydowych [6]. Rozwiązania te znajdują swoje zastosowanie również we współczesnych konstrukcjach zespolonych.

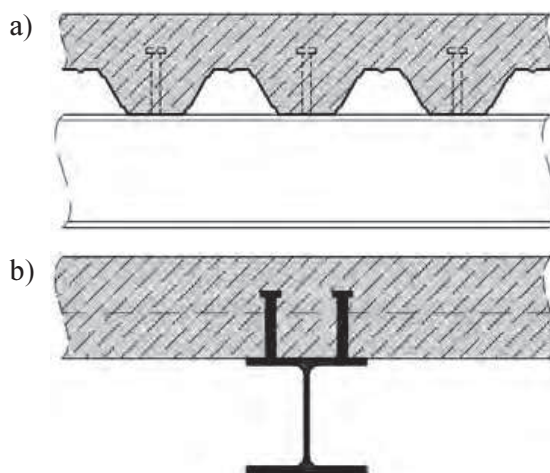
2. Wymagania, jakie muszą spełniać współczesne łączniki mechaniczne

Przed łącznikami mechanicznymi stawia się następujące wymagania - w stanie granicznym nośności (SGN) muszą one zabezpieczać płytę przed podłużną siłą

rozwarstwiająca, jak również muszą zabezpieczać płytę przed odrywaniem się od belek. Element konstrukcyjny uznaje się za zabezpieczony przed odrywaniem, jeżeli łączniki przejmują występującą w elemencie siłę rozciągającą. W przypadku bardzo małych sił rozciągających łączniki projektuje się na maksymalną wartość siły równą 0,1 wartości obliczeniowej nośności łączników na ścinanie i faktycznej siły rozciągającej [7]. W przypadku dużych sił rozciągających, przy których nośność łącznika sworzniowego jest niewystarczająca, do łączników dołącza się specjalne elementy kotwiące. Dodatkowym wymaganiem łączników sworzniowych jest ich plastyczna odkształcalność, zapewniająca odpowiednią redystrybucję ścinania. Łączniki sworzniowe z główką spełniają ten warunek, gdy średnica przekroju poprzecznego znajduje się w zakresie 16÷22 mm, a długość całkowita takiego sworznia jest większa niż czterokrotność jego średnicy [7].

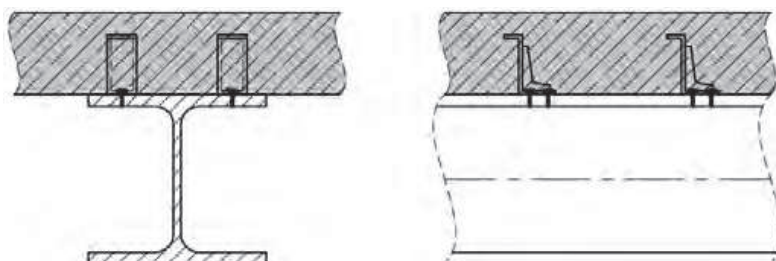
3. Współcześnie stosowane łączniki mechaniczne

Po wielu latach badań dynamiczny rozwój konstrukcji zespolonych nastąpił w latach 50. XX wieku, kiedy to zaprojektowano, przebadano oraz zastosowano łączniki sworzniowe z główką. Metoda połączeń elementów stalowych z betonem przy użyciu łączników sworzniowych okazała się na tyle skuteczna, że stosowana jest najczęściej we współczesnym budownictwie konstrukcji zespolonych. Łączniki sworzniowe najczęściej stosowane są przy budowie stropów zespolonych, w których odeszło się od stosowania zwykłego deskowania całej konstrukcji na rzecz deskowania traconego w postaci blach trapezowych. Zastosowanie deskowania traconego w postaci blachy trapezowej oraz przypawywanie łączników sworzniowych z główką poprzez blachę do belki stalowej pozwala na dużą łatwość i swobodę montażu, jak również czas konieczny do wzniesienia konstrukcji jest zredukowany do minimum. Przykład zastosowania blachy trapezowej z przypawanymi łącznikami sworzniowymi poprzez blachę do belki przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Strop zespolony - wykorzystanie blachy trapezowej i przypawanie łącznika poprzez blachę: a) przekrój podłużny przez belkę stalową, b) przekrój poprzeczny przez belkę stalową

W przypadku belek stropowych, przy występowaniu małej siły rozwarstwiającej stosuje się łączniki kątowe, które następnie przystrzeliwane są do belki za pomocą specjalnych gwoździ. Rozwiązanie takie można znaleźć w ofercie firmy HILTI. Przykładowy schemat rozwiązania łącznika kąтового przystrzeliwanego gwoździami przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Zespolenie z zastosowaniem łączników kątowych przystrzeliwanych za pomocą gwoździ HILTI

Innymi stosowanymi współcześnie rozwiązaniami połączenia betonu z elementami stalowymi w konstrukcjach zespolonych jest dospawanie do pasa górnego np. połówki dwuteownika. Rozwiązanie to stosowane jest najczęściej w konstrukcjach mostowych, w których należy zapewnić wysoką nośność na rozwarstwienie i ściananie w płaszczyźnie styku płyty betonowej z profilem stalowym. Taki typ połączenia pozwala na uzyskanie nośności większych niż w przypadku zastosowania łączników blokowych. Zwiększenia nośności można dokonać poprzez perforowanie środka połówki dwuteownika i przeciągnięcie przez niego prętów zbrojeniowych.

W przypadku konstrukcji zespolonych z płytami prefabrykowanymi zastosowanie znajdują kotwy wklejane za pomocą żywicy epoksydowych lub śruby wysokiej wytrzymałości. Zastosowanie śrub wysokiej wytrzymałości pozwala na wykonanie połączeń sprężonych ciernych, pod wpływem których siła rozwarstwiająca przenoszona jest przez opór tarcia. Oba połączenia gwarantują łatwość i szybkość montażu konstrukcji.

Podsumowanie

Dynamiczny rozwój i postęp technologiczny w dziedzinie projektowania i realizacji obiektów w konstrukcji zespolonej zapoczątkowany w latach trzydziestych ubiegłego wieku pozwolił na znalezienie rozwiązań łączenia elementów metalowych z betonem w sposób wygodny, szybki, a zarazem gwarantujący bezpieczeństwo pracy konstrukcji. Aktualnie rozróżnia się trzy grupy łączników używanych w konstrukcjach zespolonych, tj. mechaniczne, adhezyjne oraz hybrydowe, mechaniczno-adhezyjne. Obecnie najczęściej stosowane są łączniki sworzniowe z główką, które zostały wynalezione w latach pięćdziesiątych ubiegłego wieku. Pozostałe rozwiązania stosowane są nieco rzadziej, natomiast wybór odpowiedniej technologii połączenia zależy od typu projektowanej konstrukcji i działających na nią obciążeń.

Literatura

- [1] Sattler K., Composite construction in theory and practice, The Structural Engineering 1961, April, 124-144.
- [2] Viest J.M., Review of research on steel-concrete beams, Journal of Structural Division 1960, 86, 6, 1-21.
- [3] Kuliński K., Projektowanie konstrukcji zespolonych z wykorzystaniem łączników mechanicznych, Miesięcznik Budownictwa Polskiego 2015, 71, 39-42.
- [4] Frejno M., Stropy zespolone w parkingach wielopoziomowych, Kalejdoskop Budowlany 2005, 3, 52-54.
- [5] Kuś S., Domański S., Badania stalowych kratownic sprężonych, Inżynieria i Budownictwo 1965, 12, 405-408.
- [6] Viest J.M., Badoux J.-C., Hirt M.A., Composite steel-concrete construction. Report of subcommittee on the state-of-the art. Survey of the task committee on metals of the structural division, Journal of the Structural Division 1974, 100, ST5, 1085-1139.
- [7] PN-EN 1994-1-1:2004, Eurokod 4: Projektowanie zespolonych konstrukcji stalowo-betonowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków, PKN, Warszawa 2004.

Streszczenie

W artykule zaprezentowano historyczne i współczesne stosowane rozwiązania połączeń w konstrukcjach zespolonych stalowo-betonowych. Dodatkowo w pracy omówiono wymagania, jakie współcześnie muszą spełniać łączniki mechaniczne.

Słowa kluczowe: łączniki, konstrukcje zespolone stalowo-betonowe

Connections in composite steel concrete structures - review of utilized solutions

Abstract

In this paper there were shown historical and present utilized solutions of connections in composite steel-concrete structures. Moreover, current requirements for bolts in accordance with European Eurocode have been presented.

Keywords: bolts, composite steel concrete structures