

NOWOCZESNA PREFABRYKACJA

Nowy cykl artykułów, poświęconych współczesnej, nowoczesnej prefabrykacji, tworzony jest we współpracy ze Stowarzyszeniem Producentów Betonów. Cykliczna rubryka ma na celu promocję korzyści ze stosowania prefabrykacji betonowej, możliwości pod kątem budownictwa przemysłowego, mieszkaniowego i drogowo-mostowego oraz innych zastosowań, promocję innowacji w prefabrykacji, przybliżenie zasad projektowania konstrukcji prefabrykowanych i ich elementów, a także prezentację wybranych obiektów. Wprowadzenie do cyklu stanowi przedstawienie idei prefabrykacji betonowej w budownictwie.



STOWARZYSZENIE PRODUCENTÓW BETONÓW
Rok założenia 1994
www.s-p-b.pl

PARTNERZY TEMATU



PREFABRYKACJA BETONOWA

Część 7. Połączenia elementów

dr inż. Grzegorz Adamczewski, Politechnika Warszawska
dr hab. inż. Piotr Woyciechowski, prof. PW, Politechnika Warszawska
mgr inż. Łukasz Stankiewicz, JORDAHL & PFEIFER Technika Budowlana Sp. z o.o.

Współczesna prefabrykacja aktualnie oferuje projektantom szereg rozwiązań połączeń systemowych umożliwiających wykorzystanie jej atutów do maksimum.

Wznoszenie obiektów budowlanych z prefabrykatów, zgodnie z ideą prefabrykacji, polega na połączeniu na miejscu wbudowania wyprodukowanych wcześniej elementów w kompletną i funkcjonalną całość. Proces ten ma kluczową rolę w kształtowaniu charakterystyki tej technologii budowania i stanowi o pełnym wykorzystaniu korzyści stosowania technologii prefabrykacji, co determinuje ekonomiczną opłacalność prefabrykacji oraz terminowość wzniesienia realizowanego obiektu. Uproszczenie rozwiązań konstrukcyjnych w połączeniach elementów pozwala ograniczyć pracochłonność wznoszenia oraz liczebność ekip montażowych, a zatem i koszt budowy. Zmniejsza się także ryzyko wystąpienia niebezpiecznych zdarzeń podczas realizacji obiektu.

Ogólne wymagania

Połączenia w konstrukcjach prefabrykowanych występują zarówno pomiędzy elementami konstrukcyjnymi, jak i elementami pełniącymi pomocnicze funkcje w obiekcie. Połączenia pomiędzy elementami konstrukcyjnymi z racji przyjętych schematów statycznych muszą przenosić pomiędzy elementami siły wynikające z przyjętego charakteru pracy konstrukcji. Jest to bardzo istotne zadanie, które decyduje o niezawodności i bezpieczeństwie konstrukcji. Połączenia we współczesnej konstrukcji prefabrykowanej muszą spełniać następujące kryteria:

- **wysoka niezawodność użytkowania i trwałość** – maksymalnie dokładne odwzorowanie danego charakteru pracy konstrukcji oraz zachowanie niezawodności pracy ustroju konstrukcyjnego w całkowitym okresie życia

obiektu, ograniczenie przenoszenia dźwięku i drgań, eliminacja mostków termicznych, zapewnienie wymaganej odporności ogniowej;

- **prostota realizacji węzła** – mająca zasadniczy wpływ na prawidłowość i nakład pracy na jego wykonanie;
- **niski koszt wykonania** – rozumiany jako koszt materiałowy, koszt aplikacji w konstrukcję oraz ew. koszt utrzymania w przyszłości;
- **wysoka estetyka** – w coraz większym stopniu konstrukcja żelbetowa spełnia również funkcję architektoniczną, a same węzły połączeń pozostają widoczne dla użytkownika.

Prawidłowo ukształtowane połączenia – zaprojektowane na etapie produkcji i wykonane na etapie montażu – powinny spełniać powyższe warunki. Rozwiązanie połączeń elementów prefabrykowanych jest kluczowym czynnikiem kształtującym przebieg i szybkość montażu obiektu. W miejscu połączenia elementów konieczne jest wykonanie złącza, które pełni funkcje: konstrukcyjną – zapewnienie przenoszenia sił w połączeniu, izolacyjną – termika, akustyka, drgania, a także funkcję uszczelniającą – woda, wiatr. Złącze może się zatem składać z kilku części, obejmując płaszczyznę styku, spoinę, izolację i łączniki – częściowo wbudowane w prefabrykat na etapie jego produkcji. Możliwe jest także takie ukształtowanie złącza, że jeden uniwersalny kompaktowy element łącznikowy spełnia wszystkie wymienione funkcje. Dobrym przykładem ilustrującym taki przypadek jest łącznik balkonowy, który pozwala zamocować wspornikową płytę balkonową do stropu, jednocześnie zapewniając ochronę cieplną i szczelność w złączu.



Fot. arch. PeiJobex

Schematy statyczne połączeń

Konstrukcje prefabrykowane pozwalają zrealizować praktycznie każdy schemat statyczny połączenia. Nawet skomplikowane statycznie obiekty mogą być realizowane z elementów prefabrykowanych. Możliwe do realizacji schematy połączeń to schematy:

- swobodnie podparty (najczęściej stosowany ze względu na swoją prostotę i szybkość montażu, szczególnie zalecany w budynkach niskich i średnio wysokich);
- półsztywny (pozwalający przenosić część momentów biorących udział w usztywnieniu konstrukcji);
- sztywny (przenoszący maksymalne momenty – możliwość wykrowania takich połączeń dzięki systemowym łącznikom lub monolizacji połączeń).

Współcześnie coraz powszechniej stosowane technologie połączeń pozwalają unikać stosunkowo skomplikowanych do realizacji połączeń spawanych z wykorzystaniem zakotwionych w betonie marek stalowych lub połączeń z wykorzystaniem łączenia zbrojenia stykających się elementów konstrukcyjnych i monolizowania węzła łączącego na budowie. Tradycyjne połączenia są dość uciążliwe ze strony wykonawczej i wymagają korzystnych warunków atmosferycznych do ich realizacji. Większość współczesnych połączeń opiera się na wykorzystaniu prostych technicznie rozwiązań w postaci złączy skięcanych lub prostych złączy wtykanych. Pozwala to nadal uzyskać stosunkowo dużą tolerancję montażową.

Rodzaje połączeń

Typowe połączenia w obiektach prefabrykowanych obejmują połączenia:

- słupa ze stopą fundamentową,
- słupa z rygłem,
- oparcia spoczników i biegów schodowych,
- oparcia płyt stropowych,
- połączenia ścian prefabrykowanych,
- połączenia w dylatacjach obiektu,
- oparcia belek i dźwigarów na słupach żelbetowych.

Najprostszym przykładem połączenia sztywnego jest węzeł pomiędzy

dzi słupem a prefabrykowanym rygłem. W takim przypadku stosuje się najczęściej zakotwione w jednym elemencie (np. w słupie) trzpienie z gwintowaną końcówką (mufą), a w drugim zakotwiony element okucia z odpowiednim otworem (przy zadanej tolerancji montażowej) gwintowanego sworznia łączącego. Samo złącze po skręceniu przenosi obciążenia montażowe, natomiast po jego wypełnieniu zaprawami montażowymi uzyskuje docelową nośność eksploatacyjną.

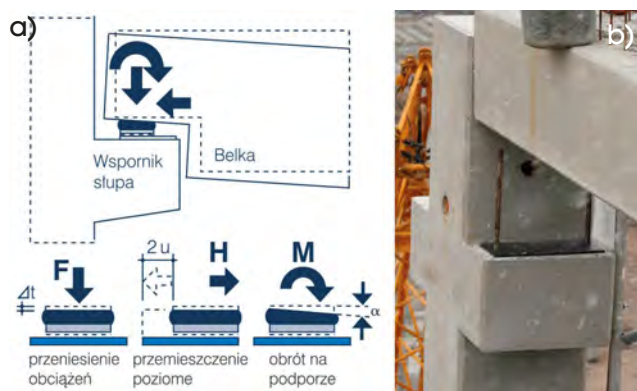


Fot. 1. Połączenie słupa prefabrykowanego z rygłem (a); przykłady połączeń sztywnych belek i słupów (b); montaż słupa prefabrykowanego za pomocą kotew fundamentowych (c)

Połączenia we współczesnej konstrukcji prefabrykowanej muszą spełniać kryteria:

- maksymalnie dokładne odwzorowanie zadanego charakteru pracy konstrukcji,
- zachowanie bezpieczeństwa oraz niezawodności pracy ustroju konstrukcyjnego w całkowitym okresie życia obiektu,
- ograniczenie przenoszenia dźwięku i drgań,
- eliminacja mostków termicznych,
- zapewnienie wymaganej odporności ogniowej.

Podobna zasada obowiązuje również w przypadku realizacji utwierdzenia prefabrykowanego słupa w fundamencie. Tutaj również wyznaczony z danego układu statycznego moment zginający przenoszony jest przez układ łączników (rozciąganych i ściskanych), a złącze wypełnione jest następnie zaprawą. W przypadku realizacji węzłów przegubowych istotną zasadą jest przeniesienie obciążeń na element konstrukcyjny ściśle wg założonego schematu statycznego z zachowaniem koniecznych stopni swobody i wielkości dopuszczonych przemieszczeń. W tego typu połączeniach, od ponad 40 lat w Europie i ponad 10 lat w naszym kraju, całkowitą niezawodnością charakteryzują się podkładki elastomerowe lub kompozytowe na bazie elastomeru, które umożliwiają zapewnienie konstrukcji projektowanych stopni swobody oraz przekazanie obciążeń pomiędzy łączonymi elementami w ściśle określonym punkcie. Materiały te są odporne na starzenie się oraz substancje ropopochodne, a po wykonaniu otulenia wełną mineralną spełniają również najwyższe parametry odporności ogniowej (w szczególnym przypadku powyżej 240 minut).

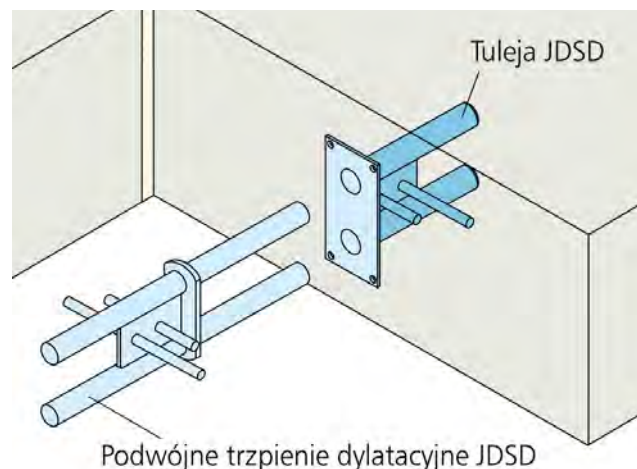


Fot. 2. Schemat pracy połączenia belki ze wspornikiem słupa (a) opartej na podkładce elastomerowej (b)

Trzpienie dylatacyjne

Do kolejnych przykładów tego typu połączeń należą trzpienie dylatacyjne. Realizują zadanie przenoszenia sił tnących w połączeniu z równoczesnym zagwarantowaniem możliwości przemieszczeń wzajemnie oddylatowanych części konstrukcji. Połączenie to bazuje na zasadzie pracy dokładnie dopasowanego trzpienia stalowego w tulei ze stali nierdzewnej wypełnionej specjalnym smarem – minimalizującym współczynnik tarcia. Eliminuje to powstawanie ewentualnych dodatkowych sił poziomych w złączu na skutek przemieszczeń elementów. Na szczególną uwagę zasługują tutaj podwójne trzpienie dylatacyjne, które nadają połączeniu dodatkową sztywność – tak istotną dla minimalizacji odkształceń łączonych elementów

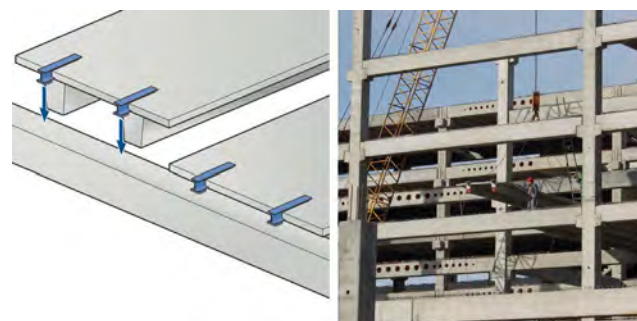
konstrukcyjnych. Nośności tych trzpieni sięgają 1240 kN na punkt, co w zasadzie gwarantuje realizację najbardziej odpowiedzialnych połączeń. Ze względu na spasowanie trzpienia i tulei to rozwiązanie może być stosowane w prefabrykacji, gdy jedna z części dylatacji jest częściowo lub w całości zmonolityzowana.



Fot. 3. Dylatacja elementów konstrukcyjnych z wykorzystaniem podwójnych trzpieni

Podkładki stalowe

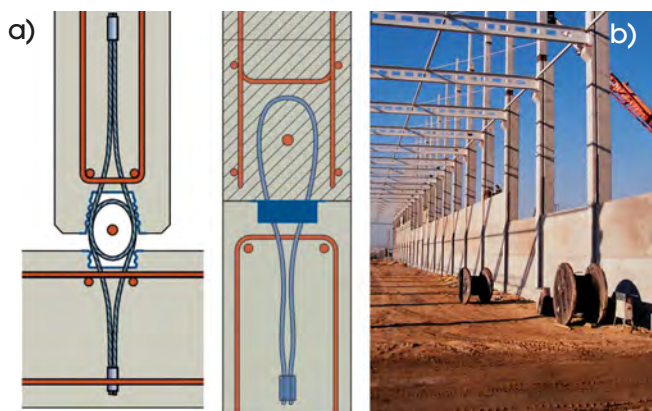
Pod koniec lat dziewięćdziesiątych zaczęto stosować oparcie elementów stropowych z wykorzystaniem wkładów stalowych współpracujących ze zbrojeniem kotwiącym – zwanych popularnie „podkładkami stalowymi”. Ich zastosowanie umożliwia realizację oparcia stropów sprężonych o dużej rozpiętości (tzw. płyt II) na wysokości zaledwie 16 cm. Powoduje to istotne zmniejszenie wysokości konstrukcyjnej stropów przy minimalizacji objętości konstrukcji podciągów lub belek. Wysokie nośności obliczeniowe przekraczające 400 kN (na punkt) gwarantują powszechne zastosowanie tego rodzaju inteligentnego połączenia, wykorzystującego w fazie montażu nośność przekroju stali podkładu, a w fazie eksploatacji nośność krótkiego przekroju stali podkładu, współpracującego z tym przekrojem.



Fot. 4. Oparcie płyt stropowych typu II za pomocą podkładów stalowych

Systemy VS i FS

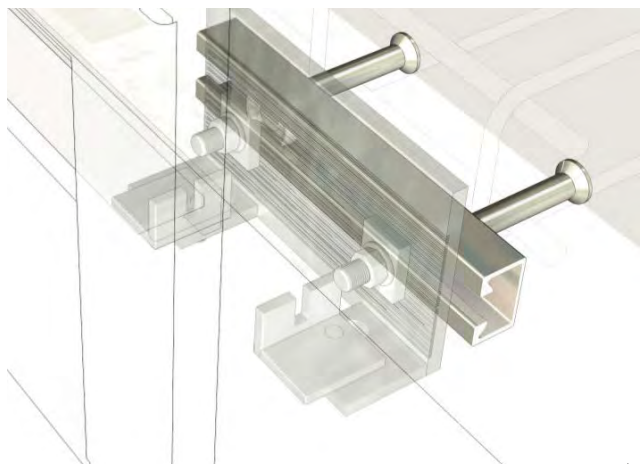
Aktualnie połączenia elementów betonowych, wykonywanych w różnym czasie, realizuje się za pomocą łączników bazujących na wykorzystaniu giętkiej liny stalowej typu VS i FS. Listwy te wykonywane są jako skrzynki punktowe, a szyny i listwy wyposażone są w odpowiedniej wytrzymałości pętle z liny stalowej. Elementy rozmieszczone są w odpowiednich odstępach i zamocowane w specjalnym zamku z tworzywa, gwarantującym zachowanie prostokątności pętli do osi łącznika po wyjęciu z gniazda ochronnego, co jest szczególnie istotne, ponieważ połączenie bazuje na możliwości przejścia przez linę zadanych sił rozciągających w złączu w kombinacji z siłami poprzecznymi. Połączenie tego typu jest powszechnie stosowane w konstrukcjach prefabrykowanych, ponieważ znacznie minimalizuje uciążliwą pracę polegającą na odginaniu prętów w tradycyjnych połączeniach.



Fot. 5. Połączenia ścian prefabrykowanych – System VS (a) i mieszanych (z monolitycznym) – system FS (b)

Szyny kotwiące

Znanym już stosunkowo długo, ale bardzo ciekawym rozwiązaniem technicznym w prefabrykacji jest połączenie z wykorzystaniem szyn kotwiących, które zostały opatentowane przez Andreasa Jordahla przeszło 100 lat temu. Połączenie takie gwarantuje, oprócz przeniesienia zaprojektowanych sił kotwiących (do prawie 100 kN na punkt), zapewnienie niestychnanej tolerancji oraz elastyczności w wielokrotnym jego wykorzystaniu w konstrukcji. Stosowane jest w wielu sytuacjach, począwszy od połączeń wielu elementów konstrukcyjnych do żelbetu poprzez połączenia elementów prefabrykowanych, aż do elementów fasadowych czy instalacji. Dzięki temu rozwiązaniu eliminuje się potrzebę wiercenia w betonie na budowie, co pozwala uniknąć ewentualnych uszkodzeń zarówno zbrojenia betonu, jak i wrażliwej otuliny betonowej.



Fot. 6. Szyna kotwiąca JORDAHL

KOMENTARZ



Przemysław Borek

Prezes Zarządu Pekabex Bet S.A.

Niektóre z opisywanych rozwiązań, jak chociażby oparcie przegubowe belki na słupie za pomocą podkładki elastomerowej, są szeroko stosowane, wybór pozostałych rozwiązań nie jest już tak oczywisty. Jednak obserwując sytuację na rynku wiele z wymienionych rozwiązań zyska na popularności z uwagi na rosnące koszty pracy. Mimo, że sam element łącznikowy jest dość drogi, to w ogólnym rozrachunku, biorąc pod uwagę: uproszczenie łączonych elementów prefabrykowanych, uproszczenie produkcji, ograniczenie kosztów transportu i montażu, z ekonomicznego punktu widzenia jest rozwiązaniem wartym rozważenia. Zaprezentowane połączenia nie są jedynymi, które stosujemy, przyspieszając realizację obiektów, natomiast w ramach naszego Centrum Badań i Rozwoju Pekabex widzimy, że inwestorzy oczekują tego typu rozwiązań.



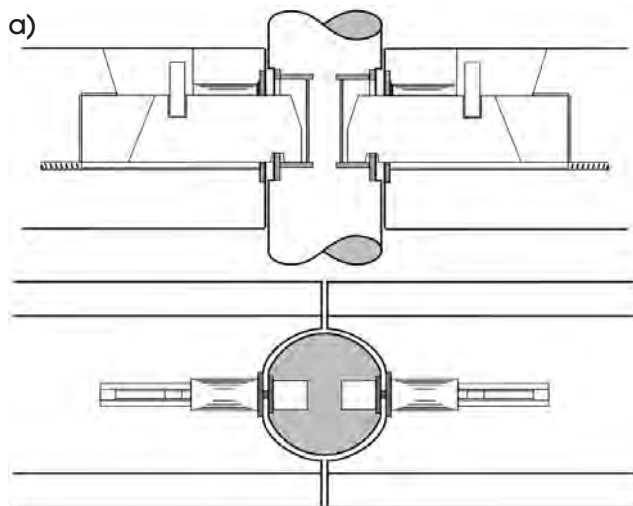
Fot. arch. Pekabex



Połączenia pomiędzy elementami konstrukcyjnymi z racji przyjętych schematów statycznych muszą przenosić pomiędzy elementami siły wynikające z rzeczywistego charakteru pracy konstrukcji.

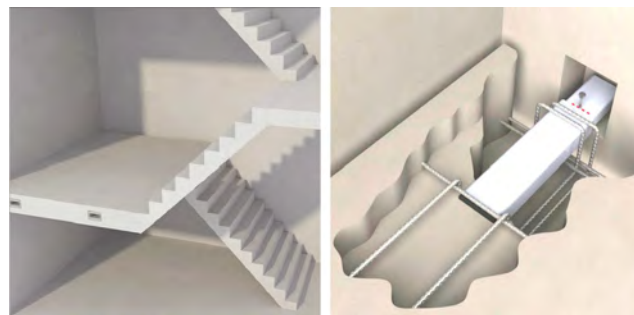
Ukryte połączenia

W ostatnich kilkunastu latach, w poszukiwaniu optymalizacji produkcji elementów żelbetowych, norwescy inżynierowie opracowali tzw. połączenia niewidoczne (eng. invisible connection). Wykorzystują one prostą zasadę zakotwienia odpowiednich wkładów stalowych w elemencie podpierającym (słup, ściana, belka) oraz wkładu z tzw. wysuwanym nożem kotwiącym w elemencie podpieranym (belka, podest klatki schodowej), w zależności od zastosowania zwane jako BSF, DTS lub TSS. Połączenia te przenoszą bardzo wysokie obciążenia od sił poprzecznych rzędu 1000 kN, pozostając jednocześnie bardzo łatwymi w wykonaniu oraz poprawiając estetykę połączeń, co jest związane z eliminacją wystających części wspornika punktowego poniżej dolnej krawędzi opieranej belki (zwłaszcza przy dużych reakcjach podporowych). Zastosowanie połączenia belek ze słupami za pomocą łączników BSF to przykład dobrze skonstruowanego złącza przegubowego gwarantującego maksimum estetyki, tak istotnej z architektonicznego punktu widzenia. Połączenie to jest również w zasadzie niezależne od kąta lub płaszczyzn pomiędzy łączonymi elementami konstrukcyjnymi.



Fot. 8. Oparcie belek na słupach na podporach typu BSF (a) oraz konstrukcja Parkingu ECHO – Kielce wykorzystująca ten rodzaj połączeń (b)

W coraz większym stopniu konstrukcja żelbetowa spełnia również funkcję architektoniczną, a same węzły połączeń pozostają widoczne dla użytkownika.



Fot. 7. Oparcie spoczników schodowych na podporach typu TSS

Koszyki izolacyjne

Przykładem nowoczesnych rozwiązań połączeń, istotnym z punktu widzenia minimalizacji zapotrzebowania energetycznego obiektów budowlanych, są złącza pomiędzy zewnętrznymi elementami konstrukcyjnymi z betonu, stali lub drewna (np. balkony, galerie) a konstrukcją nośną obiektu. W tym celu wykorzystywane są połączenia z koszyków izolacyjnych ISOPRO lub ISOMAXX. Siły rozciągające lub ścinające przenoszą w złączu zgrzewane pręty ze stali zbrojeniowej czarnej i nierdzewnej. Zastosowanie stali nierdzewnej ma istotne znaczenie z punktu widzenia wielokrotnie mniejszego współczynnika przewodności cieplnej tego materiału oraz długotrwałości połączenia, narażanego na ciągłe skraplanie się w tym obszarze pary wodnej i zagrożenia korozją materiału. Elementem termoizolacyjnym stanowiącym jednocześnie dystans jest specjalny styropian o minimalnym współczynniku przewodności cieplnej. Siły ściskające w tym złączu przenoszone są przez elementy dociskowe wykonane z wysokowytrzymałego na ściskanie materiału o minimalnym współczynniku przewodzenia ciepła, pokryte specjalnym materiałem minimalizującym tarcie na styku łączonych elementów.



Fot. 9. Przykład zastosowania (a) elementów izolacyjnych ISOPRO (b) w zespole budynków mieszkalnych przy ulicy Czarny Dwór w Gdańsku

Podsumowanie

Współczesna prefabrykacja aktualnie oferuje projektantom szereg rozwiązań połączeń systemowych umożliwiających wykorzystanie jej atutów do maksimum. Prostota realizacji węzła oraz związane z tym niskie koszty wykonania przekładają się na systematyczny wzrost popularności wśród producentów prefabrykatów. Wysoką niezawodność i trwałość połączeń oraz zachowanie niezawodności ustroju konstrukcyjnego w całym okresie życia obiektu doceniają inwestorzy i użytkownicy obiektów. Należy także zwrócić uwagę na poprawę estetyki połączeń, które mogą pozostać widoczne dla użytkownika, pełniąc swoją podstawową funkcję techniczną i jednocześnie architektoniczną. ■

BIBLIOGRAFIA

- [1] Adamczewski G., Woyciechowski P. & Al: Prefabrykacja – jakość, trwałość, różnorodność. Zeszyt 2, cz. 2, Konstrukcje stalowe realizowane z elementów prętowych, SPB 2015
- [2] PN-EN 1991-2 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 2: Obciążenia ruchome mostów.
- [2] PN-EN 1993-1-1 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [3] PN-EN 1993-2 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 2: Mosty stalowe.