

Maciej MAJOR, Izabela MAJOR

Politechnika Częstochowska

KONSTRUKCJE ZESPOLONE W BUDOWNICTWIE ZRÓWNOWAŻONYM

W artykule opisano konstrukcje zespolone, stanowiące racjonalne rozwiązania konstrukcyjne w odniesieniu do budownictwa zrównoważonego. Korzyści wynikające ze stosowania konstrukcji zespolonych przedstawiono na przykładzie stropu zespolonego wykonanego w dwóch różnych wariantach, tj. stalowo-betonowego oraz betonowego we współpracy z drewnem. Uzyskane wyniki obliczeń analitycznych stanów granicznych nośności i użytkowania posłużyły następnie do analizy porównawczej dotyczącej trwałości oraz aspektów ekologicznych projektowanej konstrukcji.

Słowa kluczowe: konstrukcje zespolone, strop, budownictwo zrównoważone, recykling

WPROWADZENIE

W obecnych czasach, kiedy ochrona środowiska odgrywa istotną rolę, powstaje wiele metod i technik pozwalających na ograniczenie negatywnego wpływu człowieka na środowisko. Każdy z nas codziennie przyczynia się do jego powolnej degradacji poprzez nadmierne zużywanie wody, energii, produkowanie odpadów itd.

Recykling jest jednym z wielu sposobów ochrony środowiska, polegającym na powtórny przetworzeniu zużytych materiałów. Ma na celu zredukowanie zużycia naturalnie występujących surowców poprzez maksymalne wykorzystanie materiałów odpadowych przy jednoczesnej minimalizacji kosztów procesu przetwórstwa.

W pracy przedstawiono problem budownictwa zrównoważonego dotyczący procesu projektowania, trwałości konstrukcji oraz recyklingu stropu zespolonego. Do analizy przyjęty został strop zaprojektowany w dwóch wariantach: zespolony stalowo-betonowy oraz z belek drewnianych zespolonych z płytą żelbetową. Trwałość konstrukcji określono w oparciu o obliczenia analityczne stanu granicznego nośności i użytkowania, natomiast analizę aspektów ekologicznych przeprowadzono w oparciu o rozwiązanie technologiczne rozważanych stropów.

1. BUDOWNICTWO ZRÓWNOWAŻONE

Poprzez pojęcie budownictwo zrównoważone określa się budownictwo, w którym wykorzystywane są materiały, jak również formy wytwarzania tych materia-

łów, które nie ingerują w środowisko naturalne oraz nie posiadają negatywnego wpływu na zdrowie i samopoczucie człowieka. Budownictwo zrównoważone można zatem określić mianem budownictwa ekologicznego. Aby przedsięwzięcie budowlane mogło być rozpatrywane w kategorii budownictwa zrównoważonego, konieczne jest przestrzeganie szeregu zasad na wszystkich etapach realizacji procesu budowlanego, tj. począwszy od projektu, poprzez wykonawstwo, renowację oraz rozbiórkę [1]. Realizowany obiekt musi spełniać wymagania dotyczące ekonomii wykonania, użyteczności zgodnie z jego przeznaczeniem, trwałości, a w szczególności ekologii. Już na etapie projektowania inwestycji niezbędne jest określenie i spełnienie wszystkich aspektów dotyczących ekologii wykonania obiektu. Konieczność ograniczenia do minimum negatywnego wpływu realizowanej inwestycji na środowisko wymusza na inwestorze oraz osobach zaangażowanych w realizację inwestycji stosowania materiałów i technologii ich wytwarzania, a także technologii wykonania obiektów przyjaznych środowisku. W przypadku obiektu już istniejącego niezbędne jest dodatkowo ograniczenie zużycia wody, energii oraz w miarę możliwości redukcja ilości odpadów wytwarzanych przez osoby zamieszkujące. Zmniejszenie zużycia energii otrzymuje się poprzez wykorzystanie odpowiednich materiałów do budowy przegród (tj. ścian, stropów, dachu) oraz zastosowanie specjalnej stolarki okiennej i drzwiowej. Racjonalne zarządzanie zasobami wody sprowadza się do ponownego wykorzystania wody już raz przetworzonej. Dodatkowo można podjąć kroki mające na celu wykorzystanie wody deszczowej.

2. CHARAKTERYSTYKA KONSTRUKCJI ZESPOLONYCH

Konstrukcje zespolone powstają na skutek trwałego połączenia dwóch różnych materiałów, np. stali i betonu. Sposobów realizacji zespolenia jest wiele, a najprostszym przykładem zespolonej konstrukcji stalowo-betonowej jest słup wykonany z rury stalowej wypełnionej betonem. Znacznie bardziej zaawansowaną strukturą jest strop zespolony stalowo-betonowy. Można rozróżnić dwa rodzaje stropów zespolonych stalowo-betonowych, tj. z deskowaniem traconym i z deskowaniem standardowym. W przypadku wyboru technologii z deskowaniem traconym strop realizowany jest zazwyczaj na specjalnie przystosowanej blasze profilowanej, poprzez którą do belek spawane bądź przypawywane są łączniki mechaniczne, zapobiegające poślizgowi i odrywaniu się płyty.

Historia konstrukcji zespolonych sięga lat 30. ubiegłego wieku, kiedy to zaczęto badać, projektować i realizować pierwsze tego typu konstrukcje, natomiast przełomowy rozwój tych konstrukcji nastąpił około dwadzieścia lat później wraz z wynalezieniem pierwszych łączników sworzniowych [2]. Kolejne lata badań oraz realizacji obiektów zespolonych pozwoliły na opracowanie technik wytwarzania, montażu oraz realizacji tych konstrukcji w sposób prostszy i szybszy, co bezpośrednio przełożyło się na zmniejszenie kosztów budowy [2]. Ze względu na znaczny postęp technologiczny, prowadzący do ulepszenia procesu projektowania i realizacji konstrukcji zespolonych, wznoszonych jest coraz więcej obiektów

w tej technologii. Dodatkowo, znacząca część odpadów z rozbiórki danego obiektu może zostać poddana dalszemu recyklingowi, co w obecnych czasach jest istotnym elementem przy doborze technologii realizacji danej konstrukcji.

3. PRZYKŁADY KONSTRUKCJI ZESPOLONYCH - STROPY ZESPOLONE

Projektowanie stropów zespolonych w odróżnieniu od pozostałych konstrukcji budowlanych, tj. stalowych, żelbetowych, drewnianych, wymaga od projektanta konieczności uwzględnienia dwóch stadiów realizacji danego obiektu. Pierwszym jest faza realizacji konstrukcji, gdzie pod uwagę brane są obciążenia montażowe, ciężary własne elementów oraz ciężar własny świeżej mieszanki betonowej. Zestawione obciążenia służą następnie do obliczeń stanów granicznych nośności i użytkowania blachy profilowanej oraz kształtownika podpierającego. Kolejnym stadium jest faza eksploatacji, w której uwzględnia się współpracę belki z płytą żelbetową poprzez łączniki mechaniczne. W fazie eksploatacji zestawieniu obciążeń podlegają ciężary stałe warstw wykończeniowych oraz technologicznych, ciężary własne elementów konstrukcyjnych oraz przewidziane obciążenie użytkowe.

Do analizy przyjęto dwa różne rozwiązania stropu, tj. stalowo-betonowy i drewniano-betonowy. Założono, że projektowany strop będzie stropem międzykondygnacyjnym w budynku przeznaczonym na cele biurowe. Przy obu rozwiązaniach stropu przewidziano ten sam rozstaw belek podpierających płytę betonową, wynoszący $a = 2,00$ m. Rozpiętość stropu pomiędzy ścianami przyjęto równą $L = 6,00$ m. Dodatkowo założono, że w obu rozwiązaniach płyta betonowa wykonana zostanie na blasze profilowanej użytej jako deskowanie tracone. Zestawienie obciążeń w fazie realizacji i w fazie eksploatacji przedstawiono w tabeli 1. Doboru obciążeń dokonano w oparciu o normy [3, 4].

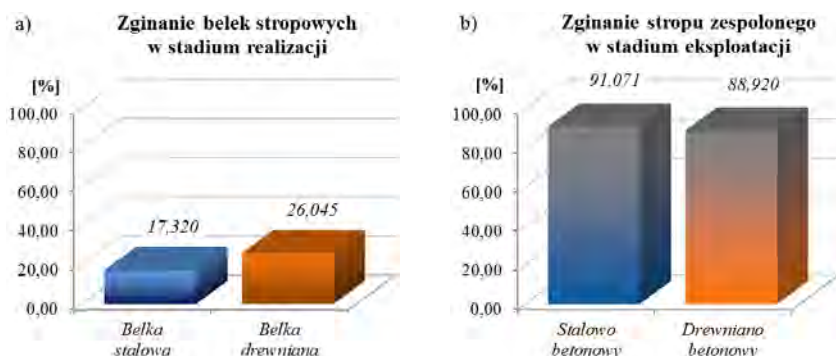
Tabela 1. Zestawienie obciążeń w fazie realizacji i fazie eksploatacji

Faza realizacji		Faza eksploatacji	
Obciążenie	Wartość	Obciążenie	Wartość
	kN/m		kN/m
Świeża mieszanka betonowa	3,804	Użytkowe	4,000
Blacha profilowana	0,124	Warstwy wykończeniowe	0,300
Montażowe	1,200	Płyta betonowa	3,658
Razem	5,128	Blacha profilowana	0,124
		Technologiczne	0,400
		Razem	8,482

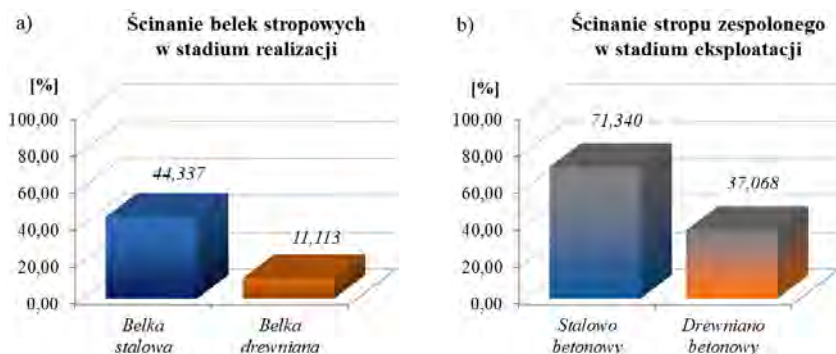
W tabeli 1 pominięto ciężary własne belek podpierających blachę profilowaną. W przypadku stropu stalowo-betonowego zastosowano stalową dwuteową belkę o przekroju IPE 140 i ciężarze 0,129 kN/m, natomiast przekrój belki drewnianej przyjęto o wymiarach 20x20 cm, co daje ciężar 0,180 kN/m. Obliczenia analityczne

belek stalowych oraz drewnianych wykonano w oparciu o normy [5, 6], natomiast obliczenia płyty betonowej i zespolenia stropu na podstawie norm [7, 8].

Na rysunkach 1-3 przedstawiono wykresy dla stropów przed i po zespoleniu. W fazie realizacji ze względów wytrzymałościowych profili zastosowano tymczasowe podparcie montażowe w środku rozpiętości belki ($L = 3,00$ m) zarówno stalowej, jak i drewnianej. To pozwoliło na znaczne zmniejszenie wymiarów profili, co bezpośrednio przekłada się na aspekt ekonomiczny i ekologiczny (mniejsze zużycie drewna oraz mniejsze zużycie surowców do wykonania walcowanych stalowych belek dwuteowych).



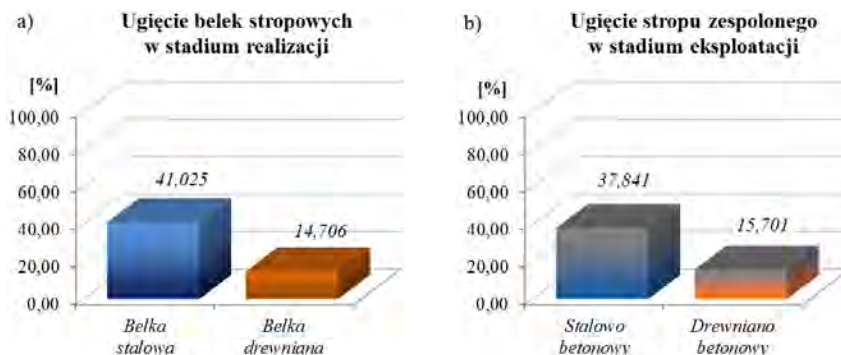
Rys. 1. Porównanie dwóch rozwiązań stropu w stanie granicznym nośności przy zginaniu: a) stadium realizacji, b) stadium eksploatacji



Rys. 2. Porównanie dwóch rozwiązań stropu w stanie granicznym nośności przy ścinaniu: a) stadium realizacji, b) stadium eksploatacji

Rozpatrując wykresy stanów granicznych nośności z rysunków 1 i 2 oraz stanu granicznego użytkowania z rysunku 3, można stwierdzić, że zapewnione zostało bezpieczeństwo pracy konstrukcji w obu przypadkach. Pomimo spełnienia podstawowych warunków nośności należy wziąć pod uwagę możliwość wystąpienia w obiekcie pożaru. Bezpieczniejszym rozwiązaniem, czy to w budownictwie obiektów użyteczności publicznej, czy też w budownictwie mieszkaniowym, jest strop stalowo-betonowy, gdyż wykonany jest z materiałów niepalnych. W przypadku

stropu drewniano-betonowego drewniane belki podporowe stropu w czasie ekspozycji na oddziaływanie ognia zmniejszają swój przekrój poprzeczny pod wpływem spalania, co bezpośrednio wpływa na obniżenie parametrów nośności stropu.



Rys. 3. Porównanie dwóch rozwiązań stropu w stanie granicznym użytkowania:
a) stadium realizacji, b) stadium eksploatacji

4. RECYKLING KONSTRUKCJI ZESPOLONYCH

Omawiane w niniejszej pracy stropy ze względu na użyte materiały mogą zostać poddane recyklingowi. W przypadku obu stropów, przy których używany jest beton, proces recyklingu polega na odzyskiwaniu gruzu betonowego poprzez rozłupywanie większych kawałków betonu na mniejsze w specjalnych kruszarkach, np. stożkowych. Odzyskane w następstwie małe kawałki betonu używane są jako wypełniacz w postaci kruszywa nowo projektowanych konstrukcji betonowych.

W przypadku stropu stalowo-betonowego elementy stalowe po rozbiórce mogą zostać poddane oczyszczeniu z warstw materiałów niebędących rodzimym materiałem stalowym, tj. z warstw farby, rdzy oraz innych zabrudzeń. Następnie tak przygotowane elementy stalowe mogą zostać przetopione i użyte jako dodatek do nowo formowanych elementów stalowych.

Ze stropów drewniano-betonowych recyklingowi można poddać elementy drewniane. Elementy takie w przypadku braku przeciwwskazań ze względu na zawartość substancji szkodliwych mogą zostać użyte w produkcji płyt pilśniowych, papieru. Mogą również zostać użyte w procesie realizacji innego obiektu budowlanego jako składowa deskowania konstrukcji lub też inny mniej znaczący element pomocniczy. Dodatkowo warto zauważyć, że drewno jako materiał organiczny jest materiałem naturalnie przyjaznym środowisku.

PODSUMOWANIE

W niniejszej pracy przedstawiono dwa różne rozwiązania stropu zespolonego - stalowo-betonowy i drewniano-betonowy. Stropy zespolone stalowo-betonowe są

najczęściej wykonywanymi konstrukcjami ze względu na ich trwałość i prostotę wykonania. Strop zespolony drewniano-betonowy jest bardziej skomplikowany pod względem konstrukcyjnym, gdyż wymaga zespolenia dwóch belek drewnianych ze sobą, a następnie zespolenia z płytą betonową poprzez specjalne wkręty lub gwoździe. Warto nadmienić, że w mocniej obciążonych konstrukcjach zespolenie drewna z betonem poprzez wkręty lub gwoździe może nie uzyskać wymaganej nośności, również przestrzeń pod stropem może zostać zaburzona przez dodatkową konstrukcję wsporczą. Rozwiązanie stropu drewniano-betonowego jest zdecydowanie bardziej proekologiczne, gdyż oba materiały podlegają prostemu recyklingowi, jednakże konstrukcja stalowo-betonowa pozwala na przekrycie znacznie większego obszaru bez dodatkowych podparć w postaci słupów, a dodatkowo konstrukcja ta zapewnia większą trwałość, w szczególności w przypadku pożaru.

LITERATURA

- [1] Major M., Major I., Wykorzystanie odpadów gumowych w budownictwie zrównoważonym, Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym 2014, 2(14), 38-45.
- [2] www.budownictwopolskie.pl
- [3] PN-EN 1991-1-1, Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-1: Oddziaływania ogólne. Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach, Wyd. PKN, 2002.
- [4] PN-EN 1991-1-6, Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-6: Oddziaływania ogólne - Oddziaływania w czasie wykonywania konstrukcji, Wyd. PKN, 2007.
- [5] PN-EN 1993-1-1, Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków, Wyd. PKN, 2006.
- [6] PN-EN 1995-1-1, Eurokod 5: Projektowanie konstrukcji drewnianych. Część 1-1: Postanowienia ogólne. Reguły ogólne i reguły dla budynków, Wyd. PKN, 2010.
- [7] PN-EN 1992-1-1, Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków, Wyd. PKN, 2008.
- [8] PN-EN 1994-1-1, Eurokod 4: Projektowanie zespolonych konstrukcji stalowo-betonowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków, Wyd. PKN, 2004.

THE COMPOSITE STRUCTURES IN SUSTAINABLE CIVIL ENGINEERING

In the article the composite structures being a rational design solutions in relation to the sustainable civil engineering are discussed. The benefits resulting from designing composite structures are shown on the basis of composite floor example. Composite floor was designed in two different variants i.e. steel-concrete and wood-concrete. Obtained ultimate and serviceability limit states results for proposed construction were then used for the comparative study on durability and environmental aspects.

Keywords: composite structures, floor, sustainable civil engineering, recycling