

Innowacyjne konstrukcje zespolone

Dr hab. inż. Maciej Szumigala, prof. nadzw., dr inż. Marcin Chybiński, mgr inż. Łukasz Polus, Politechnika Poznańska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

1. Wprowadzenie

Ustalenia normowe prowadzą projektantów do bezpiecznych rozwiązań, ale bezpieczeństwo nie powinno być jedynym aspektem brany pod uwagę przy projektowaniu [1]. Podczas projektowania warto kierować się również założeniami budownictwa zrównoważonego [2] i wybierać rozwiązania, które charakteryzować się będą bardzo wysoką trwałością jak i możliwością późniejszego łatwiejszego recyklingu [3]. Z tego względu coraz częściej stosowane są konstrukcje zespolone, w których połączenie różnych materiałów może ułatwić uzyskanie powyższych celów. Najbardziej znane – stalowo-betonowe zostały omówione m.in. w [4, 5]. W tym artykule zostaną omówione w sposób poglądowy innowacyjne rodzaje konstrukcji zespolonych.

2. Konstrukcje zespolone aluminiowo-betonowe

Belki zespolone aluminiowo-betonowe badano m.in. w laboratorium Politechniki Poznańskiej Instytutu Konstrukcji Budowlanych w Poznaniu (rys. 1).

Zastosowanie w konstrukcjach zespolonych belki ze stopu aluminium zamiast stali prowadzi do zwiększenia trwałości konstrukcji ze względu na większą odporność na korozję stopów aluminiowych niż stali [6]. Płyta betonowa może być wykonana poprzez ułożenie mieszanki betonowej na blasze faldowej, co przyspieszy wykonanie konstrukcji (rys. 2).

Recykling elementów aluminiowo-betonowych składa się z przekruszenia betonu i wykorzystania uzyskanego materiału jako kruszywa w nowo projektowanych konstrukcjach oraz oczyszczenia elementów aluminiowych, przetapiania ich i ponownego zastosowania. Zastąpienie elementu stalowego elementem aluminiowym pozwala także na zmniejszenie ciężaru belki, ponieważ stopy aluminium są około 3 razy lżejsze niż stal [7]. Pewnym ograniczeniem zastosowania belek aluminiowych



Rys. 1. Belka zespolona aluminiowo-betonowa badana w laboratorium Instytutu Konstrukcji Budowlanych w Poznaniu



Rys. 2. Belka zespolona aluminiowo-betonowa z płytą betonową wylaną na blasze faldowej

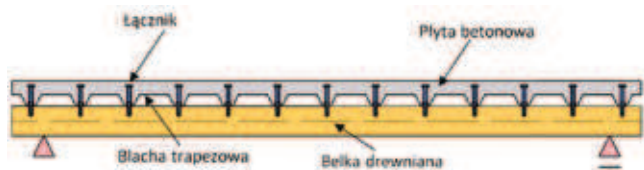
może być wielkość ich przekroju, która jest zależna od wielkości matrycy, przez którą wyciska się element aluminiowy. Konstrukcje zespolone aluminiowo-betonowe mogą być zastosowane jako elementy mostów [8] i stropów [9].

Problem może stanowić mniejszy moduł Younga aluminium w porównaniu ze stalą. Mniejszy moduł Younga wiąże się z większymi ugięciami oraz z większą podatnością na utratę stateczności. Jednak po połączeniu belki aluminiowej z płytą betonową wzrośnie sztywność całego elementu. Belka aluminiowa może wówczas przenosić tylko rozciąganie, natomiast płyta betonowa będzie przenosić ściskanie.

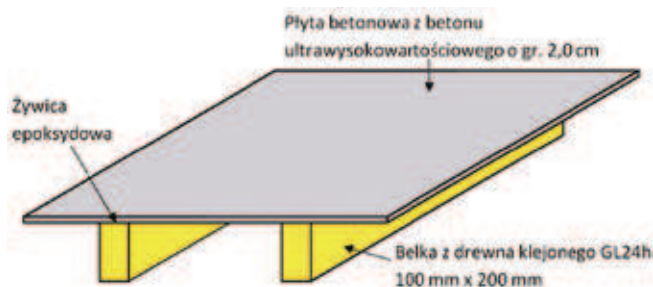
Innymi istotnymi problemami mogą być: prawie pięciokrotnie wyższa cena aluminium od stali, a także brak wytycznych do projektowania konstrukcji aluminiowo-betonowych. Na przestrzeni ostatnich lat obserwuje się jednak spadek różnicy między cenami stopów aluminium i stali. Rozwój metod wytwarzania aluminium może się przyczynić do dalszego obniżania ceny aluminium i zbliżenia jej do ceny stali [10]. Badania prowadzone we Włoszech [11] i w Polsce [12] pozwolą lepiej poznać pracę tych konstrukcji i określić wytyczne do ich projektowania. Z pewnością będą one zbliżone do zasad projektowania konstrukcji stalowo-betonowych [13].

3. Konstrukcje zespolone drewniano-betonowe

Zastosowanie belki wykonanej z drewna zamiast stalowej prowadzi do bardziej ekologicznego rozwiązania, ponieważ do wytworzenia belki drewnianej potrzeba mniej energii niż do wytworzenia belki stalowej. Drewno jest odporne na niektóre szkodliwe oddziaływania (chemiczne) środowiska i doskonale sprawdza się na konstrukcje pływalni, magazynów środków chemicznych (soli, nawozów sztucznych) itp. Belkę drewnianą należy oczywiście zabezpieczyć przed czynnikami biologicznymi, takimi jak owady, grzyby czy pleśń [14]. Ograniczenie zużycia materiału w przypadku betonu obejmuje: częściowe zastępowanie cementu portlandzkiego dodatkami mineralnymi, w tym zwłaszcza pochodzenia odpadowego, zastępowanie cementu dużą zawartością popiołów lotnych oraz wykonywanie betonów z mniejszą zawartością



Rys. 3. Belka zespolona drewniano-betonowa z płytą betonową wylaną na blasze faldowej



Rys. 4. Elementy drewniane łączone z płytą z ultrawysokowartościowego betonu za pomocą kleju [17]

cementu przy wykorzystaniu plastyfikatorów [15]. Płyta może być wykonana z wysoko wytrzymałościowego betonu [16], co pozwala na ograniczenie zużycia betonu [17]. Ograniczenie zużycia betonu można również uzyskać, układając mieszankę betonową na blasze trapezowej [18] (rys. 3).

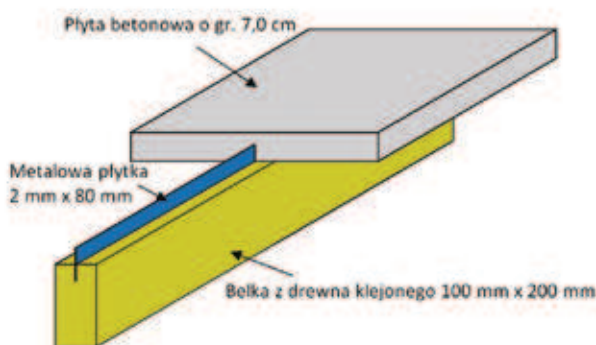
W belkach zespolonych drewniano-betonowych płyta betonowa jest poddana ścisaniu, a belka drewniana rozciąganiu. Elementy zespolone drewniano-betonowe są lżejsze niż stalowo-betonowe, a połączenie drewna z betonem pozwala na uzyskanie elementu o dużej sztywności (większej niż samej belki drewnianej) oraz zwiększenie nośności na zginanie. Słabym punktem jest jednak połączenie tych różnych materiałów. Najczęściej stosowane punktowe połączenia, takie jak: śruby czy gwoździe z reguły zapewniają jedynie połączenie podatne, co wpływa na ograniczenie sztywności i nośności elementu. W celu rozwiązania tego problemu pojawiają się inne sposoby na zespolenie drewna z betonem. Jednym z nich jest zastosowanie na styku belki i płyty kleju na bazie żywicy epoksydowej (rys. 4).

Kolejną propozycją jest zastosowanie stalowej płytki (rys. 5) wklejonej w belkę i zatopionej w betonie, która stanowi ciągłe i sztywne połączenie [19].

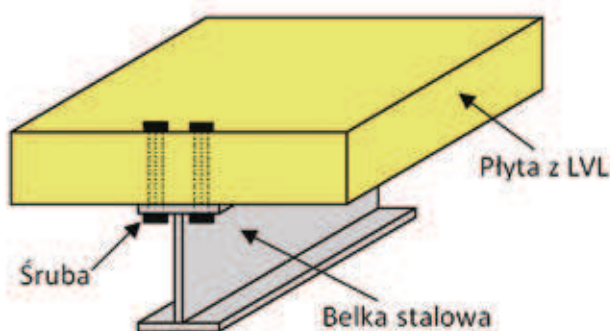
Wiele innych rozwiązań poróż połączenia belki drewnianej z płytą betonową przedstawiono w [20].

4. Konstrukcje zespolone stalowo-drewniane

Stosunkowo nowym rozwiązaniem są konstrukcje zespolone stalowo-drewniane, w których belki stalowe łączą się z drewnianą płytą. Płyta może być wykonana z drewna klejonego warstwowo z fornirow tzw. LVL. Przy porównaniu ich z konstrukcjami stalowo-betonowymi widać, że wyróżniają się one krótszym czasem wykonania ze względu na brak konieczności wykonania płyty betonowej oraz mniejszym ciężarem konstrukcji, ze względu na lżejszą od betonowej płytę drewnianą [21]. Do połączenia belki stalowej z płytą drewnianą można



Rys. 5. Belka zespolona drewniano-betonowa z łącznikiem w formie metalowej płytki [19]

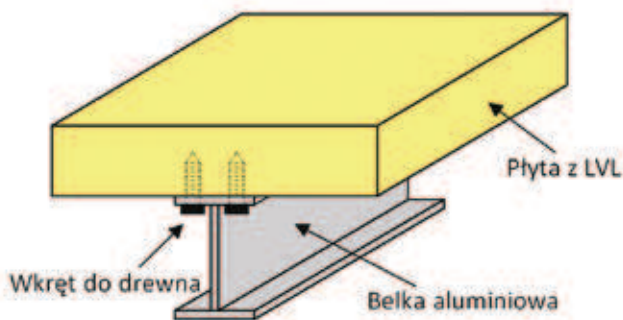


Rys. 6. Belka zespolona stalowo-drewniana [21]

zastosować śruby, których łeb znajduje się na wierzchu płyty drewnianej, trzon przechodzi przez płytę i pas belki stalowej, a nakrętka zakładana jest po wewnętrznej stronie pasa belki (rys. 6) lub wkręty do drewna z łbem sześciokątnym [22].

5. Konstrukcje zespolone aluminiowo-drewniane

Po zapoznaniu się z dotychczas stosowanymi rozwiązaniami autorzy artykułu proponują jeszcze inne połączenie materiałów, tj. aluminium z drewnem (rys. 7). Konstrukcje te będą łączyć w sobie zalety wynikające z zastąpienia belki stalowej belką aluminiową oraz płyty betonowej płytą drewnianą. Korzyściami tymi są m.in. krótszy czas wykonania (brak konieczności czekania na stwardnienie płyty betonowej), mniejszy ciężar własny (płyta drewniana lżejsza od betonowej, belka aluminiowa lżejsza od stalowej), większa trwałość (stopy aluminium są bardziej odporne na korozję niż stal [23]). Drewno charakteryzuje się małą energią zintegrowania (np. drewno miękkie suszone w piecu 3,4 MJ/kg), czyli energią niezbędną do wytworzenia i transportu materiału [24]. Natomiast aluminium – wysoką energią zintegrowania (170 MJ/kg), ponieważ proces elektrolizy, w którym jest wytwarzane, jest energochłonny. Jednak w przypadku recyklingu aluminium i jego ponownego przetworzenia można uzyskać oszczędność energii zintegrowania w wysokości 95%. Do połączenia belki aluminiowej z płytą drewnianą można



Rys. 7. Belka zespolona aluminiowo-drewniana (opracowanie autorów)

wykorzystać wkręty do drewna, takie jak stosowane w konstrukcjach zespolonych stalowo-drewnianych. Innym sposobem na połączenie belki aluminiowej z płytą drewnianą jest odpowiednie ukształtowanie jej górnego pasa tak, aby zawierał on część przeznaczoną do połączenia z płytą drewnianą. W przypadku elementów ze stopów aluminium wykonywanych w procesie wyciskania jedynym ograniczeniem kształtu i rozmiaru przekroju jest wielkość matrycy, przez którą wyciska się elementy [25]. Płyta drewniana może być wykonana z drewna klejonego warstwowo z fornirow tzw. LVL (*Laminated Veneer Lumber*) [26]. Materiał ten powstaje z fornirow drewna iglastego (sosna lub świerk) o grubości ok. 3 mm i cechuje go: największa wytrzymałość spośród materiałów drewnopochodnych, szeroki asortyment produkcji, jednorodność w kierunku poprzecznym i podłużnym dla materiału o wzajemnie prostopadłym układzie fornirow, stabilność wymiarów i kształtu, wysoka jakość materiału, trwałość ze względu na zagrożenie biologiczne jak i jego duża ogniotrwałość, łatwa obróbka oraz duże możliwości łączenia go z innymi materiałami, niski współczynnik przenikania ciepła, niski ciężar (niższe koszty realizacji i transportu oraz krótszy czas realizacji).

Wstępne analizy nośności tych konstrukcji prowadzone przez autorów artykułu, ze względu na brak wytycznych, bazują na postanowieniach normowych [13, 27, 28].

6. Podsumowanie

Konstrukcje zespolone, w których łączy się elementy wykonane z różnych materiałów, wykorzystując ich indywidualne zalety są coraz częściej stosowane. Przyczyną jest chęć sprośnięcia wyzwaniom zrównoważonego rozwoju, ograniczenia zużycia materiałów oraz przyczynienia się do powstania budynków, które będą przyjazne środowisku. Projektanci oprócz znanych konstrukcji zespolonych stalowo-betonowych mogą również wykorzystać inne rodzaje konstrukcji, takie jak konstrukcje zespolone: aluminiowo-betonowe, drewniano-betonowe, stalowo-drewniane czy aluminiowo-drewniane.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Chybiński M., Nośność i stateczność cienkościennych prętów stalowych z lokalnymi elementami usztywniającymi, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2015
 [2] Błaszczyński T. (red.), Budownictwo zrównoważone z elementami charakterystyki energetycznej, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2003

- [3] Major M., Major I., Konstrukcje zespolone w budownictwie zrównoważonym, Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym 2 (16)/2015, str. 51–56
 [4] Biegus A., Lorenc W., Projektowanie zespolonych konstrukcji stalowo-betonowych według PN-EN 1994, w: Biliński T., Korentz J. (red.), Konstrukcje zespolone: Jubileuszowa X Konferencja Naukowa, Zielona Góra, 26–27 czerwca 2014, Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego
 [5] Kucharczuk W., Labocha S., Konstrukcje zespolone stalowo-betonowe budynków. Arkady, Warszawa 2008
 [6] Gwóźdź M., Konstrukcje aluminiowe. Projektowanie według Eurokodu 9, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2014
 [7] Gwóźdź M., Problemy projektowe współczesnych konstrukcji aluminiowych, Czasopismo Techniczne 104 (z. 4-A)/2007, str. 281–286
 [8] Siwowski T., Aluminium Bridges – Past, Present and Future. Structural Engineering International 4/2006, str. 286–293
 [9] Szumigala M., Polus Ł., Applications of aluminium and concrete composite structures. Procedia Engineering 108/2015, str. 544–549
 [10] Mazzolani F.M., Aluminium Structural Design. Springer-Verlag GmbH, Wiedeń 2003
 [11] Bruzzese E., Cappelli M., Mazzolani F.M., Experimental investigation on aluminium–concrete beams. Costruzioni Metalliche 5/1989, str. 265–282
 [12] Polus Ł., Szumigala, M., Tests of shear connectors used in aluminium–concrete composite structures, w: Giżejowski, M., Kozłowski, A., Marciniowski, J., Ziółko, J. (red.), Recent Progress in steel and composite structures, CRC Press-Taylor & Francis Group 2016
 [13] PN-EN 1994–1–1, Projektowanie konstrukcji zespolonych stalowo-betonowych, Część 1–1: Reguły ogólne i reguły dla budynków
 [14] Rapp P., Metodyka i przykłady rewaloryzacji konstrukcji drewnianych w obiektach zabytkowych, Wiadomości Konserwatorskie 43/2015, str. 92–108
 [15] Czarnecki L., Justnes H., Zrównoważony, trwały beton, Cement Wapno Beton 6/2012, str. 341–362
 [16] Jasiczak J., Wdowska A., Rudnicki T., Betony ultrawysokowartościowe – właściwości, technologie, zastosowania, Stowarzyszenie Producentów Cementu, Kraków 2008
 [17] Schafers M., Seim W., Investigation on bonding between timber and ultra-high performance concrete (UHPC), Construction and Building Materials 25 (7)/2011, str. 3078–3088
 [18] Szumigala E., Szumigala M., Polus Ł., A numerical analysis of the resistance and stiffness of the timber and concrete composite beam. Civil And Environmental Engineering Reports 15 (4)/2014, str. 139–150
 [19] Bathon LA, Graf M., A continuous wood-concrete-composite system, World Conference on Timber Engineering, Whistler Resort, British Columbia, Canada, 2000
 [20] Łukaszevska E., Johnsson. H., Fragiaco M., Performance of connections for prefabricated timber-concrete composite floors. Materials and Structures 41/2008, str. 1533–1550
 [21] Hassanieh A., Valipour H.R., Bradford M.A., Experimental and numerical study of steel-timber composite (STC) beams. Journal of Constructional Steel Research 122/2016, str. 367–378
 [22] Hassanieh A., Valipour H.R., Bradford M.A., Experimental and analytical behaviour of steel-timber composite connections. Construction and Building Materials 118/2016, str. 63–75
 [23] Jasiczak J., Hajkowski M., Corrosion susceptible elevations made with aluminium plates working in treatment's plant environment, Ochrona przed korozją 5s (A)/2008, str. 79–85
 [24] Broniewicz M., Projektowanie oparte na zrównoważonym rozwoju, w: Łapko A., Broniewicz M., Prusiel J. (red.), Problemy naukowo badawcze budownictwa, tom IV: Zrównoważony rozwój w budownictwie, Polska Akademia Nauk, Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej, Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok 2008, str. 185–206
 [25] Mazzolani F.M., Mandara A., Modern trends in the use of special metals for the improvement of historical and monumental structures. Engineering Structures 24 (7)/2002, str. 843–856
 [26] Chena Z., Leia Q., Hea R., Zhanga Z., Chowdhury A., Review on antibacterial biocomposites of structural laminated veneer lumber. Saudi Journal of Biological Sciences 23 (1)/2016, str. 142–147
 [27] PN-EN 1995–1–1, Projektowanie konstrukcji drewnianych. Część 11: Reguły ogólne i reguły dla budynków
 [28] PN-EN 1999–1–1, Projektowanie konstrukcji aluminiowych. Część 1–1: Reguły ogólne i reguły dla budynków

Zatrudnimy kierownika budowy

na budowie budynku wielorodzinnego w Warszawie.
 Budynek ma trzy kondygnacje, 12 mieszkań, stan surowy otwarty.
 Praca związana jest z robotami wykończeniowymi.

WYMAGANIA

- Uprawnienia budowlane
- Przynależność do Izby Inżynierów
- Umiejętność pracy w zespole
- Min. 3 lata doświadczenia na podobnym stanowisku
- Doświadczenie przy realizacji budownictwa wielorodzinnego
- Wynagrodzenie do uzgodnienia



Kontakt

dwp@dwp-development.pl