

Łukasz POLUS¹
Maciej SZUMIGAŁA²

WPŁYW TARCIA NA NOŚNOŚĆ BELKI ALUMINIOWO-BETONOWEJ

W artykule przedstawiono wpływ tarcia, występującego między aluminiową belką a stalową blachą fałdową pełniącą funkcję deskowania płyty żelbetowej, na nośność belki zespolonej aluminiowo - betonowej. Belki aluminiowo - betonowe są stosunkowo nowym rodzajem konstrukcji w porównaniu do belek stalowo-betonowych. Konstrukcje aluminiowe mają wiele zalet. Możliwy jest ich pełen recykling, a materiał jest odporny na korozję. Konstrukcje zespolone aluminiowo - betonowe w związku z większą odpornością aluminium na korozję wydają się być trwalsze od konstrukcji stalowo - betonowych. Możliwa jest jednak korozja na powierzchni styku aluminium ze stalą w belkach z płytą żelbetową wylaną na stalowej blasze fałdowej. Z tego powodu należy odizolować belkę aluminiową od blachy stalowej stosując przekładki. Zastosowanie przekładki np. elastomero-wej redukuje wpływ tarcia na powierzchni styku aluminium - stal. W artykule oceniono wpływ wielkości współczynnika tarcia oraz jego zupełnego pominięcia na nośność belki zespolonej aluminiowo - betonowej. Przygotowano model składający się z aluminiowej dwuteowej belki i płyty żelbetowej wykonanej na stalowej blasze fałdowej. Z obliczeń numerycznych otrzymano, że wpływ tarcia na nośność na zginanie jest pomijalnie mały. Stąd zasadne jest stosowanie przekładek zapobiegających korozji na styku aluminium – stal, nawet jeśli mają one zmniejszyć tarcie występujące między w/w materiałami. Planowane są badania laboratoryjne belki zespolonej aluminiowo-betonowej przedstawionej w artykule oraz badania podatności łączników.

Słowa kluczowe: konstrukcje zespolone aluminiowo-betonowe, analiza numeryczna nośności

1. Wprowadzenie

Coraz częściej jako materiał konstrukcyjny wykorzystuje się stopy aluminium. Każda nowa budowla związana jest z trwałymi i nieodwracalnymi zmianami w środowisku [1].

¹ Autor do korespondencji: Łukasz Polus, Instytut Konstrukcji Budowlanych, Piotrowo 5, 60-965 Poznań, 61 665 2098, lukasz.polus@put.poznan.pl.

² Maciej Szumigala, Instytut Konstrukcji Budowlanych, Piotrowo 5, 60-965 Poznań, 61 665 2401, maciej.szumigala@put.poznan.pl.

Projektanci powinni szukać trwałych rozwiązań, które będą ograniczały zużycie zasobów naturalnych [2]. Różnica pomiędzy ceną stopów aluminiowych a stalą jest znaczna, ale wraz z rozwojem technologii produkcji ulega zmniejszeniu. Konstrukcje aluminiowe mają wiele zalet. Możliwy jest ich pełen recykling [3], a materiał jest odporny na korozję dzięki występującej na powierzchni aluminium warstewce tlenku glinu [6]. Z najczęściej stosowanych materiałów konstrukcyjnych stopy aluminium są najlżejsze. Najcięższym materiałem (w proporcji: ciężar do wytrzymałości) jest beton, potem stal i drewno [3]. Konstrukcje zespolone aluminiowo-betonowe w związku z większą odpornością aluminium na korozję wydają się być trwalsze od konstrukcji stalowo-betonowych, których zasady wymiarowania zostały przedstawione w [5], [7]. Konstrukcje aluminiowe projektuje się wg [8]. W związku z brakiem normy dla konstrukcji aluminiowo-betonowych, przy określaniu parametrów belki zespolonej aluminiowo-betonowej skorzystano z wytycznych podanych w [7].

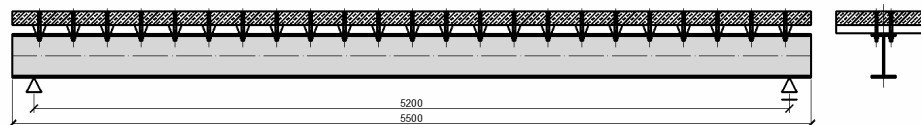
2. Analiza numeryczna wpływu tarcia na nośność belki

Dane dotyczące analizowanej belki zespolonej aluminiowo-betonowej zebrano w tabeli 1. Belkę przedstawiono na rys. 1. Specjalne łączniki, które wykorzystano do połączenia belki aluminiowej z płytą betonową zostały opisane w [10] i [11].

Tabela 1. Belka zespolona aluminiowo-betonowej

Table 1. Composite aluminium and concrete beam

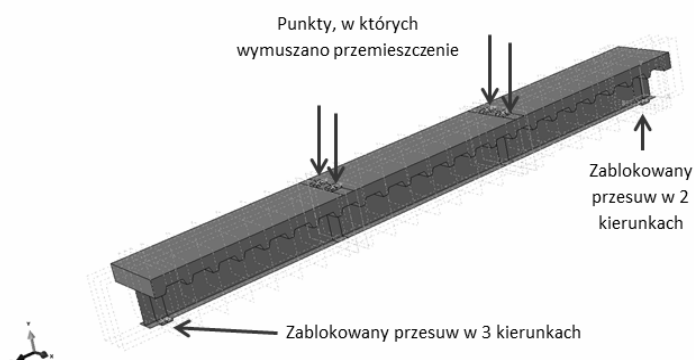
Parametr	Symbol	Wartość	Jednostka
Rozpiętość belki	L	5,20	m
Schemat belki	swobodnie podparta		
Wysokość płyty betonowej	h	150,0	mm
Szerokość płyty betonowej	b	656,0	mm
Grubość betonu nad blachą trapezową	h_c	95,0	mm
Stop aluminium	EN AW-6063 T6		
Granica plastyczności stopu aluminium	f_o	170	MPa
Wytrzymałość na rozciąganie stopu aluminium	f_u	215	MPa
Przekrój aluminiowy	Dwuteownik, klasa przekroju: 3		
Wysokość przekroju aluminiowego	h_a	300	mm
Szerokość półki przekroju aluminiowego	b_f	170	mm
Grubość półki przekroju aluminiowego	t_f	15	mm
Grubość środnika przekroju aluminiowego	t_w	8	mm
Beton	C35/45		
Średnica sworznia	d	19	mm
Materiał sworznia	S235		
Rozstaw łączników	233,0mm		
Blacha trapezowa	T55P grubość 1mm, stal S235		



Rys. 1. Belka aluminiowo-betonowa

Fig. 1. Aluminium and concrete beam

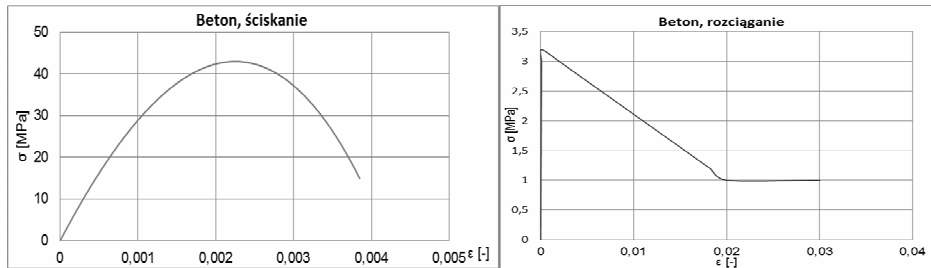
Analizę numeryczną przeprowadzono w programie Abaqus. Model belki zespolonej przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Model belki aluminiowo-betonowej

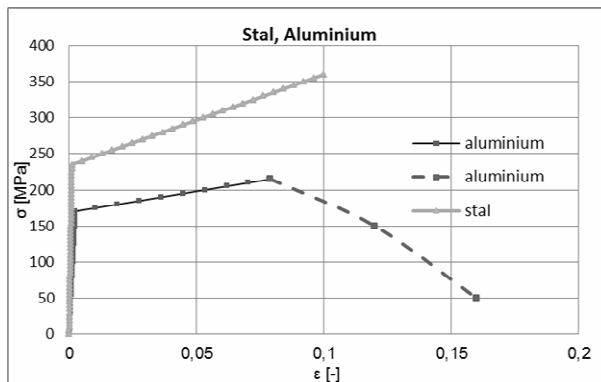
Fig. 2. Model of aluminium and concrete beam

Model składa się z aluminiowej dwuteowej belki i płyty żelbetowej wykonanej na stalowej blasze fałdowej. Łączniki sworzniowe „zatopiono” w betonie. W modelu numerycznym geometrię modelu zastąpiono elementami skończonymi: płyta betonowa - ośmiowęzłowe prostopadłościennie elementy skończone typu *solid*, aluminiowa belka - elementy czterowęzłowe typu *shell*, blacha fałdowa jako „skin” - elementy czterowęzłowe typu *shell*, łączniki - elementy prętowe typu *beam*. Prawa fizyczne dla przyjętych w analizie materiałów przedstawiono na poniższych rysunkach.



Rys. 3. Prawo fizyczne dla betonu, ściskanie, rozciąganie, na podstawie [4],[9]

Fig. 3. Physical law for concret, compression, tension, based on [4],[9]

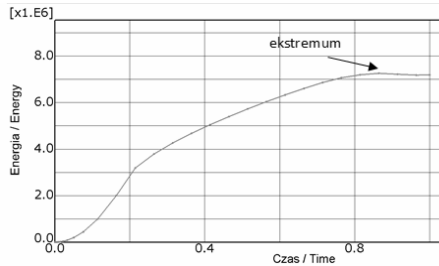


Rys. 4. Prawo fizyczne dla stali i aluminium

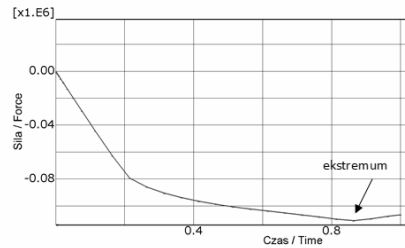
Fig. 4. Physical law for steel and aluminium

Obliczenia przeprowadzono stosując procedurę Abaqus-Standard z zastosowaniem metody przyrostowej Newtona-Raphsona. Obciążenie przykładane było w postaci zadanej w punktach wymuszenia kinematycznego jak dla standardowego schematu belki zginanej czteropunktowo. Obciążenie graniczne dla tego przypadku zaobserwowano w momencie pojawienia się opadającej gałęzi wykresu na ścieżce równowagi statycznej.

Modelując kontakt pomiędzy blachą stalową, a półką górną aluminiowego dwuteownika uwzględniono tarcie (różne współczynniki) i oceniono jego wpływ na nośność belki zespolonej aluminiowo-betonowej. Krzywą energii odkształcenia pokazano na rys. 5. Na rysunku 6 pokazano wykres zmian siły wymuszającej w jednym z punktów przyłożenia wymuszenia (przemieszczenia).

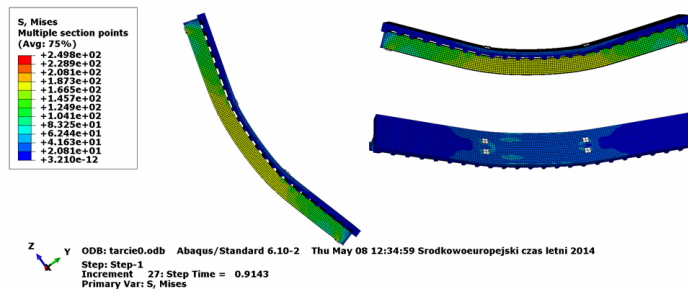


Rys. 5. Energia odkształcenia
Fig. 5. Strain energy

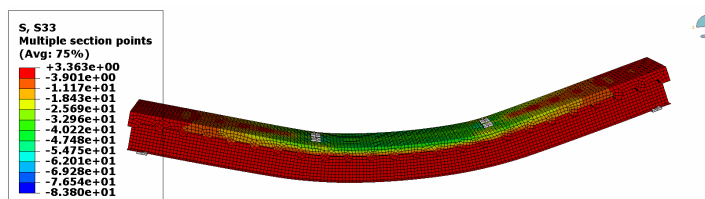


Rys. 6. Siła wymuszająca w jednym z punktów
Fig. 6. Force in one of the points

Na rys. 7 przedstawiono mapę naprężeń ekwiwalentnych Hubera-Misesa-Hencky'ego, a na rys. 8 mapę naprężeń głównych S33 w kroku, gdy pojawia się „opadanie” na ścieżce równowagi statycznej dla współczynnika tarcia wynoszącego 0,0. Na rys. 7 widać, że belka aluminiowa uległa uplastycznieniu w środku rozpiętości, a rys. 8, że w środku rozpiętości belki zespolonej została przekroczona wytrzymałość betonu na ścisnienie.

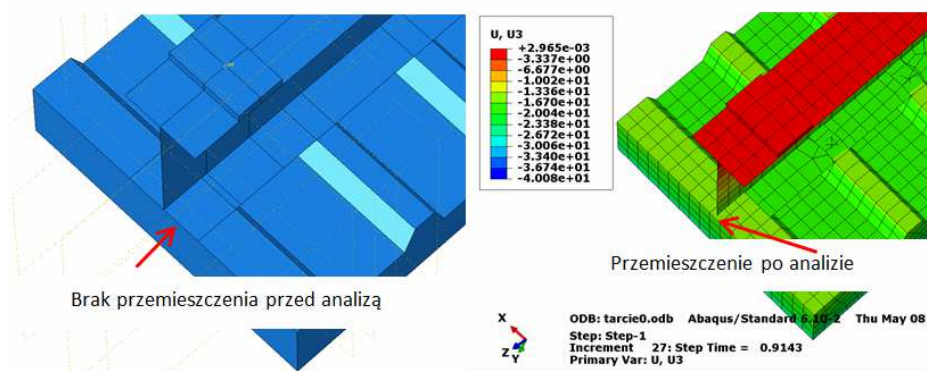


Rys. 7. Mapa naprężeń ekwiwalentnych Hubera-Misesa-Hencky'ego
Fig. 7. Map of stress equivalent Huber-Mises-Hencky



Rys. 8. Mapa naprężeń głównych S33
Fig. 8. Main stress S33

Przemieszczenie belki aluminiowej w stosunku do płyty betonowej analizowano na podstawie dwóch punktów umieszczonych na krawędzi belki zespolonej, na styku belki aluminiowej z płytą betonową. Jeden z punktów związany był z belką aluminiową, a drugi z płytą betonową. Przed analizą punkty te się pokrywały, a po przeprowadzeniu obliczeń numerycznych określono różnicę w ich położeniu mierzoną po kierunku podłużnym. Przemieszczenie belki w stosunku do płyty betonowej dla współczynnika tarcia wynoszącego 0,0 przedstawiono na rys. 9.



Rys. 9. Przemieszczenie belki aluminiowej w stosunku do płyty

Fig. 9. The displacement of the aluminium beam relative to the concrete plate

Wpływ tarcia na przemieszczenie belki aluminiowej w stosunku do płyty betonowej pokazano w tabeli 2.

Tabela 2. Przemieszczenie belki aluminiowej w stosunku do płyty betonowej

Table 2. The displacement of the aluminium beam relative to the concrete plate

Współczynnik tarcia	Przemieszczenie belki w stosunku do płyty
0,0	1,35mm
0,1	1,26mm
0,2	1,18mm
0,3	1,10mm
0,4	1,02mm
0,5	1,05mm

W momencie pojawienia się opadania gałęzi wykresu na ścieżce równowagi statycznej określono wartość maksymalnej siły wymuszającej, reakcję na podporze i obliczono moment w środku rozpiętości, który przyjęto jako nośność na zginanie belki aluminiowej. Wpływ tarcia na nośność belki zespolonej aluminiowo-betonowej pokazano w tabeli 3.

Tabela 3. Nośność na zginanie belki aluminiowo-betonowej
Table 3. Load bearing capacity of aluminium and concrete beam

Współczynnik tarcia	Nośność na zginanie
0,0	375,129kNm
0,1	375,572kNm
0,2	375,883kNm
0,3	376,028kNm
0,4	376,123kNm
0,5	376,221kNm

3. Podsumowanie

Wpływ tarcia na nośność na zginanie jest pomijalnie mały. Stąd zasadne jest stosowanie przekładek zapobiegających korozji na styku aluminium – stal, nawet jeśli mają one zmniejszyć tarcie występujące między w/w materiałami. Planowane są badania laboratoryjne belki zespolonej aluminiowo-betonowej przedstawionej w artykule oraz badania podatności łączników.

Literatura

- [1] Bromberek Z.: Energooszczędność a rozwój miast, Izolacje 1/2014, 2014.
- [2] Błaszczyński T.: Budownictwo zrównoważone z elementami charakterystyki energetycznej, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2013.
- [3] Gwóźdź M.: Problemy projektowe współczesnych konstrukcji aluminiowych, Czasopismo Techniczne, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2007.
- [4] Kmiecik P., Kamiński M.: Modelling of reinforced concrete structures and composite structures with concrete strength degradation taken into consideration, Archives of Civil and Mechanical Engineering, Vol. XI, No. 3, 2011.
- [5] Kucharczuk W., Labocha S.: Konstrukcje zespolone stalowo-betonowe budynków, Arkady, Warszawa 2007.
- [6] Mromliński R.: Konstrukcje aluminiowe, Arkady, Warszawa 1975.
- [7] PN-EN 1994-1-1, Eurokod 4, Projektowanie zespolonych konstrukcji stalowo-betonowych Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków, Polski Komitet Normalizacyjny 2008
- [8] PN-EN 1999-1-1, Eurokod 9, Projektowanie konstrukcji aluminiowych, Część 1-1: Reguły ogólne, Polski Komitet Normalizacyjny 2011
- [9] PN-EN 1992-1-1, Eurokod 2, Projektowanie konstrukcji z betonu, Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków, Polski Komitet Normalizacyjny 2008
- [10] Polus Ł., Szumigała M., Analiza numeryczna nośności i sztywności belki zespolonej aluminiowo-betonowej, Jubileuszowa X Konferencja Naukowo Techniczna Konstrukcje Zespolone, Zielona Góra 2014
- [11] Szumigała M., Polus Ł. Numeryczne modelowanie badania nośności łącznika do konstrukcji aluminiowo-betonowych, Aktualne problemy konstrukcji metalowych, II Międzynarodowa Polsko-Ukraińska Konferencja Naukowo-Techniczna, Fundacja Rozwoju Inżynierii Lądowej, Gdańsk 2014

PODZIĘKOWANIA

Pracę wykonano w ramach działalności statutowej 01/11/DSPB/0305 oraz 01/11/DSMK/0292.

INFLUENCE OF THE FRICTION ON THE CAPACITY OF THE ALUMINIUM AND CONCRETE BEAM

Summary

In the article the influence of the friction between the aluminium beam and the steel sheet on the load bearing capacity is presented. The steel sheet is a formwork of the reinforcement plate. Aluminium and concrete structures are relatively young structure compared to composite steel and concrete structure. Aluminium structures have a lot of advantages. They are recyclable and resistant to corrosion. The composite aluminium and concrete structures are more durable than the composite steel and concrete structures. However, there is possible corrosion at the interface of aluminium and steel. Therefore, the aluminium beam should be isolate from the steel sheet using spacers. However, the use of spacers such as elastomeric reduces the effect of friction. The article evaluated influence of the friction on the bearing capacity of the beam and possibility to not include friction in the evaluation load bearing capacity of the composite beam. The model of composite aluminium and concrete beam was prepared. The model consisted of an aluminium I – beam, a reinforcement plate, shear connectors and a steel sheet. From the numerical calculations obtained that the effect of friction on the bearing capacity of bending is negligible. Therefore, spacers may be used. Laboratory tests of composite aluminium and concrete beam and a test of shear connectors are planned.

Keywords: aluminium and concrete composite beam, numerical analysis

Przesłano do redakcji: 06.12.2014 r.

Przyjęto do druku: 22.06.2015 r.

DOI:10.7862/rb.2015.67