

STRESZCZENIE

Słowa kluczowe: polimer zbrojony włóknami FRP; pręty FRP; elementy betonowe ze zbrojeniem FRP; odporność ogniowa belek zbrojonych prętami FRP; pręty bazaltowe (BFRP); pręty hybrydowe (HFRP).

Głównymi czynnikami determinującymi wybór prętów kompozytowych na bazie włókien polimerowych (FRP) są przewidywane warunki środowiskowe i założenia projektowe. Odporność ogniowa kompozytów na bazie FRP stanowi obecnie jedno z kluczowych zagadnień badawczych, wynikających z potrzeby zapewnienia, że materiały te zachowają swoje właściwości strukturalne podczas wystąpienia podwyższonych temperatur. Degradacja matrycy prowadzi do osłabienia interakcji między włóknami i w konsekwencji do pogorszenia właściwości mechanicznych prętów FRP, takich jak wytrzymałość na zginanie, rozciąganie czy ścinanie. Z tego powodu stosowanie zbrojenia FRP w elementach nośnych konstrukcji betonowych jest obecnie ograniczone do obiektów, w których nie występuje zagrożenie pożarem.

W niniejszej rozprawie przedstawiono wyniki autorskich badań, przyczyniających się do rozszerzenia wiedzy na temat hybrydowych prętów kompozytowych wykonanych z włókien polimerowych (HFRP) i postępu w zakresie ich stosowania. Proces "hybrydyzacji" polegał na substytucji pewnej części włókien bazaltowych włóknami węglowymi w celu poprawy właściwości fizyko-mechanicznych złożonych z nich prętów HFRP. Optymalizacji doboru włókien dokonano biorąc pod uwagę dwa podstawowe parametry:

- (1) sztywność (włókna węglowe charakteryzują się pięciokrotnie większym modułem sprężystości od włókien bazaltowych);
- (2) cena włókien (włókna węglowe są obecnie kilkakrotnie droższe od włókien bazaltowych).

Dzięki hybrydyzacji można uzyskać materiał o wyższej wytrzymałości i sztywności, niż pręty na bazie włókien bazaltowych Basalt-FRP (BFRP), a jednocześnie tańszy od prętów na bazie włókien węglowych Carbon-FRP (CFRP). Dodatkowo włókna węglowe są bardziej odporne na wysokie temperatury w środowisku beztlenowym, co czyni pręty HFRP potencjalnie lepszymi pod względem odporności ogniowej, od zbrojenia BFRP.

W pierwszym etapie badań przeprowadzono optymalizację składu prętów hybrydowych HFRP. Proces optymalizacji polegał na zaprojektowaniu prętów, uwzględniającym takie parametry, jak udziały objętościowe oraz sposób rozmieszczenia włókien. W celu walidacji przeprowadzonej teoretycznej optymalizacji podjęto produkcję prętów HFRP, które następnie

poddano szerokim badaniom, w tym testom wytrzymałości na rozciąganie, ściskanie oraz ścinanie. Uzyskane wyniki potwierdziły efekty wcześniej przeprowadzonej optymalizacji i wykazały znaczącą poprawę właściwości prętów HFRP w porównaniu z prętami BFRP.

W drugiej części badań przeprowadzono kompleksową ocenę nośności ogniowej betonowych elementów zginanych, wzmacnianych za pomocą innowacyjnych prętów HFRP. Pełnowymiarowe belki zostały zaprojektowane i skonstruowane do badań, które zostały przeprowadzone w dwóch fazach. W pierwszej fazie (początkowej) badano ograniczoną liczbę elementów ze zróżnicowanym zbrojeniem BFRP i HFRP. Natomiast w drugiej fazie (głównej) przeprowadzono testy na zwiększonej liczbie belek w celu potwierdzenia powtarzalności uzyskiwanych wyników badań. W przeprowadzonych testach zastosowano dwie metody: standardową oraz rezydualną. Metoda standardowa polegała na jednoczesnym oddziaływaniu warunków pożarowych oraz obciążenia badanych belek. Natomiast w metodzie rezydualnej nieobciążone belki najpierw były poddawane oddziaływaniu pożaru, a następnie po ochłodzeniu, przeprowadzano test w celu określenia ich rezydualnej nośności. Metoda ta miała na celu bardziej realistyczną ocenę nośności belek w warunkach po ustaniu oddziaływania pożarowego (post-fire conditions).

Podsumowując, przeprowadzona optymalizacja składu prętów HFRP miała na celu zwiększenie sztywności zbrojenia w porównaniu do tradycyjnych prętów BFRP i zaowocowała uzyskaniem materiału o wyższych parametrach wytrzymałościowych, co zostało potwierdzone przez badania eksperymentalne wytrzymałości na rozciąganie, ściskanie oraz ścinanie. Podczas badań ognioodporności przeprowadzonych na elementach zginanych, zaobserwowano prawie dwukrotnie mniejsze ugięcia belek ze zbrojeniem HFRP w porównaniu z belkami zbrojonymi prętami BFRP, zarówno podczas badań metodą standardową, jak również rezydualną. Ponadto, w głównej fazie badawczej większość belek ze zbrojeniem hybrydowym nie uległa zniszczeniu w zakładanym czasie i została poddana testowi w celu określenia ich rezydualnej nośności, w przeciwieństwie do belek ze zbrojeniem BFRP, które utraciły nośność w rezultacie działania podwyższonej temperatury. Wniosek z wyników badań ognioodporności wskazuje na możliwość potencjalnego zastosowania nowo opracowanych prętów HFRP w elementach nośnych, które mogą być narażone na podwyższone temperatury.