

VLIV POVRCHOVÉ ÚPRAVY A ZKUŠEBNÍ KONFIGURACE NA SOUDRŽNOST VNITŘNÍ GFRP VÝZTUŽE ■ EFFECT OF SURFACE TREATMENT AND TEST CONFIGURATION ON BOND BEHAVIOUR OF GFRP REBARS

Ondřej Januš, František Girgle,
Vojtěch Kostiha, Petr Štěpánek,
Pavel Šulák, Mohamad Mansour

Článek volně navazuje na příspěvky z oblasti návrhu kompozitních materiálů, které byly uveřejněny v časopise Beton TKS v loňském roce v čísle 2 [18] a 3 [19]. Zabývá se problematikou zajištění spolehlivého spolupůsobení kompozitní výztuže na bázi skleněných vláken s okolním betonem, které je zcela klíčové pro bezpečný a trvanlivý návrh konstrukce. Pokouší se též upozornit na přímý vliv zvolené konfigurace testu na získané mechanické charakteristiky kontaktu a poukazuje na vliv povrchové úpravy výztuže a působícího okolního prostředí (degradace) na způsob a mechaniku porušení kontaktu. Prezentovány jsou dílčí výsledky z probíhajícího výzkumného programu, který se danou problematikou zabývá. ■ The article follows the already presented contributions dealing with the design of composite materials, which were published last year in Beton TKS Journal issues 2 [18] and 3 [19], resp. This article deals with ensuring the reliable interaction of composite glass fibre reinforcement with surrounding concrete. This interaction is crucial for the safe and durable design of structures. It also attempts to draw attention to direct influence of the chosen test configuration on the mechanical characteristics of the contact. The article points to the influence of the surface treatment of the reinforcement and the surrounding environment on the mechanism of bond failure. Partial results from the ongoing research program are presented.

Jedním ze základních předpokladů návrhu vyztužených betonových konstrukcí je kompatibilita přetvoření mezi betonem a výztuží, která je zajištěna soudržností obou materiálů. Použití kompozitní výztuže (FRP – Fibre Reinforced Polymers) (bez ohledu na její typ a povrchovou úpravu) však vyžaduje modifikaci návrhového přístupu běžně používaného u ocelových žebírkových výztužných vložek, neboť mechanika přenosu sil z výztuže do okolního betonu je odlišná.

Studiem soudržnosti kompozitní výztuže s betonem se zabývalo již mnoho autorů (např. [2], [3], [10] a [13]). Publikované výsledky prokázaly značný vliv fyzikálně-mechanických vlastností výztuže a zejména její povrchové

úpravy. S ohledem na různorodost dostupných produktů na trhu není možné pouze na základě obecného analytického či semiempirického vztahu bez experimentálního ověření spolehlivě určit mechaniku přenosu sil, mezní napětí v soudržnosti a jeho vliv na chování vyztuženého prvku, tj. vliv na deformační chování betonového prvku, a též šířku a vzdálenost trhlin. Je zřejmé, že pro případnou verifikaci dostupných návrhových vztahů je třeba robustní experimentální základna.

Pro zjištění soudržnosti výztuže s betonem se běžně používá několik typů zkoušek:

- pull-out testy (s centricky nebo excentricky uloženým prutem),
- prstencové pull-out testy (ring pull-out test),
- zkoušky soudržnosti při stykovaní výztuže přesahem (splice test),
- nosíkové zkoušky.

Pull-out testy jsou díky své jednoduchosti a schopnosti izolovat jednotlivé parametry s oblibou používány pro stanovení soudržnosti mezi výztuží a betonem. Excentrický pull-out test dovoluje, na rozdíl od standardní konfigurace testu, stanovit vliv krycí vrstvy na soudržnost. Je však zřejmé, že tyto testy nepopisují stav napětí v soudržnosti očekávaný v reálných (ohýbaných) konstrukcích. Mechanismus porušení je při těchto testech odlišný.

Využití nosíkových zkoušek pro stanovení soudržnosti FRP výztuže s betonem, i přestože přesněji vystihují chování výztuže v převážně ohýbaném nosníku, však již není příliš časté a množství relevantních dostupných výsledků je omezené ([8], [9], [11], [15], [16]).

Např. v [15] je možno nalézt srovnání GFRP (Glass Fibre Reinforced Polymer) výztuže s běžnou ocelovou výztuží. Testované kompozitní výztuže vykazovaly nižší mezní napětí v soudržnosti než ocelové pruty. Vliv změny soudržné délky GFRP výztuže s žebírkou na sledované parametry byl sledován v [11]. Při kratší kotevní délce (pětinásobek průměru prutu) docházelo k porušení vytržením výztuže z betonu, kdy bylo patrné oddělení žebírek od jádra prutu. Při zvětšení kotevní délky na ví-

ce než desetinásobek průměru prutu již docházelo k přetržení výztuže. Vliv okrajových podmínek (tj. konfigurace) zkoušky byl řešen v [16]. Testován byl vliv pevnosti betonu, kotevní délky a průměru prutu. Zvýšením pevnosti betonu v tlaku z přibližně 30 MPa na 63 MPa bylo dosaženo vyššího maximálního napětí v soudržnosti. Postupně s uvedeným v [11] vedlo ke změně mechanizmu porušení – z porušení vytržením prutu na porušení roztržením krycí vrstvy. Při porovnání výsledků získaných z různých zkušebních metod byl pozorován v maximálním smykovém napětí jen malý rozdíl.

Výsledky nosíkových zkoušek pro určení vlivu průměru výztuže a tloušťky krycí vrstvy na soudržnost žebírkových GFRP výztuží byly prezentovány v [8]. Snížením tloušťky krycí vrstvy došlo k redukci mezního napětí v soudržnosti a křehčímu chování kontaktu. Ve studii [9] byl testován vliv průměru výztuže, kotevní délky, tloušťky krycí vrstvy i povrchové úpravy GFRP výztuže. Porušení soudržnosti u opískovaných prutů nastalo selháním povrchové vrstvy výztuže. U žebírkových prutů s malou krycí vrstvou docházelo ke kombinovanému způsobu porušení – na horním povrchu výztuže (tj. povrchu orientovaném směrem k tlačným vláknům nosníku) bylo pozorováno odtržení žebírek, na spodním povrchu docházelo ke smykovému porušení betonu mezi žebírkou. Uvedené výzkumy se shodují na závěru, že průměrné maximální napětí v soudržnosti u GFRP výztuže (i v rámci odlišných povrchových úprav) klesá s rostoucím průměrem výztuže. Shodný vliv má i prodloužení kotevní délky.

Důležitým faktorem potenciálně negativně ovlivňujícím dlouhodobou spolehlivost spolupůsobení obou materiálů je alkalické prostředí betonu, které snižuje mechanické charakteristiky GFRP výztuží (např. [7]). Závěry z doposud provedených (ve světové literatuře dostupných) experimentů degradace soudržnosti mezi GFRP výztuží a betonem jednoznačně míru poškození kontaktu vlivem působení alkalického prostředí neurčují. Testované