

Posudek disertační práce

Autor práce: Ing. Juraj Lagiň
Název práce: Navrhovanie nepriamej FRP výstuže
Studijní obor: P3607 Stavební inženýrství (nDK)

Oponent: doc. Ing. Petr Bílý, Ph.D.
ČVUT v Praze, Fakulta stavební, katedra betonových a zděných kcí

Datum zadání posudku: **6. června 2024**

Aktuálnost tématu disertační práce

Téma disertační práce je vysoce aktuální. Různé druhy kompozitních výztuží jsou poměrně často navrhovány jako alternativa pro vyztužení betonových konstrukcí. Existující návrhové přístupy přitom vůbec nezohledňují nebo jen nedostatečně zohledňují vliv změny chování výztuže vlivem její tvarové úpravy. V literatuře nejsou k dispozici výsledky zkoušek relaxace, creepu, dlouhodobé pevnosti a vlivu alkalického prostředí pro ohýbanou výztuž, což podtrhuje potřebu výzkumu v této oblasti.

Hodnocení:

<input type="checkbox"/> vynikající	<input checked="" type="checkbox"/> nadprůměrné	<input type="checkbox"/> průměrné	<input type="checkbox"/> podprůměrné	<input type="checkbox"/> slabé
-------------------------------------	---	-----------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------

Splnění cílů disertační práce

Cíle disertační práce byly splněny v celém rozsahu. Prvním cílem bylo shrnout dosavadní poznatky uveřejněné v odborné literatuře k danému tématu a analyzovat je. Tento cíl je splněn v kapitole 3. Druhým cílem bylo poznatky aplikovat a zrealizovat vlastní výzkumný program. Tento cíl naplňuje kapitola 4. Posledním cílem bylo doplnit experimentální program o analytické a numerické výpočty, teoreticky vysvětlit chování prvků pozorované při zkouškách a definovat výpočetní postup modifikující aktuálně platné postupy tak, aby bylo zohledněno skutečné chování GFRP výztuže. Tento cíl je dosažen v kapitole 5.

Hodnocení:

<input checked="" type="checkbox"/> vynikající	<input type="checkbox"/> nadprůměrné	<input type="checkbox"/> průměrné	<input type="checkbox"/> podprůměrné	<input type="checkbox"/> slabé
--	--------------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------

Postup řešení problému – metody zpracování

Autor přistoupil k řešení problému pečlivě a komplexně. Použil kombinaci experimentálních a výpočetních metod, jejichž výsledky se v práci vhodně vzájemně doplňují. Zvolené metody jsou správné a správně použité.

Experimentální část autor zahájil mikroskopickým popisem výztuže, při kterém zejména charakterizoval změny struktury a tvaru průřezu GFRP výztuže v oblasti ohybu. Dále se věnoval stanovení krátkodobé pevnosti FRP výztuže. Pro případ ohýbané výztuže postupně vyladil vhodnou metodu zkoušení, kterou bylo možné využít pro konkrétní GFRP výztuž vyvíjenou českým výrobcem.

Následně zkoumal i vliv agresivního alkalického prostředí na dlouhodobou pevnost GFRP výztuže, což vedlo k získání cenného souboru dat. Poslední série experimentů se věnovala popisu chování betonových nosníků s GFRP výztuží při smykovém namáhání. Přestože rozdílná konfigurace nosníků s GFRP a betonářskou výztuží neumožnila úplné přímé porovnání výsledků, byly získány cenné poznatky o chování prvků s GFRP výztuží.

Výpočty pomocí MKP a STM byly použity především pro vysvětlení chování zkoušených nosníků a ověření dříve formulovaných hypotéz. Závěrem byly získané poznatky využity pro modifikaci normových výpočetních vztahů pro únosnost nosníku namáhaného smykem tak, aby byly zohledněny odlišné vlastnosti FRP výztuže a odlišné chování nosníků s touto výztuží oproti prvkům s betonářskou výztuží. Připomínky k metodám:

- 1) Práce nereфлекtuje druhou generaci Eurokódu 2 (FprEN 1992-1-1:2023), která obsahuje přílohu R věnovanou FRP výztuží do betonových konstrukcí. Z hlediska experimentů a výpočtů je to pochopitelné, práce z rozhodující části vznikla již před uveřejněním předběžného textu normy. Informace však měly být zapracovány alespoň do rešeršní části a do výčtu doporučení pro další výzkum.
- 2) V práci mi chybí zmínka o vlivu vysokých teplot na FRP výztuž. Autor se této problematice věnoval, jak vyplývá z výčtu jeho publikací čekajících na vydání. Pravděpodobně usoudil, že se jedná o samostatnou oblast, která nezapadá do struktury disertační práce. Opět se ale domnívám, že měl tuto problematiku pojednat alespoň v rešeršní části.

Hodnocení:

<input checked="" type="checkbox"/> vynikající	<input type="checkbox"/> nadprůměrné	<input type="checkbox"/> průměrné	<input type="checkbox"/> podprůměrné	<input type="checkbox"/> slabé
--	--------------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------

Význam disertační práce pro praxi a pro rozvoj vědního oboru

Výsledky práce jsou přímo využitelné v praxi i dalším výzkumu. Byly získány poznatky o vlastnostech GFRP výztuže vyvíjené českým výrobcem, které vedly k modifikacím (změna typu matrice) a doporučením pro modifikaci této výztuže (obdélníkový tvar ohýbané výztuže). Pro tuto výztuž byly získány klíčové charakteristiky (krátkodobá a dlouhodobá pevnost, kotvení). Byl vyvinut modifikovaný zkušební postup pro stanovení tahové pevnosti ohýbané výztuže, který je možno dále optimalizovat, ale již nyní dává použitelné výsledky. Z experimentů a numerických modelů vyplynula řada teoretických poznatků o chování smykově namáhaných prvků s GFRP výztuží. Z analýz v programu ATENA vyplývají doporučení pro modelování smykové výztuže (např. pro modelování soudržnosti betonu a výztuže). Práce definuje řadu podnětů pro další navazující výzkum, zejména návrhy na doplnění experimentů o další varianty.

V případě dříve zmíněné navržené modifikace normových výpočetních vztahů je pro budoucí praxi limitujícím faktorem skutečnost, že je modifikace provedena pro postup posouzení smykové únosnosti vycházející z první (aktuálně platné) generace Eurokódu 2, přičemž ve druhé generaci (která bude jediná platná od roku 2028) se postupy posouzení smyku poměrně výrazně mění. Navíc jsou zde specifikovány i některé pokyny přímo pro FRP výztuž (hodnota dílčího součinitele bezpečnosti, součinitele pro zahrnutí vlivu teploty prostředí, doby trvání zatížení, stárnutí výztuže) a stanovení smykové únosnosti prvků s FRP výztuží.

Hodnocení:

<input type="checkbox"/> vynikající	<input checked="" type="checkbox"/> nadprůměrné	<input type="checkbox"/> průměrné	<input type="checkbox"/> podprůměrné	<input type="checkbox"/> slabé
-------------------------------------	---	-----------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------

Formální úprava disertační práce a její jazyková úroveň

Formální a grafická úprava disertační práce je na vynikající úrovni. Práce má logickou a přehlednou strukturu. Grafy a tabulky jsou čitelné, srozumitelné a kvalitně vizuálně ztvárněné. Jazykovou úroveň slovensky psané práce si netroufám hodnotit, ale nezaznamenal jsem nic, co by mi vadilo. Překlepy byly pouze ojedinělé a žádná práce se jim nevyhne. Drobné výtky:

- 1) U některých grafických výstupů z programu ATENA jsou škály výsledků po vytištění zcela nečitelné. I v elektronické verzi práce je nutno pro jejich přečtení použít několikanásobné zvětšení.
- 2) UHPC a SCC nejsou třídy betonu. Jedná se o typy betonu.
- 3) U obrázků 5.39 a 5.40 neodpovídá zobrazená šířka trhlin hodnotám uvedeným v souvisejícím textu.

Hodnocení:

<input checked="" type="checkbox"/> vynikající	<input type="checkbox"/> nadprůměrná	<input type="checkbox"/> průměrná	<input type="checkbox"/> podprůměrná	<input type="checkbox"/> slabá
--	--------------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------

Hodnocení publikační a jiné činnosti doktoranda

Doktorand uvádí v přehledu 11 publikovaných prací. Tento počet považuji za odpovídající době doktorského studia. Vzhledem ke kvalitě výsledků práce je škoda, že vznikly pouze konferenční příspěvky. Získané výsledky by si zasloužily ucelenější prezentaci formou článků v časopisech – ať už zahraničních impaktovaných, nebo v nedávné minulosti ještě existujícím tuzemském časopise Beton. Samotnou publikační činnost bych tedy hodnotil jako průměrnou. Vzhledem k uvedeným dalším publikacím čekajícím na vydání, které tematicky rozšiřují problematiku disertační práce o oblast chování FRP výztuže za vysokých teplot, však celkově hodnotím publikační a jiné činnosti jako nadprůměrné.

Hodnocení:

<input type="checkbox"/> vynikající	<input checked="" type="checkbox"/> nadprůměrná	<input type="checkbox"/> průměrná	<input type="checkbox"/> podprůměrná	<input type="checkbox"/> slabá
-------------------------------------	---	-----------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------

Poznámky a připomínky k textu práce

Věcné a formální připomínky nevyžadující přímou odpověď jsem uvedl v jednotlivých bodech posudku. Zde si dovoluji formulovat několik možných dotazů pro obhajobu disertační práce:

- 1) V kap. 3.9.2 uvádíte, že matrice může absorbovat vodu, což vede k jejímu bobtnání a vzniku trhlin. Předpokládám, že tento nežádoucí proces by byl dále akcelerován zmrazovacími cykly. Neměla by se tedy u této výztuže zkoušet i mrazuvzdornost? Existují v tomto směru nějaké názory, výzkumy?
- 2) Z tab. 4.1 vyplývá, že volené poloměry ohybu „české“ GFRP výztuže (3,75Ø, 3,00Ø) jsou menší, než nejmenší dovolený poloměr ohybu pro betonářskou výztuž (4Ø) a poloměr použitý pro Combar (4,16Ø). Z výsledků v kap. 4.4 jasně vyplývá, že únosnost výztuže přímo závisí na kvalitě provedení ohybu, přičemž lze předpokládat, že vyšší kvality (menší deformace vláken a průřezu) je možné dosáhnout při větších poloměrech ohybu. Proč tedy závěrečné doporučení v kapitole 7.2 uvádí, že by se měl poloměr ohybu volit alespoň 3Ø? Nebylo by lepší doporučit větší poloměry ohybu – alespoň 4Ø, jak je tomu pro betonářskou výztuž a Combar?
- 3) V kap. 4.4.4 uvádíte, že produkty Combar jsou pro stavbu „relativně nevhodné“. Co to přesně znamená? Jaká je cena výztuže Combar oproti předpokládané ceně „české“ GFRP výztuže? Není vyšší jednotková cena kompenzována lepšími vlastnostmi?

- 4) Rozptyl výsledků v kap. 4.5.3 je poměrně značný. V jednotlivých časech byla z vyhodnocení vyloučena třetina až polovina vzorků. V kap. 4.5.4 uvádíte, že mohlo dojít k poškození GFRP výztuže při převozu. Jaká opatření je nutno dodržovat při transportu a manipulaci GFRP výztuže? Je možné před osazením výztuže do konstrukce jednoduše, ale přitom věrohodně zkontrolovat, zda není mechanicky poškozená? Jak je riziko poškození výztuže zohledněno při návrhu konstrukce?
- 5) Jako vhodnější materiál matrice byl na základě zkoušek dlouhodobé pevnosti výztuže s epoxidovou matricí určen vinylester. Byly mimo rámec disertační práce provedeny obdobné zkoušky s novou matricí? Pokud ano, jak dopadly?
- 6) Tab. 5.2 ukazuje velmi dobrou shodu experimentálně a numericky stanovených hodnot pevnosti ohýbané výztuže. Nezkoušel jste pomocí modelu předpovědět pevnost výztuže bez vlivu redukce ohybovým momentem? Pokud ano, jak predikce dopadly?
- 7) Na str. 146 uvádíte, že „Lomová energie byla upravena tak, aby odpovídala třídě betonu odpovídající pevnosti“. Co to přesně znamená? Byla nějak analyticky dopočtena (např. podle Model Code) nebo získána inverzní analýzou z výsledků zkoušek?
- 8) Z čeho vychází konstanta 0,005 ve vztahu (61)?

Závěr

Předloženou disertační práci považuji za velmi kvalitní. Její čtení pro mě bylo zajímavé a odborně přínosné. Obzvláště oceňuji komplexní pojetí práce a propojení jednotlivých částí (řešení, experimentů, analytických i numerických výpočtů). Všechny části práce jsou vzájemně konzistentní, z čehož je patrné, že práce měla od začátku jasně dané směřování. Velmi kladně též hodnotím propojení s praxí, kdy práce přispívá k vývoji nového produktu tuzemské firmy. Práce jasně prokazuje, že doktorand zvládl zrealizovat náročný výzkumný program a kvalitně odvedl velké množství smysluplné práce.

Uchazeč zpracováním disertační práce prokázal způsobilost k samostatné tvůrčí vědecké práci ve smyslu § 47 zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a změnách a doplnění dalších zákonů.

Doporučuji, aby disertační práce **byla** přijata k obhajobě a aby v případě jejího úspěšného obhájení byl

Ing. Juraji Lagiňovi

udělen akademický titul „doktor“ (ve zkratce „Ph.D.“ uváděné za jménem).

Datum: 24.6.2024

Podpis oponenta práce: