

## Posudek disertační práce

**Autor práce:** Ing. Pavel Simon  
**Název práce:** Progresivní styčníky FRP kompozitů konstrukcí dopravní infrastruktury  
**Studijní obor:** P3607 Stavební inženýrství (nD)  
**Oponent:** doc. Ing. Pavel Schmid, Ph.D.  
Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební  
Ústav stavebního zkušebnictví  
Veveří 95, 602 00 Brno  
E-mail: schmid.p@vutbr.cz

Datum zadání posudku: **29.3.2018** (č.j. 30/2018)

### Aktuálnost tématu disertační práce

Aplikace FRP materiálů jako prvků v konstrukcích dopravní infrastruktury je téma velice aktuální. Vzhledem k aktuálním poznatkům v této oblasti vyžaduje jeho řešení komplexní využití teoretické a experimentální analýzy pro specifikaci efektivních a dlouhodobě spolehlivých technických řešení styčnic z těchto materiálů.

V době zpracování tématu nebyly k dispozici žádné odborné a závazné dokumenty (normy či před-normy) pro spoje profilů FRP. Aktuálnost tématu v potřebě vědecko-výzkumného postihu reálného chování styčnic FRP-FRP při kombinaci zatížení je zdůrazněna silně anizotropními vlastnostmi tohoto konstrukčního materiálu.

Doposud byly v těchto detailech preferovány výhradně lepené styčnicové spoje. Za významně aktuální přínos lze hodnotit část práce, která se věnuje konstrukčním řešením kombinovaných spojů.

K aktuálnosti tématu přispívá i autorem zvolená metoda snížení součinitele bezpečnosti gama M využitím přístupu navrhování podle zkoušek místo konzervativnějšího normového přístupu.

Významným aspektem aktuálnosti tématu je také vytčený cíl práce – rozšíření možností aplikace a uplatnění materiálů FRP v prvcích dopravní infrastruktury při nízké energetické náročnosti jejich výroby, nižších celoživotních nákladech, hygienické nezávadnosti a bezúdržbovosti s pozitivními ekologickými dopady. Jedná se tedy o významný příspěvek v oblasti environmentálního přístupu k navrhování a realizaci stavebních konstrukcí.

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

Hlavní cíl disertační práce je uveden na začátku kapitoly 3. Jedná se o výzkum chování vybraných styčnicků FRP-FRP při zatížení s cílem vývoje vhodných konstrukčních typů styčnicků pro konstrukce lávek včetně stanovení parametrů jejich chování při provozním zatížení.

Tohoto cíle bylo dosaženo rozsáhlými experimentálními zkouškami s následnými analytickými studiemi stanovení únosnosti vhodně použitými numerickými modely.

Splnění cílů je prokázáno také v závěrech disertační práce (kapitola 15). Byly deklarovány a doporučeny dva základní vhodné typy spojů FRP-FRP. Celoplošné lepení a lokální kombinované spoje (Jednostřížné i dvojtřížné spoje) byly v práci aplikovány pro konstrukce dvou lávek ve variantách celoplošného spojení profilů a spojů jednotlivých konstrukčních částí.

Hodnocení:

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

## Postup řešení problému – metody zpracování

Postup řešení problematiky byl autorem metodicky zpracován dobře a předložené výsledky prokazují, že doktorand řešenou problematiku zvládl na úrovni odpovídající požadavkům disertační práce v oborové specializaci navrhování a provádění konstrukcí dopravní infrastruktury.

Pro splnění cílů byly chronologicky aplikovány metody řešerše současného stavu problematiky, shrnutí vybraných materiálových vlastností FRP profilů, výběr vhodného lepicího systému a zpracování metodik pro rozsáhlou experimentální část práce. Tato část práce obsahuje realizaci a analytické vyhodnocení laboratorních zkoušek přeplátovaných spojů, stanovení materiálových charakteristik FRP, výrobu a statický zatěžovací test lepených nosníků z uzavřených profilů, výrobu a statický zatěžovací test lepených nosníků z otevřených profilů, verifikační testy jednotlivých komponent spoje s nýtovací maticí, spoj L profilů pro spoje příčníků, spoje T profilů styčnicků. Před výrobou a statickými zatěžovacími testy nosníků z uzavřených a otevřených profilů byla autorem zpracována studie konstrukcí lávek s cílem posouzení možností využití plnostěnných nosníků z FRP profilů jako hlavních nosníků lávek pro pěší a cyklisty. Na základě závěrů studie byly deklarovány zmíněné dva konstrukční systémy lávek pro statické zatěžovací testy. Zde je nutno zdůraznit, že se jedná o inovativní aplikaci materiálu FRP v nosných konstrukcích lávek pro pěší a cyklisty, která je významným počinem pro další rozvoj aplikací tohoto materiálu v nosných prvcích a konstrukčních celcích.

Jednotlivé etapy řešení obsahují dostačující a výstižné dílčí závěry. V souhrnném závěru (kapitola 15) je prokázáno, že dílčí výstupy experimentální části práce byly efektivně využity pro konstrukci dvou typů lávek s využitím jednostřížných i dvojtřížných spojů.

Jako významný počín lze hodnotit také skutečnost, že z rozsáhlého souboru typů spojů lze na základě provedených a analyticky vyhodnocených experimentů vybrat vhodný typ použitelný v reálných návrzích konstrukcí.

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

Předložená disertační práce vykazuje pro praxi zásadní význam a to v řadě aspektů. Byly zpracovány metodiky rozsáhlých experimentálních zkoušek. Získaná data z těchto zkoušek byla použita pro analytické vyhodnocení a ve většině případů byla numerickou analýzou prokázána velice uspokojivá shoda mezi experimentálními a numerickými (teoretickými) hodnotami sledovaných veličin. V tomto aspektu tedy byla prokázána použitelnost zpracovaných numerických postupů při navrhování a dimenzování reálných konstrukcí a konstrukčních detailů při aplikaci FRP materiálů.

Byla významně rozšířena stávající realizační technologie spojů FRP profilů. Doposud preferované postupy celoplošného lepení byly doplněny o efektivní kombinované spoje, které kombinují lepení se šrouby (běžnými i nýtovacími maticemi). Tyto spoje prokazují dostatečnou únosnost včetně reziduální únosnosti a prokazují výhodné deformační chování, kdy nedochází k otlacení ani prokluzu. Z rozsáhlých experimentálních analýz vytipovaných typů spojů a jejich vyhodnocení byla deklarována základní databanka pro výběr vhodných typů použitelných v reálných konstrukcích.

Významným počinem je též zpracovaná parametrická studie vlivu vybraných parametrů na únosnost přeplátovaných lepených spojů, konkrétně vliv délky spoje, vliv úpravy hrany lepidla, vliv zkosení přeplátovacího pásku, vliv tuhosti přeplátovacího pásku v poměru ke střednímu pásku, vliv tloušťky lepidla, vliv tuhosti lepidla, vliv šířky spoje.

Byly experimentálně stanoveny materiálové tahové a smykové charakteristiky FRP, které významně rozšiřují aktuálně známé a uváděné hodnoty mechanických parametrů FRP materiálů. Pro vlastní navrhování a dimenzování jsou pevnost v tahu ve směru kolmém na výtuzné síť a pevnost ve smyku podél vláken nezbytnými veličinami.

Rozsáhlé experimentální analýzy spojů FRP-FRP byly aplikovány při návrhu jednostřížných a dvojtřížných spojů pro konstrukce dvou lávek jak ve variantě celoplošného spojení profilů, tak zejména pro spoje jednotlivých konstrukčních prvků.

Z hlediska dalšího rozvoje poznání v řešené problematice práce prokazuje nutnost zaměřit pozornost na zobecnění stávajících návrhových postupů styčnic, zejména kombinovaných při namáhání ohybem a smykem. V rámci dalších experimentálních aktivit bude nutno variovat vliv jednotlivých komponent hodnocených systémů.

Autor v závěrečných úvahách deklaruje další perspektivní cestu pro zefektivnění výstižnosti návrhových postupů zpracováním metodiky laboratorního stanovení „lokální tahové pevnosti kompozitu kolmo k vláknům“ ve vybraných oblastech konkrétních profilů.

Použitelnost výstupů předložené práce pro praxi je nezpochybnitelná. Pokud budou poznatky získané touto prací dále rozvíjeny, je reálná perspektiva aplikace normových postupů při návrhu a realizaci kompozitních konstrukcí použitelných v konstrukčním stavitelství. Aplikace normových návrhových postupů by významně zefektivnila projektovou přípravu konstrukcí na bázi FRP materiálů ve vztahu k aktuálně používaným principům návrhů podle zkoušek.

Hodnocení:

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

## Formální úprava disertační práce a její jazyková úroveň

Po formální a jazykové stránce nemám k předložené práci zásadní výhrady. Práce přehledně a chronologicky správně prezentuje motivační aspekty řešení problematiky, aktuálnost zvoleného tématu, cíle práce a zvolené metody a postupy k dosažení specifikovaných cílů. Zvolená forma grafické a tabelární prezentace dosažených výsledků jak experimentální tak analytické (numerické) části je přehledná a v případě zájmu odborné veřejnosti přímo využitelná pro další rozvoj poznání v oblasti reálného chování FRP kompozitů ve všech studovaných variantách namáhání zkušebních vzorků i konstrukčních prvků.

Drobné výhrady, které však nijak nesnižují význam a odbornou vyspělost předložené práce, jsou uvedeny v následujících bodech.

- Na straně 61 (Obr. 37) snižuje grafickou úroveň publikování ručně zpracovaného schématu konvence značení os anizotropie FRP materiálu. Vlastní snaha prezentace anizotropie materiálů v případě implementace ortogonálního anizotropního systému si zasluhuje preciznější formu znázornění.
- Na straně 50 (oddíl 6.3.5) je vytištěna chyba z důvodů nenalezení zdroje odkazů.
- V seznamu literatury je chyba v automatickém číslování odkazů – v položce [9] je “vnořen” chybně odkaz [10].
- Je věcí diskuse, zda je vhodné, aby v disertační práci zpracované v českém jazyce byly uváděny vybrané materiálové parametry FRP profilů v jazyce anglickém (kopie oficiálních podkladů společnosti FIBERLINE Composites A/S v Tab. 1 až 3 na str. 16 a 17).

Hodnocení:

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

## Hodnocení publikační a jiné činnosti doktoranda

Předpoklady k samostatné tvůrčí vědecké práci a význam výstupů dosavadních vědecko-výzkumných aktivit včetně perspektiv dalšího výzkumu a vývoje v řešených problematikách je doložen také tvůrčí a publikační činností autora v letech 2013 až 2018.

Tato obsahuje šest projektů TAČR, kde je autor řešitelem, a jeden projekt TAČR v pozici člena řešitelského týmu. Ve vztahu k řešené problematice v disertační práci je hlavním autorem dvou průběžných a jedné závěrečné zprávy z řešení projektu TA 04030110 „Uplatnění výhod FRP kompozitů v dopravní infrastruktuře (řešeno v letech 2015 až 2017).

Je spoluautorem celkem osmi příspěvků ve sbornících odborných a mezinárodních konferencí a dvou příspěvků v časopisech (Steel Construction, Konstrukce).

V databázi RIV je k 30.4.2017 registrováno šest užitných vzorů, tři certifikované metodiky a tři technické podmínky MD ČR (TP253, TP254 a TP260), kde je autor práce uveden v autorském kolektivu.

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

Zásadní poznámky a připomínky k předložené disertační práci nemám. Pro odbornou rozpravu k řešenému tématu mám následující dotazy.

- Není významným aplikačním limitem u testovaných a lepidel Sikadur 30, CarboResin a VERO-Cimp podmínka maximálních teplot do 50 °C? Je perspektiva posunu tohoto limitu v dalším výzkumu lepících hmot?
- Závěrem hodnotící studie vlivu tloušťky lepidla je konstatování, že tloušťka lepidla má teoreticky na mezní únosnost spoje zanedbatelný vliv. Jedná se o obecný jev nebo je závislý na parametrech lepidla? Platí tento závěr i v reálných (experimentálních) aplikacích?
- Při experimentálním ověření únosnosti lepeného spoje byly v lepených spárách instalovány tenzometry, které měřily „napětí ve směru působící síly“. Snímá opravdu tenzometr hodnoty napětí? Neovlivnil stanovené experimentální hodnoty napětí spíše modul pružnosti zkoušeného materiálu? Je nutné zohlednit při snímání deformací na povrchu kompozitního prvku silně anizotropní vlastnosti resp. vliv výztužné sítě v okolí jádra s vlákny – viz Obr. 37 na str. 61)? Jaký je metodický pokyn pro stanovení modulu pružnosti v tahu FRP materiálů v tahu?
- V oddíle 12.4.3 je v závěrech k testům spojů s L profily uvedeno, že pro další fázi výzkumu se jeví vhodnější variantou provést jinou sérii testů s větším počtem vzorků a v jiném geometrickém uspořádání. Lze blíže specifikovat předpokládané variantní modifikace uváděných experimentů?

## Závěr

Předloženou disertační práci prokázal Ing. Pavel Simon schopnost řešit silně interdisciplinární problematiku vyžadující spolupráci týmu odborníků v oblastech technologie výroby FRP kompozitů, zkušebnictví v aspektech základních zkoušek fyzikálně mechanických parametrů materiálů na zkušebních těles, specifických experimentálních analýzách konstrukčních detailů, prvků a výseků konstrukcí, numerické analýzy konstrukcí, navrhování a dimenzování konstrukcí, realizace konstrukcí. Prokázal také schopnost v pozici hlavního řešitele sestavit a řídit tým pracovníků ve struktuře vědecký pracovník, výzkumný pracovník, odborný technik, řemeslník.

Uchazeč Ing. Pavel Simon 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 Ing. Pavla Simona **byla** přijata k obhajobě a aby v případě jejího úspěšného obhájení

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

Datum: 7. června 2018

Podpis oponenta: 