CHOVÁNÍ SENDVIČOVÝCH KOMPOZITNÍCH PANELŮ PŘI NAMÁHÁNÍ OHYBEM

BEHAVIOUR OF SANDWICH COMPOSITE PANELS UNDER BENDING STRESS

Pavína Zlámálová*,¹

*zlamalova.pce.vutbr.cz

¹ Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Veveří 331/95, 602 00 Brno

Abstrakt

Příspěvek prezentuje ověření chování kompozitních nosníků na bázi FRP materiálů, které byly provedeny v různých konfiguracích, tak aby umožnily popsat vliv povrchové vrstvy laminátu a vliv spoje nosníku v místě stojiny a pásnice na výsledné chování konstrukčního prvku. Jeho využití spadá zejména do oblasti agresivního prostředí (např. ČOV), kde tyto materiály, oproti železobetonu, vykazují vyšší odolnost a stálost. Optimálním využitím kompozitních materiálů, vzniká kompozitní nosník s relativně vysokou tuhostí, únosností a vysokou odolností vůči agresivnímu prostředí při velmi nízké vlastní hmotnosti.

Výsledkem provedených experimentů je pak zejména popis chování kompozitního nosníku, vliv povrchové vrstvy laminátu a stanovení fyzikálně-mechanických parametrů sendvičové konstrukce.

Klíčová slova

Kompozitní materiál, sendvičová konstrukce, pultrudovaný kompozitní profil

Abstract

This paper presents verification of the behaviour of FRP-based composite beams under four-point bending test, which were made in different configurations to describe the effect of the laminate surface layer and the effect of the joint between the beam at the web and the flange on the resulting behaviour of the structural element. Its application is mainly in the field of aggressive environments (e.g. wastewater treatment plants), where these materials show higher durability and stability compared to reinforced concrete. The optimum use of composite materials results in a composite beam with relatively high stiffness, load-bearing capacity and high resistance to aggressive environments at very low self-weight.

As a result of the experiments, the behaviour of the composite beam, the influence of the laminate surface layer and the determination of the physical-mechanical parameters of the sandwich structure are described.

Key words

Composite material, sandwich construction, pultruded composite profile

1 ÚVOD

Motivací pro výzkum FRP kompozitního nosníku je zvýšení únosnosti, tuhosti a maximální délky v současné době běžně dostupných nosníků z pultrudovaných profilů. Maximální délky nosníků z pultrudovaných profilů se pohybují okolo 7–8 m, přičemž jejich použití limituje zejména nižší tuhost. Konstrukce FRP nosníku je navržena s cílem maximalizovat moment setrvačnosti při využití stávajících výrobních a vhodným technologickým postupem umožnit výrobu nosníků s delším rozpětím (okolo 12 m). Tyto požadavky definují provedení FRP kompozitního nosníku, který je tvořen složeným průřezem, kdy pásnice jsou provedeny z pultrudovaných GFRP profilů TT průřezu a stojina je z litého kompozitního roštu ze skelných vláken (výrobní ozn. PrefaGrid). Díky variabilitě kompozitního roštu (tloušťkou stěny, velikostí ok, výškou roštu) lze s výhodou měnit výšku nosníku a ovlivňovat tak jeho ohybovou tuhost. Provedení nosníku je patrné z Obr. 1.

Obr. 1 Zobrazení jednotlivých materiálů navrženého nosníku.

Základní mechanické vlastnosti dílčích částí tvořících dílec (rošt PrefaGrid výšky 50 mm s velikostí oka 50x50 mm) byly uváženy dle uvedeného v Tab. 1.

Tab. 1 Základní mechanické vlastnosti dílčích částí nosníku.

Materiál	Pevnost v tlaku [MPa]	Modul pružnosti v tlaku [GPa]	Pevnost v tahu [MPa]	Modul pružnosti v tahu [GPa]	Ohybová pevnost [MPa]
PREFAGRID 44x44/50	135	16	255	19	260
TT PROFIL 140x100/5	≥ 240	≥ 19	≥ 240	≥ 14	≥ 270

2 POPIS EXPERIMENTÁLNĚ ZKOUŠENÝCH NOSNÍKŮ V OHYBU

Prvotní experimentální práce byly zaměřeny na základní popis chování FRP kompozitního nosníku v délce rovné maximální délce roštu, kterou je možno za běžných podmínek vyrábět – tj. 3,2 m. Cílem zatěžovacích zkoušek bylo ověřit předpoklady pro návrh nosníku, tzn. ověřit funkčnost spolupůsobení dílčích částí nosníku, popsat vliv povrchové vrstvy laminátu, popsat způsob porušení a okamžik selhání lepeného spoje pásnice/stojina [1].

Pro ověření stykování a celkového chování nosníku bylo navrženo a vyrobeno 6 vzorků, které se vzájemně liší provedením stykování stojiny a zároveň materiálovým řešením kompozitního nosníku. Zkušební vzorky dílců byly vyrobeny ve dvou typech, které se lišili provedením bez povrchové vrstvy laminátu a s ní. První typ představuje základní segment z kompozitního roštu tvořícího stojinu a TT profilu tvořícího horní a dolní pásnici (vzorky s označením „1“ viz Obr. 2a). Druhý typ nosníku byl doplněn o povrchovou vrstvu laminátu, která byla nalepena na povrch stojiny a překrývala i části horní a dolní pásnice (vzorky s označením „2“ viz Obr. 2b).

Pro každý typ („1“ a „2“) kompozitního dílce pak byly použity tři různé varianty podélného řešení stojiny. V první variantě je vzorek spojený po celé délce (vzorky s označením „A“). V druhé variantě je stojina tvořena ze dvou částí, které jsou propojeny zazubením v místě maximálního ohybového namáhání (vzorky s označením „B“).

U třetí varianty nosníku je stojina tvořena ze tří částí, které jsou spojeny zazubením v krajních čtvrtinách rozpětí, tzn. v místě s maximálním smykovým namáháním (vzorky s označením „C“).

Pro experimentální ověření chování nosníků byla zvolena zkouška čtyřbodovým ohybem. Podepření nosníku je realizováno prostřednictvím roznášecích ocelových desek uložených na kluzných podporách. V místě krajních podpor byl kompozitní nosník vsazen do ocelového rámu, který zabraňoval vybočení v příčném směru, ovšem nebránil volnému pootáčení v místě podpory. Zatížení bylo vnášeno do horní pásnice 0,5 m od osy nosníku na každou stranu (viz Obr. 3a) konstantní rychlostí 0,5 kN/s až do porušení.

a) nosník bez vnějších vrstev laminátu

b) nosník s vnějšími vrstvami laminátu

Obr. 2 Konfigurace zkoušky – skutečné provedení.

a) zobrazení kompozitního FRP segmentu

b) zobrazení osazení snímačů na segmentu

Obr. 3 Schematické znázornění kompozitního FRP segmentu.

Zkušební vzorky FRP kompozitních nosníků byly osazeny řadou snímačů (viz Obr. 3b) pro dostatečně výstižný popis jejich chování během zatěžovací zkoušky. Při zkoušce byly kromě velikosti vnášené síly sledovány svislá deformace uprostřed rozpětí (průhyb), vodorovný posun mezi pásnicemi a stojinou v místě podpory (popis chování lepeného spoje a okamžiku jeho selhání), posuny v místě spojení stojiny (popis lepeného spoje roštu), vodorovný posun uprostřed rozpětí (příčná deformace popisující případné boulení nosníku), přetvoření horní a dolní pásnice uprostřed rozpětí.

3 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTŮ

Z výsledků provedených experimentů je v první řadě zřejmý výrazný vliv nalepené vrstvy tkaniny na povrchu prvku. Tato ovlivňuje celkové chování FRP kompozitního nosníku podstatným zvýšením tuhosti i únosnosti a jeví se jako vhodné řešení do exponovaných částí nosníku. Při porovnání prvního a druhého typu nosníku, tedy bez a s povrchovou vrstvou laminátu je dosahováno přibližně trojnásobné únosnosti, resp. přibližně desetinásobné zvýšení tuhosti (viz Obr. 4).

Obr. 4 Zatěžovací diagram kompozitních FRP nosníků.

Z dosažených výsledků je zároveň zřejmé, že oblast porušení se nenacházela uprostřed nosníku, ale mezi podporou a břemenem (viz Obr. 6). Kritickým místem FRP kompozitního nosníku je pásnice, resp. spoj pásnice a stojiny v místě tlakového namáhání. Selhání kompozitního TT profilu, který tvoří horní pásnici nosníku, nastalo roztržením na styku vodorovné a svislé části profilu (viz Obr. 6a). V případě druhého typu nosníku s povrchovou vrstvou laminátu došlo k selhání obdobným způsobem, tj. v porušení horní pásnice při současném odtržení laminátu tkaniny od stojiny.

V případě tří variant nosníků, tj. bez spojení stojiny a se spojením stojiny uprostřed, resp. v krajních čtvrtinách rozpětí nosníku, lze pozorovat postupné snížení únosnosti vzorků. Nejvyšší únosnosti dosáhl kontinuální vzorek bez spoje (varianta A), lehce nižší únosnost vykazoval vzorek se spojením v krajních čtvrtinách (varianta C) a nejnižší únosnost vykázal vzorek se spojením stojiny uprostřed (varianta B). Snížení únosnosti se pohybuje do cca 10 %. Obdobných výsledků je dosaženo i v případě porovnání průhybů. U varianty B je patrný odklon od kontinuálního nosníku při dosažení cca 2/3 maximální únosnosti. Přičemž nárůst průhybu se pohybuje do 20 %. U var. C došlo dokonce ke snížení průhybu, což lze přičíst zvýšení tuhosti vlivem výplně v místě lepeného spoje stojiny.

Z dalších měřených veličin je pak důležitý zejména vodorovný posun mezi stojinou a spodní pásnicí (Obr. 5), který byl měřen z čela na obou koncích nosníků. Ze získaných dat je zřejmé, že při dosažení přibližně 15-30 % hladiny zatížení (cca 10-20 kN) v případě nosníků bez laminátu, respektive při dosažení hladiny zatížení přibližně 40-50 % (cca 70-90 kN) pro variantu s povrchovou úpravou laminátem, začínají deformace narůstat. Tento jev se projeví i v mírném snížení tuhosti celého kompozitního nosníku a zrychlení přírůstku svislých deformací a lze jej přičítat pokluzu spoje pásnice/stojiny a postupné redistribuci napětí (Obr. 4).

Obr. 5 Vodorovná deformace mezi spodní a horní pásnicí.

a) vzorek bez vnější vrstvy laminátu

b) vzorek s vnější vrstvou laminátu

Obr. 6 Detail porušení kompozitních nosníků.

4 ZÁVĚR

Prezentované výsledky potvrdily funkčnost vyvíjeného kompozitního nosníku, který se do okamžiku pokluzu spoje pásnice/stojina chová lineárně-pružně. Poté dochází k postupnému snížení tuhosti při zvyšující se úrovni zatížení. Díky tomu lze tak snadno přizpůsobit návrh požadavkům rozponu a zatížení. Celkové chování značně ovlivňuje aplikace povrchové vrstvy laminátu FRP tkaniny, která násobně zvyšuje únosnost i tuhost nosníku. Její použití je tak vhodné do exponovaných míst nosníku, např. pro budoucí místa spojení nosníku pro zajištění délky přesahující 8 m. Vliv spojení stojiny snižuje únosnost a tuhost prvku, ale vhodnou úpravou spoje vyplněním epoxidem a překrytím vrstvou laminátu lze tento negativní efekt do značné míry eliminovat.

S ohledem na předpokládaný aplikační oblast počáteční zkoušky prokázaly funkčnost řešení. Do budoucna je plánováno ověření spojů nosníků pro vytvoření požadované délky 12 m a porovnání s železobetonovou variantou.

Poděkování

Výstupy prezentované v textu byly získány při řešení projektů FV40278 – Odolné sendvičové nosné prvky z progresivních kompozitních FRP materiálů, FAST-J-21-749 – Mechanické vlastnosti sendvičových kompozitních konstrukcí a FAST-S-21-7503 - Využití nepřímých FRP výztuží při návrhu vybraného detailu bodově podepřené stropní konstrukce.

Použité zdroje

- [1] ČSN EN ISO 17129 Vlákný vyztužené plastové kompozity – Stanovení ohybových vlastností; 1999