



SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
STAVEBNÁ FAKULTA

Meno a priezvisko:

Ing. arch. Ing. Miroslav Kováčik

Autoreferát dizertačnej práce:

Pretlačenie lokálne podopretých dosiek s pozdĺžnou GFRP výstužou

na získanie akademického titulu „philosophiae doctor“, v skratke „PhD.“

na získanie akademického titulu:	philosophiae doctor – PhD.
v doktorandskom študijnom programe:	teória a konštrukcie inžinierskych stavieb
v študijnom odbore:	stavebníctvo
forma štúdia:	denná

Miesto a dátum:

Bratislava, máj 2024



Dizertačná práca bola vypracovaná na:

Katedra betónových konštrukcií a mostov, Stavebnej fakulty STU v Bratislave

Predkladateľ:

Ing. arch. Ing. Miroslav Kováčik
Katedra betónových konštrukcií a mostov
Stavebná fakulta, STU v Bratislave
Radlinského 11, 810 05 Bratislava

Školiteľ:

prof. Dipl.-Ing. Dr. Vladimír Benko, PhD.
Katedra betónových konštrukcií a mostov
Stavebná fakulta, STU v Bratislave
Radlinského 11, 810 05 Bratislava

Autoreferát bol rozoslaný dňa: 31.05. 2024

**Obhajoba dizertačnej práce sa bude konať dňa oh na Katedre
betónových konštrukcií a mostov (SvF, STU v BA), Radlinského 11, 810 05 Bratislava.**

prof. Ing. Stanislav Uncík, PhD.
Dekan fakulty

Abstrakt

Dizertačná práca skúma aplikácie GFRP výstuže na vystuženie lokálne podopretých dosiek, ktoré sú v súčasnosti najpoužívanejším stropným systémom v budovách, aj napriek citlivosti na krehký charakter porušenia. Dáta z experimentálnych výskumov lokálne podopretých dosiek vystužených nekovovou výstužou boli porovnané s návrhovými modelmi pre stanovenie odolnosti proti pretlačeniu. Experimentálny program bol zameraný na vplyv stupňa vystuženia pozdĺžnou GFRP výstužou na odolnosť v pretlačení. Na základe výsledkov experimentálneho programu a vytvorenej databázy zo zahraničných výskumov boli analyzované faktory vplyvajúce na odolnosť v pretlačení lokálne podopretých dosiek. Pre zhodnotenie vplyvu rôznych faktorov na príspevok odolnosti proti pretlačeniu bola vyhotovená parametrická štúdia. Navrhovanie konštrukcií s GFRP výstužou je podmienené podrobným výskumom v danej oblasti a zavedenie aplikácie nekovovej výstuže do betónových konštrukcií na Slovensku si vyžaduje náležitú pozornosť.

Kľúčové slová: lokálne podopreté dosky, betón, pretlačenie, teoretická analýza, databáza, experimentálny program, komparatívna analýza

1. Úvod

Korózia ocelej výstuže predstavuje celosvetový problém v železobetónových konštrukciách vystavených najmä agresívnemu prostrediu. Použitím nekovovej výstuže dochádza k zvýšeniu trvanlivosti aj takých konštrukcií, kde primárna ani sekundárna ochrana ocelej výstuže neposkytujú požadovanú životnosť (mosty, hromadné parkovacie garáže, priemyselné stavby chemických a poľnohospodárskych prevádzok). Existujú aj aplikácie, kde oceľovú výstuž ani nie je možné použiť. Príkladom sú prvky vystavené vysokému environmentálnemu zaťaženiu, prípadne prvky, na ktoré sú kladené špeciálne požiadavky, ako napr. nevodivé materiály, prípadne materiály neovplyvňujúce magnetické pole. Uvedený nedostatok sa dá vhodne odstrániť nahradením ocele polymérmí, ktoré sú vystužené rôznymi typmi vlákien (uhlíkové, sklené, aramidové, čadičové).

V posledných rokoch má použitie kompozitných materiálov vzrastajúcu tendenciu. Použitie FRP výstuží v betónových nosných prvkoch je už niekoľko desaťročí predmetom viacerých výskumov na celom svete.

Vlastnosti týchto kompozitov ako je napríklad modul pružnosti, pevnosť v ťahu, pomerné pretvorenie a súdržnosť s betónom sú odlišné od výstuží z ocele, čo ovplyvňuje aj odolnosť v pretlačení.

2. Súčasný stav riešenej problematiky

Je možné konštatovať, že sa venovala len malá pozornosť pôsobeniu dosiek vystužených FRP výstužou pri pretlačení v dvoch navzájom kolmých smeroch. Mnohé súčasné návrhy pre stanovenie odolností v pretlačení sú odvodené na základe výskumov dosiek vystužených oceľovou výstužou. Návrhové modely, ktoré boli odvodené z experimentov s použitím ocelej výstuže nemôžu byť priamo použité pre prvky vystužené FRP výstužou z dôvodu odlišných vlastností. Z výskumov [1] vychádza, že betónové dosky vystužené s FRP majú nižšiu odolnosť v pretlačení, menšiu tuhosť prvku po vzniku trhlin a väčšie šírky trhlín, čím klesá vplyv príspevku zaklinenia zrn kameniva v šikmej trhlíne oproti betónovým doskám vystužených oceľovou výstužou pri porovnateľnom stupni vystuženia.

Modul pružnosti komerčne dostupných sklenených vlákien je 20 až 25% z ocelevej výstuže. Relatívne nízky modul pružnosti GFRP materiálov oproti oceli zapríčiňuje aj nižšiu šmykovú odolnosť betónových prvkov

Táto kapitola analyzuje modely pre stanovenie odolností v pretlačení lokálne podopretých dosiek vystužených FRP výstužou. Výskum aj aplikácie v oblasti FRP sa po celom svete vyskytujú čoraz vo väčšej miere a zavedením medzinárodných normových postupov pre ich návrh sa stanú rovnocennou alternatívou k ocelevej výstuži. V niektorých štátoch už boli vydané smernice, normy a technické osvedčenia k použitiu FRP výstuže v nosných betónových prvkoch.

Zmienené vzťahy platia pre betónové prvky vystužené len pozdĺžnou výstužou na ohyb z FRP, pričom prvok nie je vystužený šmykovou výstužou. Porušenie dosiek pretlačením považujeme za krehké porušenie. Takýto typ zlyhania konštrukcie nedáva o sebe dopredu vedieť a jedná sa o náhle zlyhanie bez predchádzajúcich varovných signálov vo forme priehybov a zväčšujúcich sa širok trhlín.

Z výskumov [6] [7] [8] [9] [10] [11] [12] [13] vychádza, že betónové dosky vystužené FRP majú nižšiu odolnosť v pretlačení, menšiu tuhosť prvku po vzniku trhlín a väčšie šírky trhlín oproti betónovým doskám vystužených oceľovou výstužou pri porovnateľnom stupni vystuženia. Autori výskumu uvádzajú, že hlavnou príčinou je nižší modul pružnosti FRP výstuže.

3. Ciele a tézy dizertačnej práce

Pre potreby použitia FRP výstuže v praxi boli na základe štúdia a doterajšej literatúry, zaoberajúcou sa danou problematikou vyšpecifikované nasledovné ciele a tézy dizertačnej práce. Smerovanie dizertačnej práce by malo viesť k rozšíreniu databázy poznatkov o pôsobení GFRP výstuže zabudovanej ako hlavnej pozdĺžnej výstuže v lokálne podopretých doskách bez šmykového vystuženia.

Hlavné ciele dizertačnej práce sa dajú zhrnúť do nasledujúcich bodov:

- Stanovenie spoľahlivosti dostupných návrhových modelov na výpočet lokálne podopretých stropných dosiek vystužených GFRP výstužou na základe vytvorenej rozsiahlej databázy zahraničných experimentov doplnených vlastnými výsledkami.
- Vyhodnotenie parametrickej štúdie zahŕňajúcej vplyv faktorov (účinná výška dosky, pevnosť betónu, stupeň vystuženia, modul pružnosti výstuže, rozmer stĺpa) na odolnosť dosiek v pretlačení.
- Na základe výsledkov experimentálneho overenia stanoviť vplyv stupňa vystuženia pozdĺžnou GFRP výstužou na odolnosť proti pretlačeniu lokálne podopretých stropných dosiek bez šmykovej výstuže.

4. Metodika práce a metódy skúmania

Pre splnenie cieľov dizertačnej práce boli zvolené nasledujúce metódy skúmania:

Teoretická analýza:

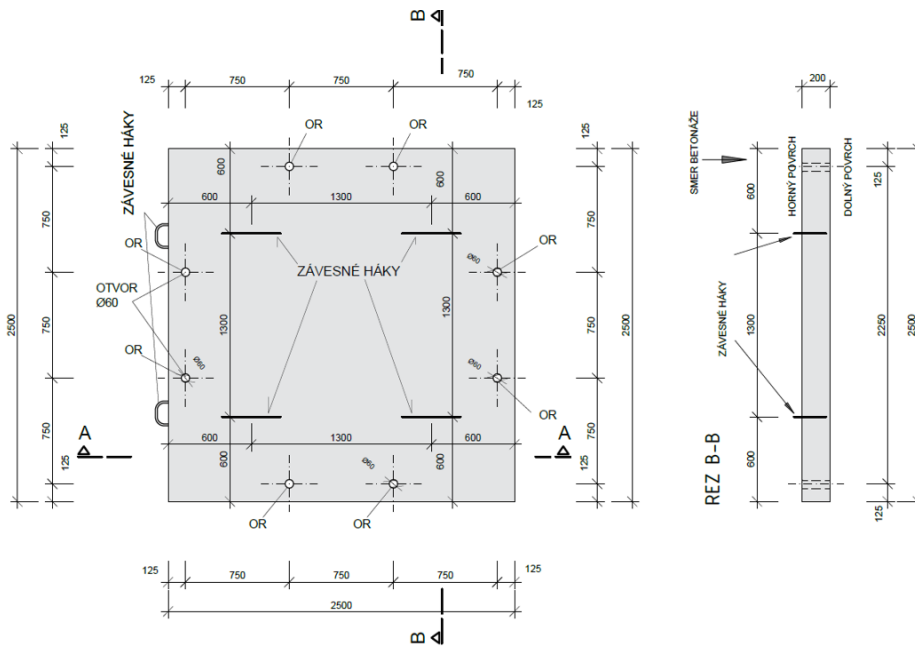
Teoretická analýza venovaná výskumu v oblasti pretlačenia lokálne podopretých dosiek s FRP výstužou bola venovaná predikcii odolnosti dosiek podľa návrhových modelov a normových postupov. Úloha teoretickej analýzy spočíva aj v štúdiu experimentálnych

výskumov vo svete zameraných na problematiku pretlačenia lokálne podopretých betónových dosiek s použitím nekovovej výstuže ako pozdĺžnej nosnej výstuže. Pre potreby stanovenia spoľahlivosti návrhových modelov bola vyhotovená databáza odskúšaných dosiek vo svete. Pre analýzu vplyvov parametrov lokálne podopretých dosiek na odolnosť proti pretlačeniu bola zhotovená parametrická štúdia.

Experimentálny program:

Experimentálny program pozostáva z krátkodobých skúšok odolností fragmentov lokálne podopretých dosiek s rôznym stupňom vystuženia GFRP výstužou.

5. Experimentálny program



Obrázok 5.1 Tvar vzoriek, pôdorys a pohľad

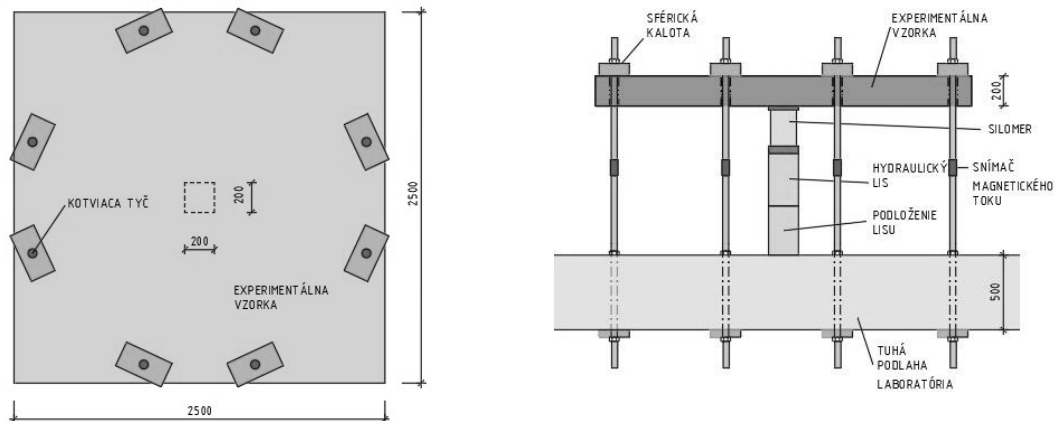
Tabuľka 5.1 Parametre experimentálnych vzoriek

Názov vzorky	Hrúbka dosky h (mm)	Rozmer stĺpa (oceľová platňa) c (mm)	Priemer výstuže ø (mm)	Osová vzdialenosť výstuže a (mm)	Krytie výstuže (mm)	Priemerná účinná výška dosky d (mm)	Stupeň vystuženia (%)
G01	200	200 x 200	16	180	40	144	0.78
G02				80			1.75
G03				50			2.79

5.1. Experimentálna zostava

Experimentálne skúšanie dosiek prebiehalo v Centrálnych laboratóriách STU v Bratislave. Dosky boli ukotvené do podlahy laboratória pomocou ôsmich predpínacích tyčí s priemerom 36 mm. Každá tyč mala na sebe osadený snímač, ktorý monitoroval zmenu magnetického toku. Zmena toku v tyčiach je priamo úmerná napätiam v tyčiach. Tento jav umožnil zaznamenať rozdelenie síl v jednotlivých tyčiach. Na hornej hrane dosky boli vzorky ukotvené pomocou sférických matíc a podložiek, pod ktorými boli sférické kalóty. Vzorka nemala vyhotovený stĺpik z betónu, ale bola priamo zaťažovaná cez oceľovú platňu o rozmeroch 200 x 200 mm s hrúbkou 40 mm a triedou pevnosti ocele S355. Zaťažovanie

dosky bolo realizované hydraulickým lisom. Sila vnášaná do dosky bola meraná silomerom s rozsahom 2000 kN, ktorý bol umiestnený pod ocelovou platňou.



Obrázok 5.2 Schéma princípu experimentálnej zostavy

6. Komparatívna analýza

6.1. Charakter porušenia

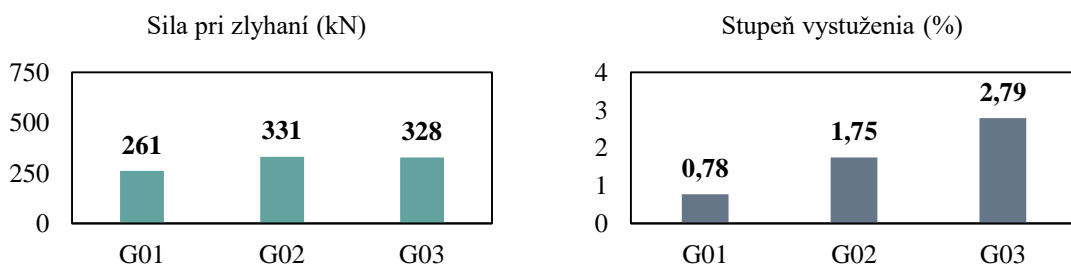
Komparatívna analýza správania dosiek vystužených GFRP výstužou pri experimentálnom skúšaní bola zameraná na porovnanie a zhodnotenie výsledkov získaných zo skúšok. Dosky boli navrhnuté s identickými parametrami, pričom každá doska mala rozdielny stupeň vystuženia G01 (0,78%), G02 (1,75%), G03 (2,78%). Osová vzdialenosť prútov pozdĺžnej výstuže dosiek bola 50, 80 a 170 mm. Požitý priemer prúta $\varnothing 16$ bol rovnaký pri všetkých troch vzorkách. Charakter porušenia všetkých dosiek bol rovnaký bez ohľadu na rôzny stupeň vystuženia pozdĺžnou GFRP výstužou. Dosky zlyhali v pretlačení porušením v šikmej šmykovej trhline. Zlyhanie dosiek bolo náhle a malo krehký charakter porušenia.

Tabuľka 2 Vyhodnotenie dosiek a charakter porušenia

Názov vzorky	Osová vzdialenosť pozdĺžnej výstuže	Stupeň vystuženia	Sila pri zlyhaní	Charakter porušenia dosky
	a (mm)	(%)	(kN)	
G01	180	0.78	261	Pretlačenie v šikmej šmykovej trhline
G02	80	1.75	331	
G03	50	2.79	328	

6.2. Odolnosť dosiek

Z experimentálneho pozorovania je zrejmé, že charakter porušenia všetkých troch dosiek bol rovnaký. Dosky zlyhali v pretlačení porušením v šikmej šmykovej trhline. Odolnosť dosiek G02 (331 kN) a G03 (328 kN) bola skoro rovnaká, pričom stupeň vystuženia dosky G02 (1,8%) bol o 38% nižší ako doska G03 (2,8%).



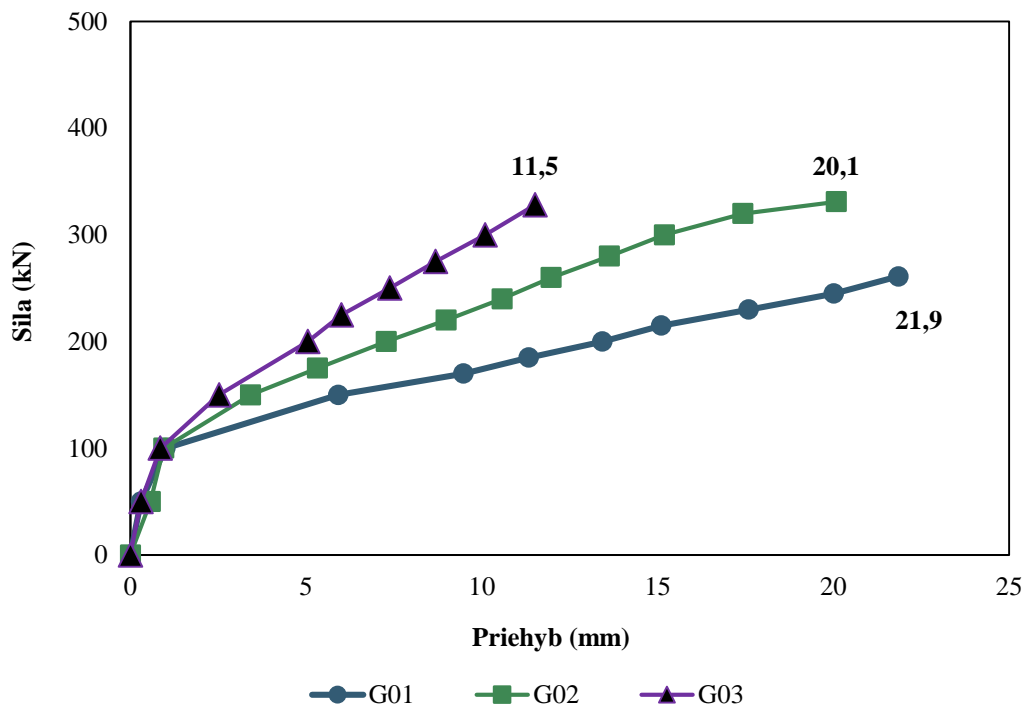
Obrázok 6.1 Porovnanie stupňa vystuženia a odolnosti dosiek G01-03

Odolnosť lokálne podopretých dosiek vystužených pozdĺžnou GFRP výstužou narastá so zväčšujúcim sa stupňom vystuženia, avšak iba po hodnotu 1,75%, pričom ďalšie zvyšovanie stupňa vystuženia neprináša adekvátny prírastok odolnosti proti pretlačeniu.

6.3. Priehyb dosiek

Z výsledkov merania LVDT snímačov sa dá pozorovať závislosť zaťaženia a priehybu v strede dosky. Deformácie namerané LVDT snímačmi boli očistené o posun tyčí.

Priehyb v strede dosky

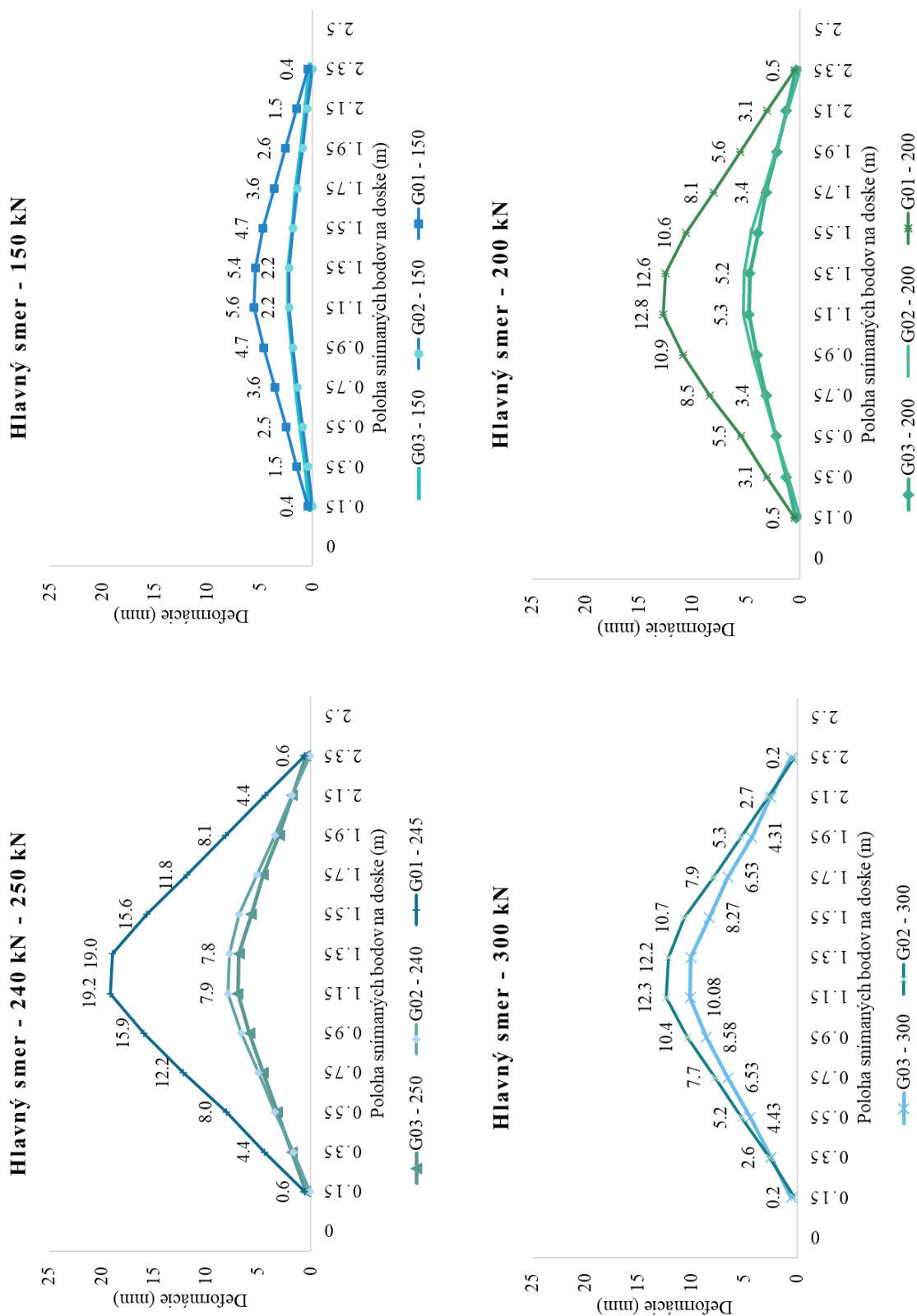


Obrázok 6.2 Priehyby v strede dosiek G01, G02, G03

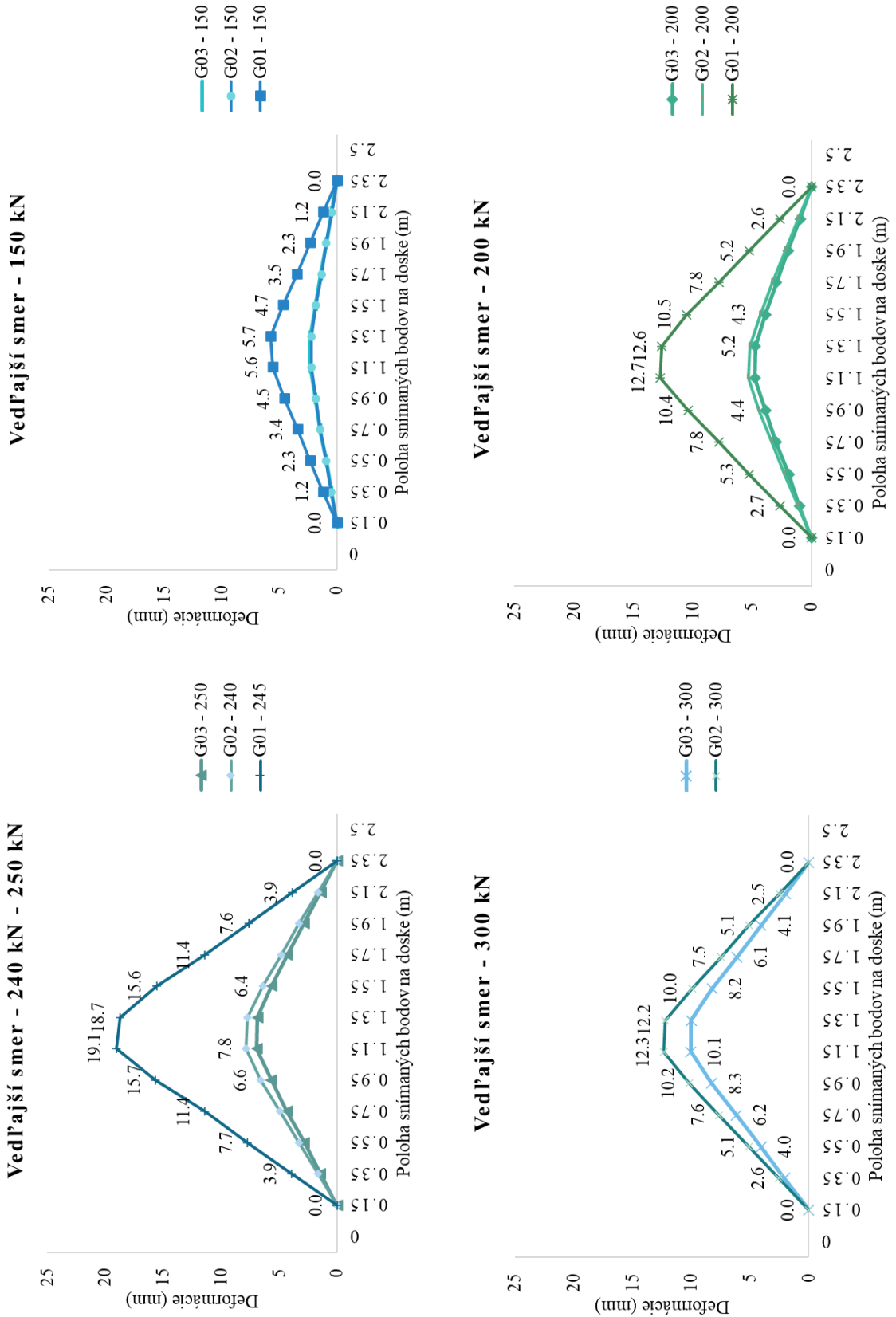
6.3.1.1. Zvislé deformácie z fotogrametrickeho merania

Zvislé deformácie sa merali zároveň aj pomocou fotogrametrie pomocou RAD terčikov nalepených na hornom povrchu dosky. Na nasledujúcich grafoch jej vidieť závislosť nameraných deformácií po dĺžke dosky v dvoch navzájom kolmých smeroch. Posledné meranie vo výsledkoch priehybov z fotogrametrie nie sú hodnoty deformácií, pri ktorých dosky zlyhali, ale hodnoty, pri ktorých bolo vyhotovené posledné meranie.

6.4. Porovnanie priehybov z fotogrametrie



Obrázok 6.3 Porovnanie zvislých deformácií na doske pre jednotlivé zaťažovacie kroky - Hlavný smer, os 1-3

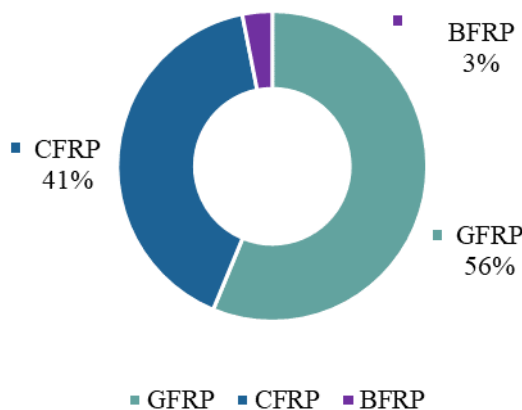


Obrázok 6.4 Porovnanie zvislých deformácií na doske pre jednotlivé zaťažovacie kroky - Vedľajší smer, os 2-

6.4.1. Databáza zahraničných experimentov doplnená o vlastné výsledky

V tejto kapitole je zostavená rozsiahla databáza zahraničných experimentov lokálne podopretých dosiek vystužených FRP výstužou v pretlačení od rôznych autorov. [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9] [10] [11] [12] Táto databáza je doplnená o vlastné výsledky odskúšaných fragmentov dosiek s GFRP výstužou. Databáza pozostáva celkovo zo 192 odskúšaných dosiek, čo pokrýva rozsiahle spektrum rôznych skúmaných parametrov.

Na nasledujúcich grafoch môžeme vidieť parametre experimentálne odskúšaných dosiek zahraničných výskumných programov od rôznych autorov. Celkovo bolo porovnaných 6 parametrov: modul pružnosti FRP výstuže, rozmer stĺpa, účinná výška, pevnosť betónu, percento vystuženia a rozmer dosiek.



Obrázok 6.5 Percentuálne zastúpenie typu použitej výstuže v databáze lokálne podopretých dosiek

6.4.2. Spol'ahľivosť návrhových modelov

Kapitola pojednáva o štatistickom vyhodnotení návrhových modelov na základe zostavenej databázy experimentálnych výskumov vo svete. Priemerné hodnoty vyhodnotených pomerov, smerodajné odchýlky a koeficienty variácie sú porovnané v nasledujúcej tabuľke.

Z porovnania grafov sa javí, že jednoznačne najkonzervatívnejší návrhový prístup pre stanovenie odolnosti v pretlačení je model podľa americkej smernice ACI440. Americká smernica mala smerodajnú odchýlku rovnú 0,87, čo je najvyššia hodnota zo všetkých skúmaných návrhových prístupov. Priemerná hodnota pomeru odolností $V_{\text{experiment}} / V_{\text{design}}$ dosahovala až 2,2.

Podľa britskej normy BS8110 bol vyhodnotený koeficient variácie s hodnotou 36,3%. Na obrázku je možné vidieť veľký rozptyl výsledkov od referenčnej priamky.

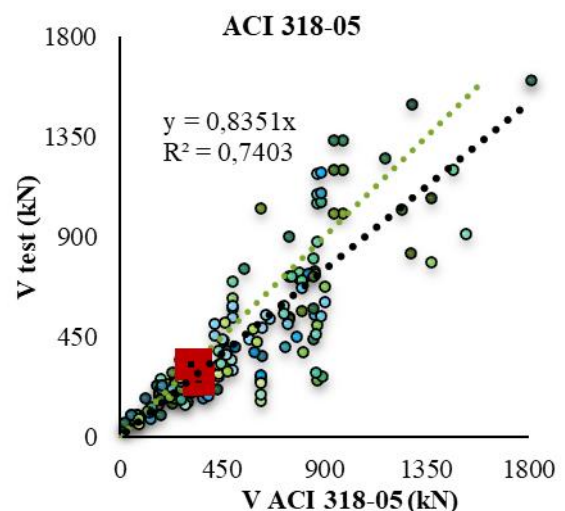
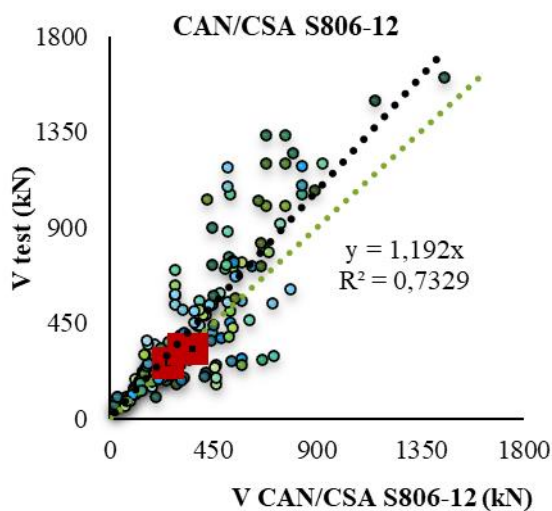
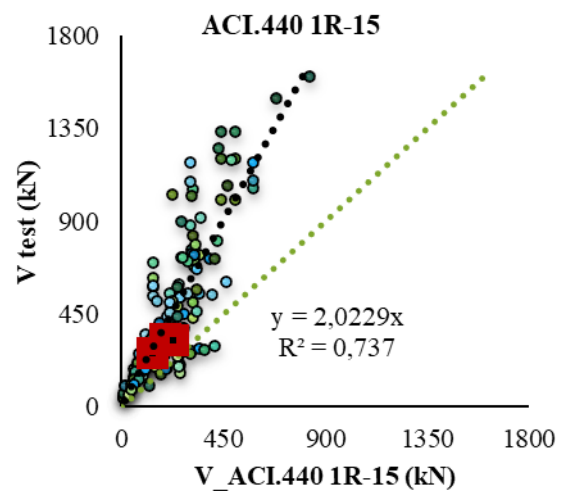
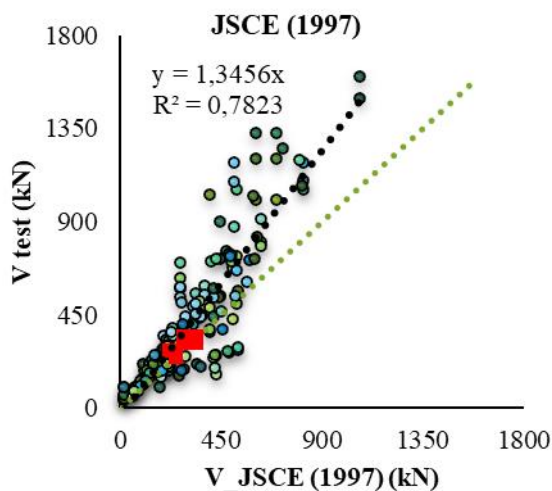
Najnižšia priemerná hodnota pomeru odolností je od autorov El-Gamal a El-Ghandour. Tá je rovnaká pre oba prístupy s hodnotou 0,7, a teda dá sa konštatovať, že tieto dva prístupy sú nebezpečné pre navrhovanie. Smernica trendovej spojnice výsledných pomerov odolností podľa prístupu od Gamala má hodnotu len 0,6647, čo je najnižšia zo všetkých skúmaných modelov. Minimálna hodnota pomeru dosahuje aj 0,2, čo už reprezentuje extrémne

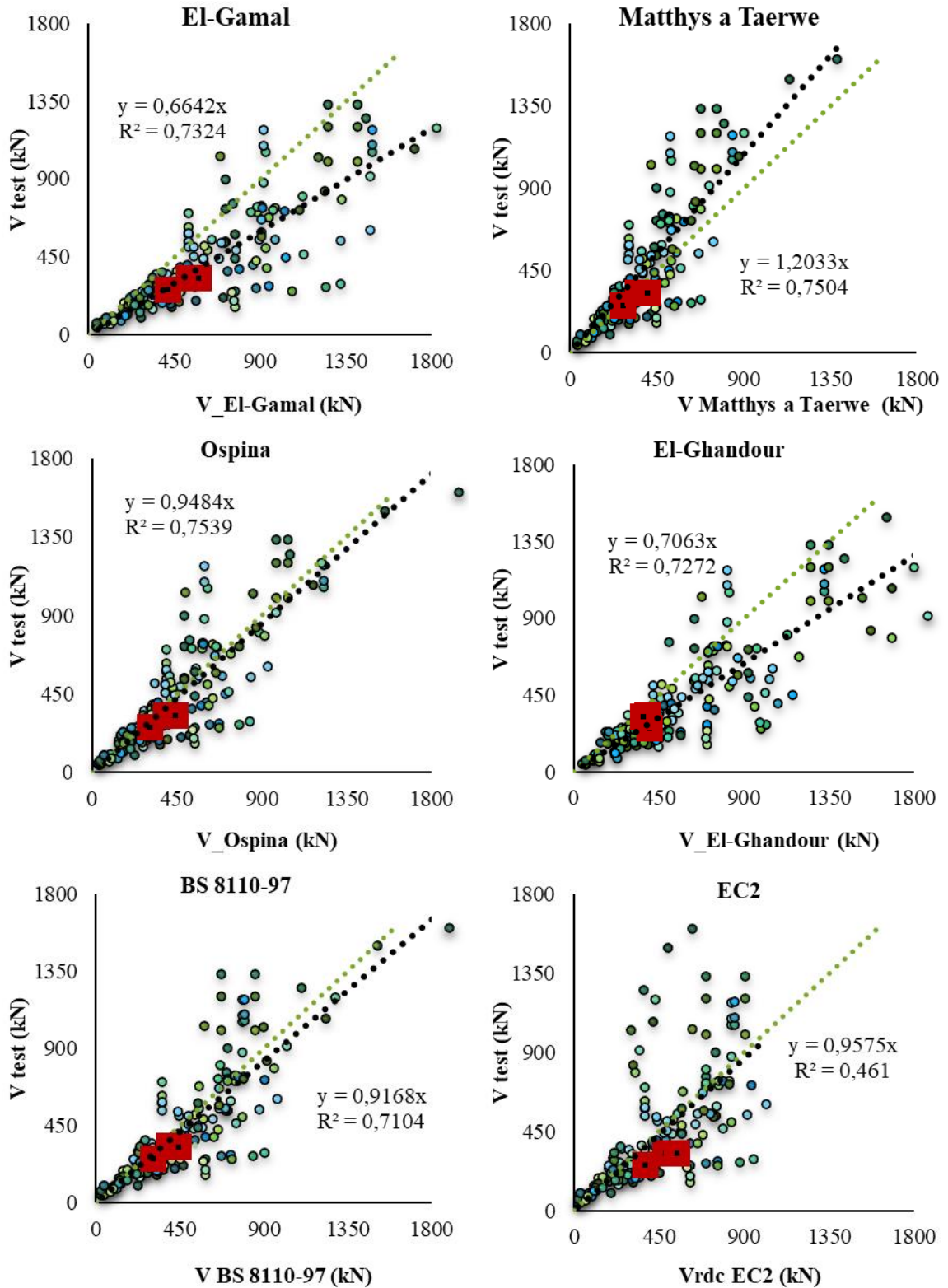
podhodnotenie návrhu. Model s najnižšou smerodajnou odchýlkou bol návrhový prístup od autora El-Gamal, s hodnotou 0,22.

Z predkladaného porovnania môžeme konštatovať, že výsledné hodnoty odolností proti pretlačeniu sa pre rôzne návrhové prístupy líšia, a teda spoľahlivosť návrhových modelov je veľmi nesúrodá, keďže pomer bezpečných a nebezpečných návrhov je zhruba 1:1.

6.4.3. Analýza databázy podľa návrhových modelov

Kapitola skúma vyhodnotenie spoľahlivosti návrhových modelov na výpočet lokálne podopretých stropných dosiek vystužených FRP výstužou na základe databázy zahraničných experimentov. Na nasledujúcich grafoch je porovnanie analytických modelov pre stanovenie odolnosti lokálne podopretých dosiek s odolnosťami overených dosiek zahraničných experimentálnych výskumov. Na základe porovnania pomeru odolností v pretlačení experimentálnych výsledkov je zobrazená spoľahlivosť analytických modelov. Zvislú os reprezentuje odolnosť v pretlačení V_{test} (kN) experimentálne analyzovaných dosiek, pričom vodorovná os reprezentuje výpočtovú odolnosť V_{design} (kN), ktorá bola stanovená na základe návrhového prístupu. Jednotlivé modely môžeme považovať za spoľahlivé, ak pomer V_{test} / V_{design} má hodnotu $\approx 1,0$ a viac.





Obrázok 6.6 Pomer odolností v pretlačení experimentálne analyzovaných dosiek ku odolnosti podľa návrhových prístupov

6.4.4. Parametrická štúdia

Cieľom kapitoly je skúmanie vplyvu parametrov na predikciu odolnosti modelov pre návrh lokálne podopretých dosiek s FRP výstužou. Pri návrhu betónových prvkov vystužených FRP výstužou je nutné zvážiť faktory, ktoré ovplyvňujú výslednú odolnosť.

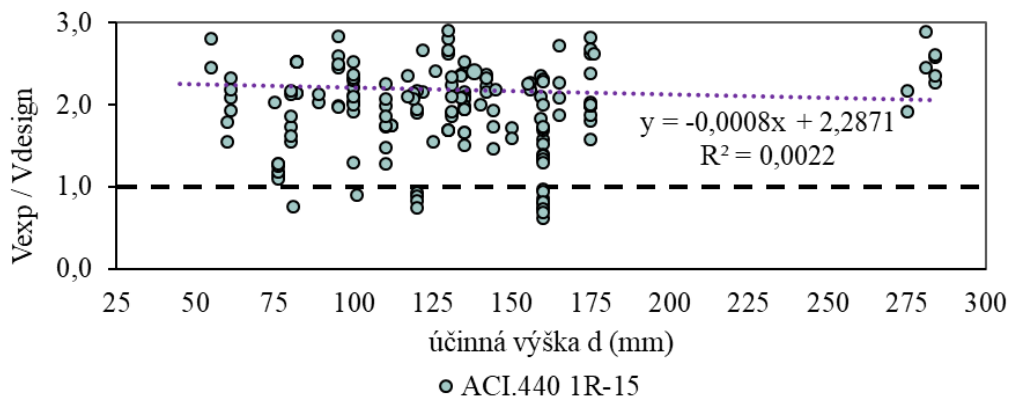
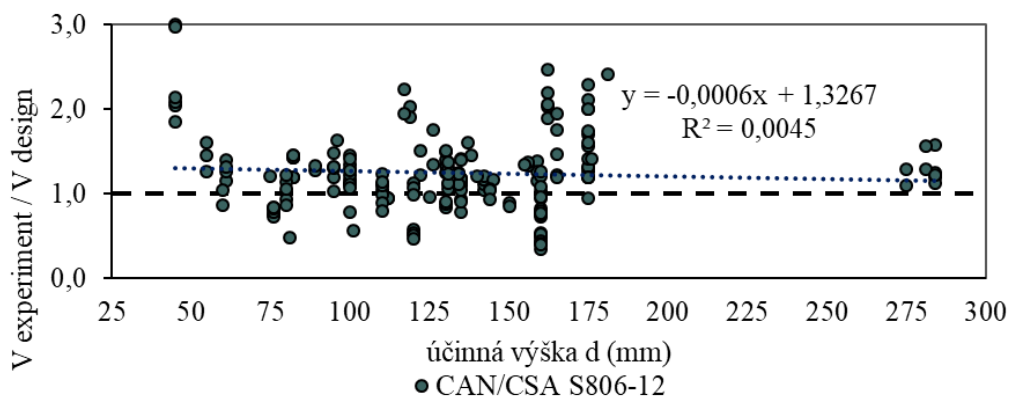
Pre zhodnotenie vplyvu parametrov na odolnosť dosiek proti pretlačení bola vytvorená parametrická štúdia. Jednotlivé parametre boli skúmané z dôvodu porovnania vplyvu na hodnotu pomeru $V_{\text{experiment}} / V_{\text{design}}$.

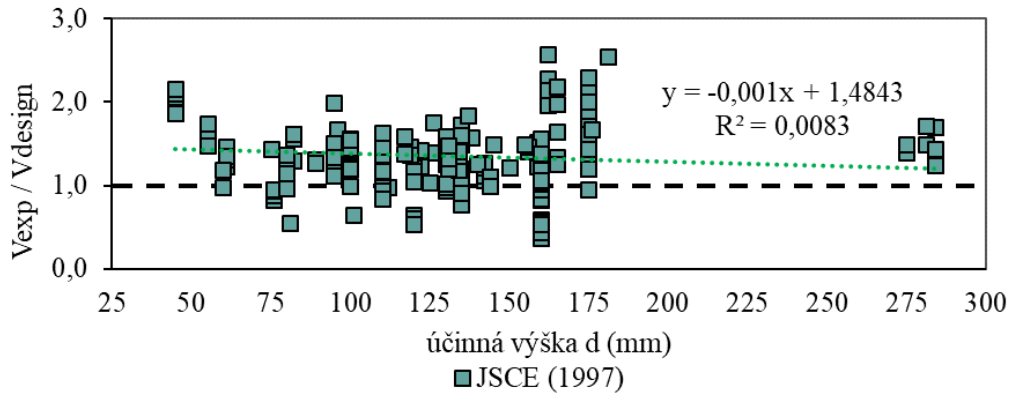
Pre účel porovnania vplyvu na odolnosť v pretlačení boli zvolené nasledovné parametre:

- účinná výška dosky,
- pevnosť betónu,
- stupeň vystuženia,
- modul pružnosti pozdĺžnej výstuže,

6.4.4.1. Efekt účinnej výšky

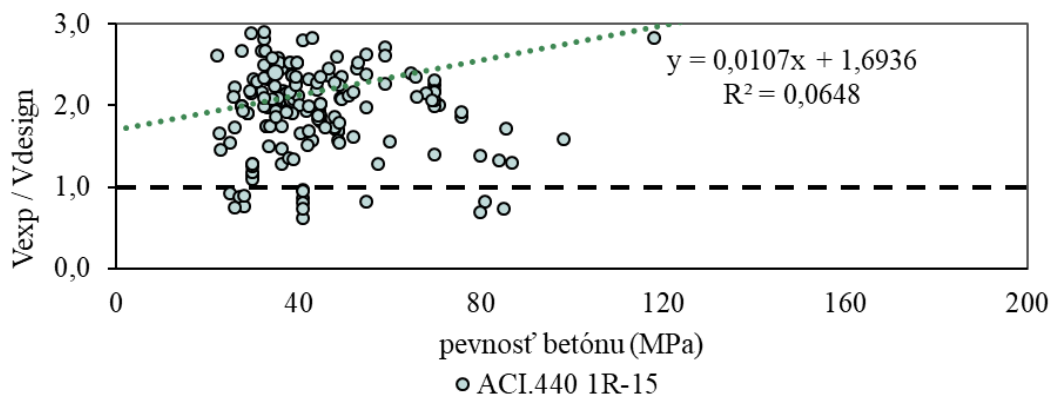
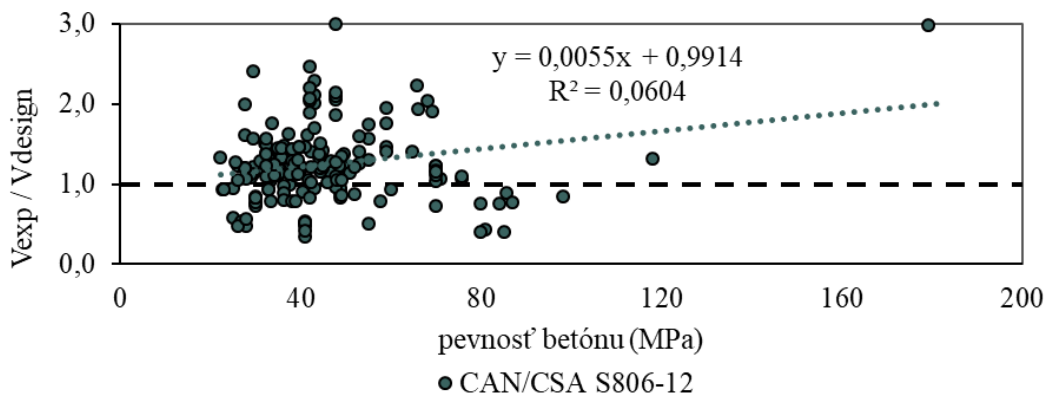
Hodnoty, ktoré porovnávajú navzájom pomer odolností s účinnou výškou pre vybrané experimenty lokálne podopretých dosiek sú zobrazené na nasledujúcich grafoch. Na vodorovnej osi sú účinné výšky betónových dosiek z databázy. Výsledky nachádzajúce sa pod hodnotou 1,0 sú odvážnejšie a nadhodnocujú odolnosť v pretlačení, pričom hodnoty nad osou sú viac konzervatívne. Majoritné zastúpenie odskúšaných dosiek malo účinnú výšku menšiu ako 175mm vrátane. Menej ako 10 dosiek malo väčšiu účinnú výšku ako 175mm, a teda približne 275mm.

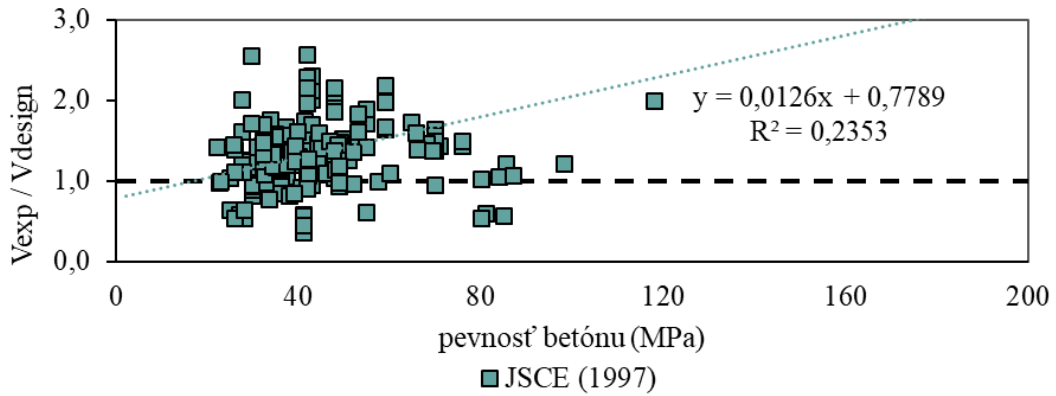




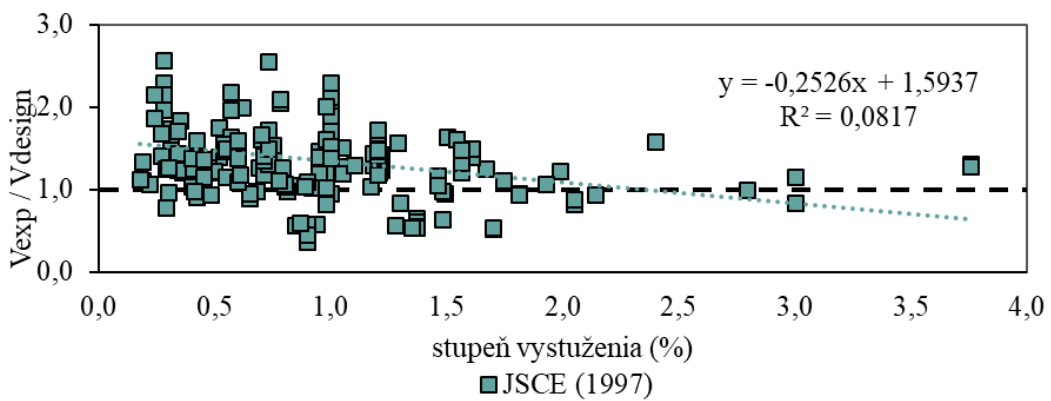
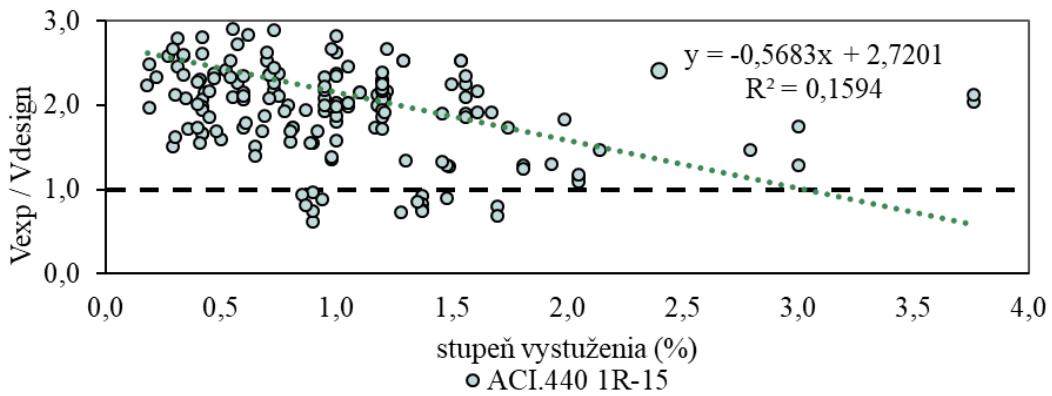
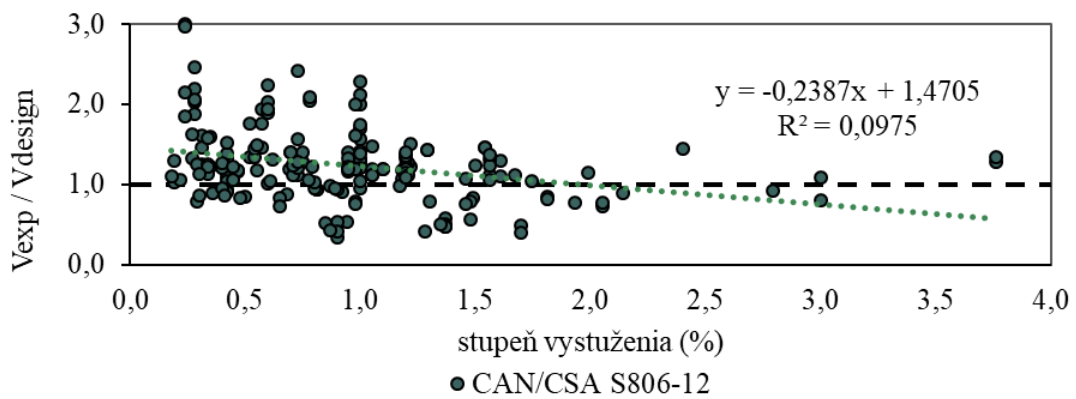
6.4.4.2. Efekt pevnosti betónu

Hodnoty, ktoré porovnávajú navzájom pomer odolností s pevnosťami betónu pre vybrané experimenty lokálne podpretých dosiek sú zobrazené na nasledujúcich grafoch. Na vodorovnej osi sú jednotlivé pevnosti betónu v MPa z databázy odskúšaných vzoriek. Majoritné zastúpenie dosiek malo hodnotu pevnosti betónu v tlaku 40 až 50 MPa. Výsledky nachádzajúce sa pod hodnotou 1,0 sú odvážnejšie a prehodnocujú odolnosť proti pretlačeniu, pričom hodnoty nad osou sú konzervatívne a bezpečné. Smernica ACI 440 sa javí ako prístup, ktorý je najviac konzervatívny a podhodnocuje výpočtovú odolnosť voči reálnym odolnostiam z experimentov.

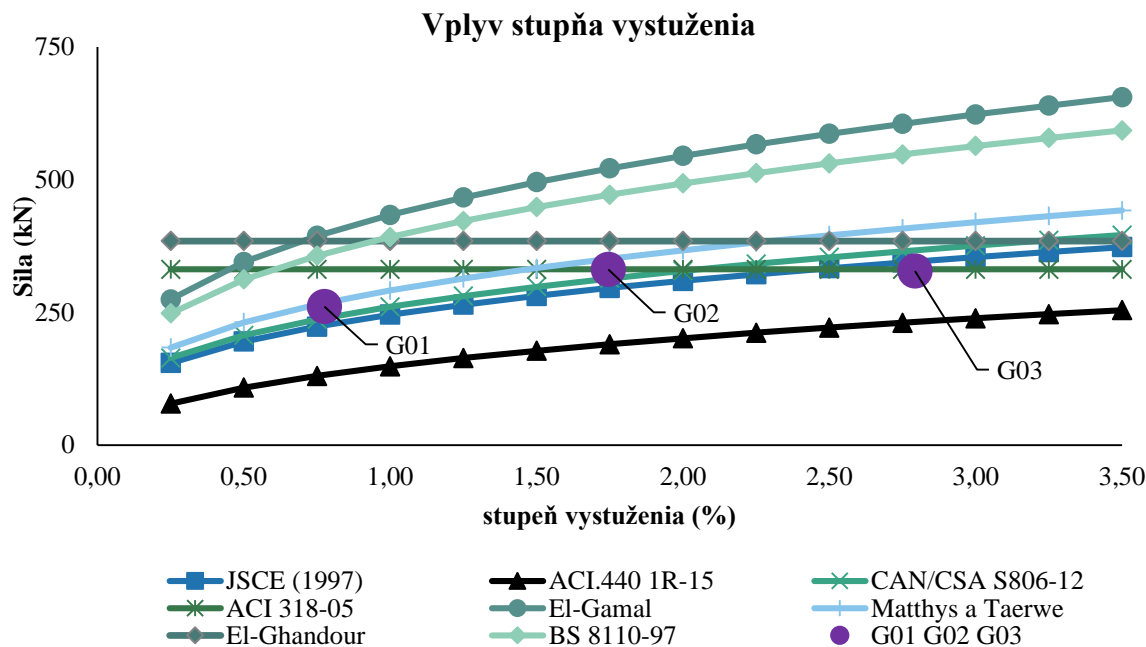




6.4.4.3. Efekt stupňa vystuženia



Všetky prístupy okrem modelov podľa autora El-Ghandour a americkej smernice ACI 318-05 majú klesajúcu tendenciu. S nárastom stupňa vystuženia klesá hodnota pomeru odolností. Najkonzervatívnejší prístup je podľa americkej smernice ACI 440.



Obrázok 6.7 Porovnanie vplyvu stupňa vystuženia s experimentálne odskúšanými doskami G01-03

7. Závery

7.1. Prínos pre rozvoj vedného odboru

Na základe experimentálneho programu a komparatívnej analýzy vieme konštatovať nasledovné závery a zistenia:

- Charakter porušenia skúšaných dosiek (G01-03) bol rovnaký bez ohľadu na rôzny stupeň vystuženia pozdĺžnou GFRP výstužou. Dosky zlyhali v pretlačení porušením v šikmej šmykovej trhline.
- Odolnosť dosiek G02 (331 kN) a G03 (328 kN) bola skoro rovnaká, pričom stupeň vystuženia dosky G02 (1,8%) bol o 38% nižší ako doska G03 (2,8%). Odolnosť dosky G01 (0,8%) bola len o 20% nižšia ako zvyšné dve dosky s vyšším stupňom vystuženia.
- Stupeň vystuženia má významný vplyv na odolnosť v pretlačení. Avšak po dosiahnutí určitého limitu sa nárast odolnosti stáva menej výrazným a ďalej neprispieva k vyššej odolnosti dosiek. Tento jav bol porovnaný s experimentálne odskúšanými doskami G01-03. Hypotéza bola pri odskúšaných doskách potvrdená. Na základe experimentálneho programu sa dá predpokladať, že hodnota, kedy už nie je výhodné zvyšovať stupeň vystuženia je 1,75%.

- Zvyšovaním stupňa vystuženia od určitej hodnoty neprispieva k zvýšeniu odolnosti dosky, ale len k obmedzeniu deformácií.

7.2. Odporúčania pre ďalší výskum

Na základe výsledkov dizertačnej práce a uchopenia problematiky, by bolo možné uviesť niekoľko odporúčaní pre ďalší výskum v danej oblasti:

- Experimentálne overenie použitia rôznych priemerov výstuže pre pretlačenie lokálne podopretých dosiek. Okrem iného by bolo vhodné overiť aj rôznu povrchovú úpravu výstuže.
- Experimentálne overenie zvýšenia odolnosti v pretlačení s použitím šmykovej výstuže.
- Použitie vysokopevnostného betónu. Overenie predpokladu / hypotézy „zastropovania“ odolnosti v pretlačení pre vyššie pevnostné triedy betónu ako to majú uvedené niektoré návrhové modely (japonská norma JSCDE, kanadská norma CSA)
- Použitie rôznych typov nekovových výstuží (CFRP, AFRP, GFRP,...) pre skúmanie vplyvu modulu pružnosti výstuže na odolnosť v pretlačení.
- Experimentálne overiť rôzne skúmané parametre výseku lokálne podopretých dosiek vystužených FRP výstužou a to konkrétne: hrúbka dosky – účinná výška, rozmer a tvar stĺpa, pevnosť betónu, rozmer dosky, ...
- Skúmanie vplyvu rozmiestnenia otvorov pre dosky vystužené FRP výstužou.

8. Zoznam použitej literatúry

- [1] N. Banthia, M. Al-Asaly, S. Ma, Behavior of concrete slabs reinforced with fiber-reinforced plastic grid, *Journal of Materials in Civil Engineering* 7 (1995).
- [2] S. El-Gamal, E. El-Salakawy, B. Benmokrane, Behavior of concrete bridge deck slabs reinforced with fiber-reinforced polymer bars under concentrated loads, *ACI Structural Journal* 102 (2005) 727–735.
- [3] A.W. El-Ghandour, K. Pilakoutas, P. Waldron, Punching shear behavior of fiber reinforced polymers reinforced concrete flat slabs: experimental study, *Journal of Composites for Construction* 7 (2003) 258–265.
- [4] Nguyen-Minh, L. and Rovňák, M. (2012) Punching Shear Resistance of Interior GFRP Reinforced Slab-Column Connections. *Journal of Composites for Construction* 17 (1), 2-13.
- [5] S. Matthys, L. Taerwe, Concrete slabs reinforced with FRP grids. II: punching resistance, *Journal of Composites for Construction* 4 (2000).
- [6] C.E. Ospina, S.D.B. Alexander, J.J.R. Cheng, Punching of twoway slabs with fiber-reinforced polymer reinforcing bars or grids, *ACI Structural Journal* 100 (2003).
- [7] Q. Zhang, H. Marzouk, A. Hussein, Preliminary study of highstrength concrete two-way slabs reinforced with GFRP bars, in: *Proceedings of the 33rd CSCE*

- Annual Conference: General Conference and International History, Symposium, 2005, pp. 1–.
- [8] J.H. Lee, S.Y. Yoon, W.D. Cook, D. Mitchell, Improving punching shear behavior of glass fiber-reinforced polymer reinforced slabs, *ACI Structural Journal* 106 (2009) 427–434..
- [9] A.H. Rahman, C.Y. Kingsley, K. Kobayashi, Service and ultimate load behavior of bridge deck reinforced with carbon FRP grid, *Journal of Composites of Construction* 4 (2000) 16–23..
- [10] A. Hussein, I. Rashid, Two-way concrete slabs reinforced with GFRP bars, in: *Proceedings of the 4th International Conference on Advanced Composite Materials in Bridges and Structures*, Calgary, Alberta, 2004.
- [11] A.E. Zaghoul, A.G. Razaqpur, Punching shear behavior of CFRP reinforced concrete flat plates, in: D. Bruno, G. Spadea, R.N. Swamy (Eds.), *Proceedings of the international conference on, composites in construction*, 2003, pp.1–726..
- [12] Z. Ramzy, Z. Mahmoud, T. Salma, Punching behavior and strength of two-way concrete slab reinforced with glass-fiber reinforced polymer (GFRP) rebars, in: *Structural Composites for Infrastructures Applications Conference*, Hurghada, Egypt, 2007..
- [13] L. MAJTÁNOVÁ, Maximálna odolnosť v pretlačení lokálne podopretých dosiek so šmykovou výstužou, Bratislava, 2017.
- [14] O. KESELI, Zosilňovanie lokálne podopretých stropných dosiek na účinky pretlačenia dodatočne vloženou šmykovou výstužou, Bratislava, 2018, p. 163.
- [15] T. AUGUSTÍN, Pretlačenie lokálne podopretých dosiek s otvormi, Bratislava, 2018.
- [16] M. BOLEŠOVÁ, Vplyv histórie zaťažovania na účinnosť zosilnenia lokálne podopretej stropnej dosky dodatočne vloženou šmykovou výstužou, 2022.
- [17] F. Bartlett, „Canadian Standards Association standard A23.3-04 resistance factor for concrete in compression. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 34. 1029-1037. 10.1139/107-034.,“ 2011.
- [18] ACI Committee 318, *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*. ACI 318-11, American Concrete Institute, Farmington Hills, 2011.
- [19] British Standards Institution, *Structural Use of Concrete*, BS8110: Part 1 - Code of Practice for Design and Construction, London, 1997.
- [20] ACI Committee 440, *Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars*. ACI 440.1R-06, American Concrete Institute, Farmington Hills, 2006.
- [21] C. Dulude, M. Hassan, E. A. Ahmed, a B. Benmokrane, “Punching shear behavior of flat slabs reinforced with glass fiber-reinforced polymer bars”, *ACI Struct. J.*, roč. 110, č. 5, s. 723–733, 2013, doi: 10.14359/51685826.
- [22] Q. Zhang, H. Marzouk, A. Hussein, Preliminary study of highstrength concrete two-way slabs reinforced with GFRP bars, in: *Proceedings of the 33rd CSCE Annual Conference: General Conference and International History, Symposium*, 2005.
- [23] J.H. Lee, S.Y. Yoon, W.D. Cook, D. Mitchell, Improving punching shear behavior of glass fiber-reinforced polymer reinforced slabs, *ACI Structural Journal* 106 (2009).

- [24] A.H. Rahman, C.Y. Kingsley, K. Kobayashi, Service and ultimate load behavior of bridge deck reinforced with carbon FRP grid, *Journal of Composites of Construction* 4 (2000).
- [25] T. Hassan, S. Rizkalla, A. Abdelrahman, G. Tadros, Fiber reinforced polymer reinforcing bars for bridge decks, *Canadian Journal of Civil Engineering* 27 (2000).
- [26] A.E. Zaghoul, A.G. Razaqpur, Punching shear behavior of CFRP reinforced concrete flat plates, in: D. Bruno, G. Spadea, R.N. Swamy (Eds.), *Proceedings of the international conference on, composites in construction*, 2003.
- [27] K. Bouguerra, E.A. Ahmed, S. El-Gamal, B. Benmokrane, Testing of full-scale concrete bridge deck slabs reinforced with fiber-reinforced polymer (FRP) bars, *Construction and Building Materials* 25 (2011).
- [28] Z. Ramzy, Z. Mahmoud, T. Salma, Punching behavior and strength of two-way concrete slab reinforced with glass-fiber reinforced polymer (GFRP) rebars, in: *Structural Composites for Infrastructures Applications Conference*, Hurghada, Egypt, 2007.
- [29] „BENKO, V., BILČÍK, J., a kolektív.: Manuálu na navrhovanie GFRP výstuže do betónových konštrukcií. In *Manuál na navrhovanie GFRP výstuže do betónových konštrukcií*. 1. vyd. Bratislava: Slovenská komora stavebných inžinierov, 2015, ISBN 978-80-8076-117-2.No“.
- [30] „fib Bulletin No. 40 - FRP Reinforcement in RC Structures s prihliadnutím fib model Code 2010“.
- [31] „M. Hassan, E. Ahmed, and B. Benmokrane, “Punching-shear strength of normal and high-strength two-way concrete slabs reinforced with GFRP bars,” *Journal of Composites for Construction*, vol. 17, no. 6, pp. 1–12, 2013, doi: 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000424“.
- [32] „CSA S806-12: Design and Construction of Building Structure with Fibre-reinforced Polymers, resp. ISIS Canada – Reinforcing Concrete Structures with FRP.”“.
- [33] „JSCE (1997): Recommendation for Design and Construction of Concrete Structures Using Continuous Fiber Reinforcing Materials“.
- [34] fib Bulletin No. 40 - FRP Reinforcement in RC Structures s prihliadnutím fib model Code 2010.
- [35] CSA S806-12: Design and Construction of Building Structure with Fibre-reinforced Polymers, resp. ISIS Canada – Reinforcing Concrete Structures with FRP.
- [36] JSCE (1997): Recommendation for Design and Construction of Concrete Structures Using Continuous Fiber Reinforcing Materials.
- [37] M. Hassan, E. Ahmed, and B. Benmokrane, “Punching-shear strength of normal and high-strength two-way concrete slabs reinforced with GFRP bars,” *Journal of Composites for Construction*, vol. 17, no. 6, pp. 1–12, 2013, doi: 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000424.