

Posudek disertační práce

Autor práce: Ing. Ján Nováček
Název práce: Analýza zesilování železobetonových desek s ohledem na mezní stav protlačení
Studijní obor: P3607 Stavební inženýrství (nDK)
Oponent: prof. Ing. Jaroslav Halvonik, PhD.
 jaroslav.halvonik@stuba.sk

Datum zadání posudku: **13.12.2018**

Aktuálnost tématu disertační práce

Lokálne podopreté dosky patria k najviac používaným stropným konštrukčným systémom pri výstavbe obytných, ale najmä administratívnych objektov a parkovacích domov. Popri mnohým výhodám, majú tieto systémy aj isté statické nevýhody. K tým najdôležitejším patrí koncentrácia šmykových síl v okolí lokálnej podpory. Pri prekročení odolnosti dochádza v tejto oblasti k náhlemu, zlyhaniu (pretlačeniu), ktoré je obyčajne bez varovania. Lokálne zlyhanie zároveň sprevádza okamžitá zmena toku zaťaženia v konštrukcii smerom ku susedným podperám, kde môže nastať ďalšie preťaženie sprevádzané pretlačením. Takto sa pôvodne lokálna porucha môže šíriť po konštrukcii, ktorého dôsledkom je tzv. reťazové zrútenie. Krehký charakter zlyhania vyžaduje bezpečný návrh proti pretlačeniu a pri zistení akýchkoľvek nedostatkov je potrebné čo najskôr vykonať vhodné opatrenia. Medzi najpoužívanejšie opatrenia patrí zosilňovanie dosiek proti pretlačeniu. Dôvodom na zosilňovanie sú buď zistené chyby, ktoré vznikli v procese projektovania, príp. realizácie, napr. v Bratislave bolo od roku 2010 pre projekčné chyby zosilnených viac ako 10 administratívnych a obytných budov a jeden parkovací dom sa dokonca zrútil. Dôvodom môže byť ďalej zmena využitia objektu, pri ktorom napr. narastá veľkosť zaťaženia. Ak vezmeme do úvahy len bratislavskú štatistiku tak je zrejme, že dizertačná práca za veľmi aktuálna a získane poznatky sú priamo aplikovateľné v praxi.

Hodnocení:

☒ vynikající	☐ nadprůměrné	☐ průměrné	☐ podprůměrné	☐ slabé
--	--------------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------

Splnění cílů disertační práce

Doktorand si v práci vytýčil 3 základné ciele. Prvý cieľ je analýza zosilnenia proti pretlačeniu s použitím dodatočne vyrobených betónových hlavíc. Druhým cieľom bola analýza možnosti zosilnenia základových dosiek proti pretlačeniu s použitím dodatočne vlozenej šmykovej výstuže a tretí cieľ predstavovala prezentácia skúsenosti doktoranda s použitím rôznych normových modelov pri výpočte odolnosti proti pretlačeniu ako aj úvahy nad spôsobmi analýzy konštrukcií, pre získanie

vnútorných síl používaných pri overení proti pretlačeniu. Možno konštatovať, že všetky vytýčené ciele sa podarilo splniť.

V prípade prvého cieľa, doktorand na základe teoretických analýz vykonaných s použitím vhodného softvéru dokumentoval efektívnosť 3 rôznych spôsobov zosilnenia proti pretlačeniu lokálne podopretej dosky a to v závislosti od stupňa vystuženia nezosilnenej dosky. Jednalo sa o zosilnenie s nadbetonovanou vrstvou vystuženého betónu hrúbky 120 mm, s podbetónovanou hlavice hrúbky 200 mm a jednoduchým obetónovaním stĺpa po obvode hrúbky 150 mm. Pre vyššie stupne vystuženia 0,75% a 1,5% sa ako najúčinnější ukázala metóda s použitím podbetónovanej hlavice, v prípade dosky so stupňom vystuženia 0,25% to bola podľa očakávania nabetónovaná membrána. Získané poznatky doktorand použil pri návrhu hlavice reálnej konštrukcie, ktorá bola aj realizovaná, a v rámci ktorej uskutočnil rad meraní či už z hľadiska efektívnosti vnesenia predpínacej sily do spriahovacej výstuže, alebo monitoringu deformácií s použitím strunových deformetrov. Doktorand v práci preukázal v teoretickej rovine vysokú efektívnosť riešenia z hľadiska zvýšenia zaťažiteľnosti objektu.

Aj druhý cieľ práce doktorand splnil, keď sa nielen v teoretickej, ale aj praktickej rovine venoval technike zosilnenia základových dosiek proti pretlačeniu s použitím dodatočne vlozenej šmykovej výstuže, ktorá prechádza celou hrúbkou základovej dosky a je kotvená súčasne pomocou mechanickej kotvy pri neprístupnom povrchu dosky a injektovaným epoxidom priamo vo vrte. Ťahovými skúškami preukázal účinnosť kotvenia vlozenej výstuže a kvantifikoval jeho jednotlivé zložky. Na základe experimentov upravil vzťah medzi napätím v osadenej výstuži a šírkou trhliny. Pripravil technologický postup na osadenie výstuže pri zabránení prieniku tlakovej vody do priestoru nad doskou a uskutočnil dlhodobé merania síl vo vybratých kotvách osadených do základovej dosky.

Na základe výsledkov získaných z analýzy vplyvu nerovnomerného sadania objektu na šmykové zaťaženie v okolí stĺpov, ktoré je spôsobené rozdielnou napätosťou v základovej škáre výškovej časti a podnože a analýzy vplyvu usporiadania šmykovej výstuže v okolí stĺpa na stanovenie jej príspevku do odolnosti proti pretlačeniu podľa EC2 možno konštatovať, že doktorand splnil aj 3 cieľ práce.

Hodnocení:

☐ vynikající	☒ nadprůměrné	☐ průměrné	☐ podprůměrné	☐ slabé
-------------------------------------	---	-----------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------

Postup řešení problému – metody zpracování

Doktorandská práca má štandardnú štruktúru. Prvá časť (kap.2) je podrobne venovaná problematike pretlačenia či už z historického pohľadu, ale aj relevantných modelov pre predikciu odolnosti proti pretlačeniu. Významnú časť tejto kapitoly predstavuje rešerš metód na zosilnenie stropných a základových dosiek proti pretlačeniu. Trochu s rezervou by som bral údaje v tab.2.1, o percentuálnom vyjadrení maximálneho zvýšenia odolnosti proti pretlačeniu, nakoľko tieto hodnoty boli určené častokrát na základe jednej výskumnej práce.

Ťažisko práce predstavujú kap.5 a kap.6. V kap. 5 sa doktorand venuje problematike zosilnenia stropných dosiek s použitím hlavice. Nakoľko nerobil deštruktívne experimenty spojené s pretlačením dosky opieral sa najmä o výsledky získané z nelineárnych analýz, vykonaných s programom Atena. Jedná sa o celosvetovo akceptovaný softvér na nelineárnu analýzu betónových konštrukcií a preto získané výsledky majú určite veľmi dobrú výpovednú hodnotu. Kalibráciu modelov robil s použitím experimentov vykonaných v na EPFL v Lausanne, ktoré prebehli pod vedením prof.Muttoniho. Experimenty boli robené na výsekoch lokálne podopretých dosiek bez šmykovej výstuže, pričom dosky sa líšili stupňom vystuženia. Po kalibrácii modelov

v programe Atena, kde kritériami bola dosiahnutá odolnosť a závislosť $V-\psi$, doktorand modely upravil tak, aby nasimuloval zosilnenie experimentálnych dosiek. Modely zosilnených dosiek potom opäť zaťažoval do porušenia. Výsledky získané z tejto analýzy boli ďalej využívané ako experimentálne výsledky a porovnávané napr. s odolnosťami získanými z relevantných normových modelov. Tento spôsob výskumu možno považovať za prijateľný, aj keď v tomto prípade sa robila skôr extrapolácia výsledkov. Preto by bolo určite zaujímavé vykonať priamo laboratórny test aspoň na modeli so spriahnutou hornou železobetónovou membránou. V každom prípade doktorand s použitím programu Atena vytvoril virtuálne laboratórium, ktoré mu umožnilo skúmať 3 rôzne spôsoby zosilnenia - horná žb. membrána, dolná žb. hlavica a obetónovaný stĺp, ako aj napr. vplyv spriahnutia na výslednú odolnosť vyšetrovaných dosiek.

Skúsenosti získané s aplikáciou nelineárnej analýzy doktorand využil pri návrhu zosilnenia proti pretlačeniu reálnej konštrukcie. Zosilnenie bolo realizované s použitím dodatočne vyrobenej spodnej hlavice. Dlhodobý monitoring zameraný na napätosť hlavice potvrdil správnosť teoretických predpokladov.

V kap.6 sa doktorand venoval zosilňovaniu základových dosiek proti pretlačeniu s použitím dodatočne vlozenej šmykovej výstuže kotvenej kombináciou súdržnosti a mechanického kotvenia. V rámci práce vykonal niekoľko experimentálnych meraní in-situ, ktoré mu umožnili stanoviť ťahovú únosnosť kotiev s pohľadom kapacity v kotvení a reálnu závislosť medzi roztvorením šmykovej trhliny a napätím v kotve. Pre overenie teoretických predpokladov uskutočnil dlhodobé merania síl v kotvách s použitím tenzometrov. Nakoľko doktorand nemal k dispozícii predikciu síl v kotvách, merania mali skôr charakter monitoringu účinnosti kotvenia vybraných kotiev počas sledovaného obdobia.

Hodnocení:

☐ vynikající	☒ nadprůměrné	☐ průměrné	☐ podprůměrné	☐ slabé
-------------------------------------	---	-----------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------

Význam disertační práce pro praxi a pro rozvoj vědního oboru

Dizertačná práca ma veľký prínos najmä pre prax, čo potvrdzujú a priame aplikácie v reálnych konštrukciách. Práca prináša odporúčania pre výber techník zosilnenia konštrukcií v závislosti od konštrukčného riešenia a podmienok stavebného objektu. Doktorand venoval pozornosť nielen návrhu zosilnenia, ale aj technológií jeho prevedenia. Za prínos pre prax považujem aj poznámky ku spôsobu započítavania šmykovej výstuže do odolnosti proti pretlačeniu pri aplikácii návrhových vzťahov z normy EN1992-1-1, ale najmä pripomienky ku analýze účinkov zaťaženia na lokálne podopreté dosky u objektov s nerovnomerným sadaním jednotlivých častí konštrukcie.

Z pohľadu rozvoja vedného oboru je veľmi cenný rešerš technik zosilňovania dosiek proti pretlačeniu a ďalej kapitola venovaná nelineárnemu modelovaniu betónových konštrukcií so zameraním sa na pretlačenie. Tiež je zaujímavé zistenie, že rozdielne zmrašťovanie medzi starým betónom dosky a novým betónom hlavice má zanedbateľný vplyv na odolnosť zosilnenej dosky pri pretlačení.

Hodnocení:

☐ vynikající	☒ nadprůměrné	☐ průměrné	☐ podprůměrné	☐ slabé
-------------------------------------	---	-----------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------

Formální úprava disertační práce a její jazyková úroveň

Dizertačná práca je spracovaná na výbornej grafickej úrovni, obrázky a tabuľky sú dobré čitateľné. V práci som nezaregistroval žiadne významné preklepy a aj keď čeština nie je môj rodný jazyk, formulácie a použité odborné výrazy mi nerobili žiadne problémy. Z pohľadu gramatiky mi

neprináleží hodnotiť úroveň práce. Pre lepšiu čitateľnosť by som odporúčal v budúcnosti použiť iné riadkovanie textu (miesto 1,15 hodnotu 1,5).

Hodnocení:

☐ vynikající	☒ nadprůměrná	☐ průměrná	☐ podprůměrná	☐ slabá
-------------------------------------	---	-----------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------

Hodnocení publikační a jiné činnosti doktoranda

Z hľadiska publikačných aktivít doktorandov, ktorých dizertačné práce sú z v oblasti navrhovania betónových konštrukcií, považujem publikačnú činnosť doktoranda za nadpriemernú. Ma jeden časopisecky výstup v databáze WOS a 6 konferenčných príspevkov v databáze Scopus.

Hodnocení:

☐ vynikající	☒ nadprůměrná	☐ průměrná	☐ podprůměrná	☐ slabá
-------------------------------------	---	-----------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------

Poznámky a připomínky k textu práce

- Str.13 $k_{dg} \geq 0,75$
- Str.18 hore a_v – šmykové rozpätie, zohľadňuje skôr vplyv štíhlosti, než size effect.
- Str.31 odstavec hore. Dôvody uvedené prečo sa nerealizujú experimenty so zosilnením pomocou hlavice nepovažujem za celkom správne. Práve zistenie závislosti $V-\psi$, vplyvy reológie sa dajú najlepšie vyšetrovať na experimentoch.
- Str.47 Lomová energia, prečo nebol použitý vzťah z posledného Model Codu 2010?
- Str.48 Vzorec 5.4 predstavuje kritérium zlyhania a preto si myslím, že nepopisuje „základne chovanie mechanického modelu“
- Str.49 dole Označenie CSCT pre Model Code 2010 model nie je celkom šťastné. Nakoľko základný model s označením CSCT, ktorý bol publikovaný Muttonim (2008), má iné kritérium zlyhania ako Model Code 2010.
- Str.50. Aký betón bol použitý pre hlavice? Ak rovnaký ako má základná doska, potom grafy $V-\psi$ bolo lepšie nahradiť $V/(b \cdot d \cdot \sqrt{f_c})$ vs ψ . Grafy $V-\psi$ sú skreslené rozdielnou pevnosťou betónu vzoriek.
- Str.51 Vzorce používane pre výpočet ψ v MC2010 sa nedajú len tak aplikovať na prvky s hlavicami, boli odvodené pre dosky konštantnej hrúbky a vystužené rovnako v rámci šmykového rozpätia dosky. Tu bolo potrebné použiť vzťah, ktorý je v práci na str.147 hore, s integráciou zohľadňujúcou meniacu sa ohybovú tuhosť v radiálnom a tangenciálnom smere. Ti iste platí aj pre modely odvodené z CSCT vyjadrené v uzavretom tvare.
- Str.51 tab.5.4, v stĺpci K_{NLFEM} nie je zrejme či vzorka zlyhala vo vnútri, alebo mimo hlavice. To isté tab.5.5. potrebné uviesť.
- Str.51 tab.5.4, v prípade dosky PG-2b predpokladám, že získaná odolnosť zodpovedá ohybovému porušeniu, pozri tiež str.55 odstavec pod obrázkom 5.31. Bolo vhodné uviesť.
- Str.51 tab.5.4, bola nejakým spôsobom zohľadnená história zaťažovania pri výpočte odolnosti proti pretlačeniu podľa jednotlivých návrhových modelov vo vnútri hlavice?
- Str.59, tab.5.7 doska PG-11-F. Dosiahnutá odolnosť bola vyššia ako pri pevnom spojení, pozri tab.5.4. Čím si to vysvetľujete.
- Str.64 Aký betón bol použitý pre nadbetónovanú membránu? Ak rovnaký ako mali jednotlivé vzorky, potom platí čo pre spodné hlavice.
- Str.96. Otázka pre doktoranda. Prečo pri dodatočne vlozenej výstuži kontrolujeme vytrhnutie betónového kužela, ale pri šmykových tržoch nie?
- Kap.6.3.1 Došlo pri vŕtaní základovej dosky k prevrtaniu dolnej výstuže?

- Obr.6.13 a obr.6.14, vodorovná os. Posun na osi zahříňa aj predĺženie výstuže, alebo ide o vytiahnutie tyče zo zálievky?
- Str.121 Ako sa da ešte eliminovať vplyv nerovnomerného sadania u výškových budov s podestami?
- Str.122, 1. odstavec, predposledný riadok. Aký má vplyv pretlačenie na stabilitu konštrukcie?
- Str.122 Čo myslel doktorand pod nejednoznačným výkladom návrhu 2.generácie normy EN1992-1-1?

Závěr

Dizertačnú prácu považujem za cenný príspevok v oblasti zosilňovania proti pretlačeniu lokálne podopretých dosiek a základových dosiek zaťažených koncentrovaným zaťažením.

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. Jánovi Nováčekovi

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

Datum: 13. února 2019

Podpis oponenta: