



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

NÁVRH VYZTUŽENÍ BETONOVÉ KONSTRUKCE POMOCÍ FRP VÝZTUŽE

DESIGN OF CONCRETE STRUCTURE USING FRP REINFORCEMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Kateřina Mrkvová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. VOJTĚCH KOSTIHA, Ph.D.

BRNO 2021



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav betonových a zděných konstrukcí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Kateřina Mrkvová
Název	Návrh vyztužení betonové konstrukce pomocí FRP výztuže
Vedoucí práce	Ing. Vojtěch Kostiha, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2020
Datum odevzdání	28. 5. 2021

V Brně dne 30. 11. 2020

prof. RNDr. Ing. Petr Štěpánek, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Výkresová dokumentace v nutném rozsahu – tvarové řešení, půdorysy, řezy, apod.

Platné předpisy a normy (včetně změn a oprav):

ČSN EN1990: Zásady navrhování konstrukcí;

ČSN EN1991-1 až 7: Zatížení stavebních konstrukcí;

ČSN EN1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí. Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby;

ČSN EN206+A1 Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda;

fib Bulletin no. 40: FRP reinforcement in RC structures;

ACI 440.1R-15: Guide for the design and construction of concrete reinforced with FRP bars;

CSA S806-12: Design and Construction of Building Structures with Fibre-reinforced Polymers.

Další literatura dle doporučení vedoucího bakalářské práce.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Pro zadanou konstrukci, resp. její dílčí část, proveďte statický výpočet a návrh vyztužení jak pro betonářskou výztuž, tak i pro alternativní vyztužení nekovovou kompozitní FRP výztuží. Práce bude obsahovat statický výpočet, návrhový postup pro FRP výztuž, výkres tvaru a výztuže dimenzované konstrukce, resp. její dílčí části. Ostatní činnosti spojené s tvorbou práce, případná zjednodušení provádějte v souladu s pokyny vedoucího bakalářské práce. Práce bude zpracována v rozsahu vědomostí, odpovídající znalostem posluchače bakalářského studijního programu.

Požadované výstupy:

Textová část (obsahuje informace o řešené konstrukci a ostatní náležitosti podle níže uvedených směrnic)

Přílohy textové části:

P1. Použité podklady

P2. Statický výpočet

P3. Výkresová dokumentace

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP (1x)

Popisný soubor závěrečné práce (1x)

Bakalářská práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).

2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

Ing. Vojtěch Kostíha, Ph.D.

Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je provést statický výpočet a návrh vyztužení deskové konstrukce ve dvou variantách. V první variantě je navržena betonářská výztuž, druhá varianta obsahuje alternativu v podobě kompozitní FRP výztuže při horním povrchu desky. Vnitřní síly lokálně podepřené desky jsou určeny pomocí softwaru SCIA Engineer a jejich správnost je ověřena metodou náhradních rámců. Součástí práce je krom statického výpočtu také výkresová dokumentace.

KLÍČOVÁ SLOVA

lokálně podepřená deska, metoda náhradních rámců, ocelová výztuž, kompozitní výztuž, FRP (Fiber Reinforced Polymer – vlákny vyztužené polymery)

ABSTRACT

The aim of the bachelor thesis is to carry out a structural design and design of reinforcement of a slab structure in two different variants. In the first one, typical reinforcing steel is used, the second variant is an alternative with composite FRP rebar by the top surface of the slab. Internal forces in the locally supported slab are analysed by SCIA Engineer software and the accuracy of the calculation is verified by equivalent frame method. The thesis includes structural design as well as drawings of reinforcement.

KEYWORDS

locally supported slab, equivalent frame method, steel reinforcement, composite reinforcement, FRP (Fiber Reinforced Polymer)

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Kateřina Mrkvová *Návrh vyztužení betonové konstrukce pomocí FRP výztuže*. Brno, 2021. 21 s., 105 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Vojtěch Kostih, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Návrh vyztužení betonové konstrukce pomocí FRP výztuže* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 18. 5. 2021

Kateřina Mrkvová
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Návrh vyztužení betonové konstrukce pomocí FRP výztuže* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 18. 5. 2021

Kateřina Mrkvová
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych touto cestou poděkovala především vedoucímu své bakalářské práce Ing. Vojtěch Kostih, Ph.D. za čas, který mi při konzultacích věnoval, za ochotu zodpovědět všechny mé dotazy a za cenné rady a velké množství poznatků a informací které mi předal.

Dále děkuji také své rodině a přátelům, kteří mě podporovali jak při zpracování bakalářské práce, tak i v průběhu celého studia.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

NÁVRH VYZTUŽENÍ BETONOVÉ KONSTRUKCE POMOCÍ FRP VÝZTUŽE

DESIGN OF CONCRETE STRUCTURE USING FRP REINFORCEMENT

TEXTOVÁ ČÁST

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Kateřina Mrkvová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. VOJTĚCH KOSTIHA, Ph.D.

BRNO 2021

OBSAH

1. ÚVOD.....	10
2. POPIS KONSTRUKCE	10
2.1. ZÁKLADOVÉ KONSTRUKCE.....	10
2.2. VODOROVNÉ KONSTRUKCE.....	10
2.3. SVISLÉ KONSTRUKCE	10
3. MATERIÁLY.....	11
4. ZATÍŽENÍ KONSTRUKCE	11
4.1. STÁLÉ ZATÍŽENÍ	11
4.2. PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ	11
5. KOMBINACE.....	12
6. VNITŘNÍ SÍLY	12
7. DIMENZOVÁNÍ DESKY	13
7.1. VARIANTA Č. 1 – OCELOVÁ VÝZTUŽ PŘI OBOU POVRŠÍCH	13
7.1.1. DOLNÍ VÝZTUŽ	13
7.1.2. HORNÍ VÝZTUŽ.....	13
7.2. VARIANTA Č. 2 – FRP VÝZTUŽ PŘI HORNÍM POVRCHU.....	14
7.2.1. HORNÍ VÝZTUŽ.....	14
8. STROVNÁNÍ VARIANT	14
9. ZÁVĚR	16
10. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	17
11. SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	19
12. SEZNAM PŘÍLOH	21

1. ÚVOD

Předmětem této bakalářské práce je návrh vyztužení lokálně podepřené betonové desky nad 1. NP administrativní budovy. Jsou provedeny dvě varianty vyztužení, v 1. variantě je stropní deska plně vyztužena betonářskou kovovou výztuží, ve 2. variantě je zachována betonářská ocelová výztuž pouze při dolním povrchu a při horním povrchu je navrženo vyztužení pomocí kompozitní FRP výztuže. Jako FRP materiál je použita sklolaminátová výztuž výrobce Schöck ComBAR®. Ta je oproti betonářské oceli odolná proti korozi, není magnetická ani nevede teplo a elektrický proud.

Ke stanovení vnitřních sil byl použit software SCIA Engineer, který pracuje na základě metody konečných prvků. Správnost modelu je ověřena ručním výpočtem pomocí metody náhradních rámců.

2. POPIS KONSTRUKCE

Jedná se o desetipodlažní administrativní budovu půdorysného tvaru písmene H. Vnější půdorysné rozměry jsou 44,4 x 46,85 m, ve středu ze dvou stran zmenšené o 10,725 x 13,5 m. Budova je samostatně stojící objekt.

Konstrukčně je budova tvořena jako deskový skelet z monolitického betonu. Stropní desky jsou lokálně podepřené systémem vnitřních a krajních sloupů, které pro celkové ztužení objektu doplňují železobetonové stěny a ztužující jádro.

2.1. ZÁKLADOVÉ KONSTRUKCE

Základovou konstrukci budovy tvoří základová deska s hlubinnými prvky – pilotami.

2.2. VODOROVNÉ KONSTRUKCE

Vodorovné nosné konstrukce budovy představují lokálně podepřené stropní desky. Ty jsou provedeny jako monolitické o konstantní tloušťce 300 mm. Deska je navržena jako spojitá a je vyztužena v obou směrech, při dolním i horním povrchu.

2.3. SVISLÉ KONSTRUKCE

Svislou nosnou konstrukci budovy tvoří rastr čtvercových železobetonových sloupů. Hrana vnitřního sloupu činí 550 mm, hrana vnějšího sloupu je 450 mm. Rozteč sloupů se pohybuje v rozmezí 7,115 m až 8,35 m (směr x) na 5,325 m až 5,71 m (směr y).

Ve středu půdorysu se nachází ztužující stěnové jádro tvořené monolitickými železobetonovými stěnami tloušťky 200 mm. Uvnitř jádra se nachází také dvě schodiště tvořené prefabrikovanými schodišťovými rameny uloženými na ozub stropních desek.

Konstrukční výška podlaží se liší pouze v 1. NP, kde činí 3,7 m, ve 2.-10. podlaží je konstrukční výška 3,5 m.

Svislé nenosné konstrukce tvoří hlavně výplňové zdivo z pórobetonu po obvodu konstrukce tl. 0,3 m. Vnitřní zděné příčky jsou také tvořeny pórobetonem, ale tl. 0,15 m.

3. MATERIÁLY

Jednotlivé varianty návrhu se liší právě použitým materiálem výztuže. V obou variantách je pro desku použit beton třídy C30/37. Použitá betonářská výztuž je B500B, kompozitní GRFP výztuž je od výrobce Schöck ComBAR®.

BETON C30/37 – XC2 – D_{max} = 16 mm – S3

$f_{ck} = 30$ MPa	charakteristická válcová pevnost betonu v tlaku
$f_{cd} = 20$ MPa	návrhová pevnost betonu v tlaku
$f_{ctm} = 2,9$ MPa	střední hodnota pevnosti betonu v tahu
$E_{cm} = 33$ GPa	modul pružnosti betonu
$\varepsilon_{cu3} = 3,5$ ‰	mezní poměrné přetvoření betonu

OCEL B500B

$f_{yk} = 500$ MPa	charakteristická mez kluzu oceli
$f_{yd} = 434,78$ MPa	návrhová mez kluzu oceli
$\varepsilon_{yd} = 2,17$ ‰	poměrné přetvoření při dosažení meze kluzu oceli
$E_s = 210$ GPa	modul pružnosti oceli

výztuž Schöck ComBAR® – průměr 12 mm

$f_{fk} = 1350$ MPa	charakteristická pevnost FRP výztuž v tahu
$f_{fd} = 1038,5$ MPa	návrhová pevnost FRP výztuže v tahu
$E_f = 60$ GPa	modul pružnosti FRP výztuže

4. ZATÍŽENÍ KONSTRUKCE

Zatížení konstrukce je uvažováno v souladu s příslušnými předpisy, především ČSN EN 1991 [1] [2].

4.1. STÁLÉ ZATÍŽENÍ

Stálé zatížení je uvažováno jak plošné na celou desku, tak liniové na konkrétní místa. V rámci plošného zatížení je uvažováno s vlastní tíhou desky, zatížením od podlahy a od střešního pláště. Liniové zatížení je na obvodu desky tvořeno zatížením od obvodového pláště, v místech zděných příček je uvažováno s liniovým zatížením od těchto zděných příček.

4.2. PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ

Proměnné zatížení je uvažováno jako plošné a je do něj zahrnuto současně užitné zatížení i zatížení od přemístitelných příček. Hodnota užitného zatížení je stanovena dle [1] a příslušné kategorie objektu. Pro kancelářské plochy je charakteristická hodnota užitného zatížení pro charakteristické podlaží 3 kN/m². Zatížení od přemístitelných příček, které je také zvoleno s ohledem na [1], je v charakteristické hodnotě uvažováno 0,8 kN/m².

Pro návrh rozměrů je také uvažováno se zatížením sněhem dle [2] a příslušné sněhové oblasti. Zatížení větrem bylo zanedbáno, a to s předpokladem, že ztužující jádro přenesení veškeré vodorovné účinky větru.

Proměnné zatížení je rozděleno do jednotlivých zatěžovacích stavů (plné, šachovnicové, po pásech), které fungují výběrově a je hledáno jeho nejnepříznivější umístění.

5. KOMBINACE

Pro stanovení nejhoršího účinku na konstrukci a hodnoty celkového zatížení jsou použity kombinační rovnice 6.10a a 6.10b dle [3]. Tyto rovnice jsou použity pro dimenzování železobetonové varianty i pro krátkodobou únosnost varianty s FRP výztuží.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Obrázek 5.1: Kombinační rovnice 6.10a a 6.10b [3]

Pro dimenzování FRP výztuže na dlouhodobou únosnost je použita charakteristická kombinace 6.14b [3]. Tato kombinace byla zvolena i přesto, že [3] doporučuje pro dlouhodobé účinky používat kvazistálou kombinaci. S ohledem na větší bezpečnost návrhu a také doporučení výrobce byla pro návrh použita právě kombinace charakteristická.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Obrázek 5.2: Kombinační rovnice 6.14b [3]

Do výpočtu vstupovalo celkem 9 zatěžovacích stavů rozdělených do dvou zatěžovacích skupin. První z nich obsahuje pouze stálé zatížení, druhá je uvažována jako výběrová a obsahuje zatěžovací stavy s proměnným zatížením.

6. VNITŘNÍ SÍLY

Pro stanovení vnitřních sil byl využit software SCIA Engineer, kde byla vymodelována desková 2D konstrukce adekvátně podepřená. Sloupy podírající desku byly nahrazeny podporami typu sloup, tudíž se zahrnutím reálného rozměru sloupů, a železobetonové stěny byly reprezentovány linií podporou.

Zmíněný software provádí výpočet na základě metody konečných prvků, což je numerická metoda, která spočívá v rozdělení konstrukce na konečné množství prvků, na kterých provádí jednotlivé výpočty. Je proto důležitá hustota zvolené sítě, pro tento případ byla zvolena průměrná velikost plošného/zakřiveného prvku 0,3 m.

Pro ověření správnosti modelu ruční metodou byla zvolena metoda náhradních rámců. Tato metoda je jednou ze zjednodušených metod pro výpočet vnitřních sil na lokálně podepřených deskách a vede na rozdělení konstrukce do tzv. náhradních rámců a následně také náhradních rámcových výseků. Výsledky z rámcového výsledku se poté, při dodržení určitých zásad, aplikují na celou desku.

7. DIMENZOVÁNÍ DESKY

V obou variantách jsou vnitřní síly čerpány z programu SCIA Engineer. Použity jsou především základní návrhové veličiny, které zahrnují také působení kroutících momentů.

Návrh výztuže je proveden jak ve směru x, tak ve směru y. Směr x je více namáhaný a tím pádem je výztuž rovnoběžná se směrem x umístěna blíže okraji při spodním i horním povrchu desky.

7.1. VARIANTA Č. 1 – OCELOVÁ VÝZTUŽ PŘI OBOU POVRŠÍCH

V této variantě je při obou površích navržena ocelová výztuž, jedná se tedy o klasický železobeton. Konkrétně je použita ocel B500B s krytím 30 mm.

Základní rastr je volen s ohledem na konstrukční zásady včetně minimální plochy výztuže. V kritických místech, kde ohybové momenty přesahují únosnost základní sítě, jsou navrženy příložky.

7.1.1. DOLNÍ VÝZTUŽ

<u>Směr X</u>		<u>Směr Y</u>	
Základní rastr:	Ø14/300	Základní rastr:	Ø10/200
Navržené příložky:	Ø14/300 Ø10/300	Navržené příložky:	Ø10/400

K ohybové výztuži je také přidána výztuž proti řetězovému zřícení. Ve směru X jsou navrženy 4 pruty průměru 22 mm, ve směru Y pak 4 pruty průměru 18 mm.

7.1.2. HORNÍ VÝZTUŽ

<u>Směr X</u>		<u>Směr Y</u>	
Základní rastr:	Ø10/180	Základní rastr:	Ø10/200
Navržené příložky:	Ø10/180 Ø14/180 Ø18/180	Navržené příložky:	Ø10/400 Ø14/200

Součástí horní výztuže jsou také smykové lišty Schöck BOLE®, jakožto výztuž proti protlačení. Lišty byly navrženy odlišně v závislosti na umístění sloupu. Vzorový ruční posudek byl proveden pro všechna kritická místa a výsledky byly porovnány s programem Schöck BOLE®.

7.2. VARIANTA Č. 2 – FRP VÝZTUŽ PŘI HORNÍM POVRCHU

V této variantě je při dolním povrchu zachována ocelová výztuž dle varianty č. 1. Horní výztuž je alternativně navržena z kompozitního FRP materiálu, konkrétně Schöck ComBAR® průměru 12 mm s krytím 25 mm.

Vzorový výpočet pro nejkritičtější místo byl proveden jak pro krátkodobé působení zatížení, tak pro dlouhodobé působení. Dlouhodobá únosnost je ale rozhodující, proto je návrh výztuže na celé konstrukci proveden právě s ohledem na tuto únosnost.

Základní rastr je volen s ohledem na konstrukční zásady včetně minimální plochy výztuže. V kritických místech, kde ohybové momenty přesahují únosnost základní sítě, jsou navrženy příložky.

7.2.1. HORNÍ VÝZTUŽ

Směr X

Základní rastr: Ø12/240

Navržené příložky: Ø12/240

Ø12/480

Směr Y

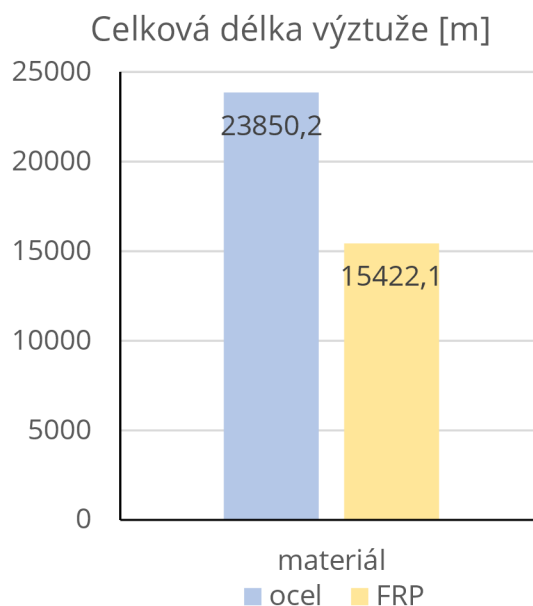
Základní rastr: Ø12/300

Navržené příložky: Ø12/300

Výztuž proti protlačení bude provedena obdobně jako ve variantě č. 1, tudíž budou použity smykové lišty Schöck BOLE®. Jejich konkrétní návrh ale není součástí této práce.

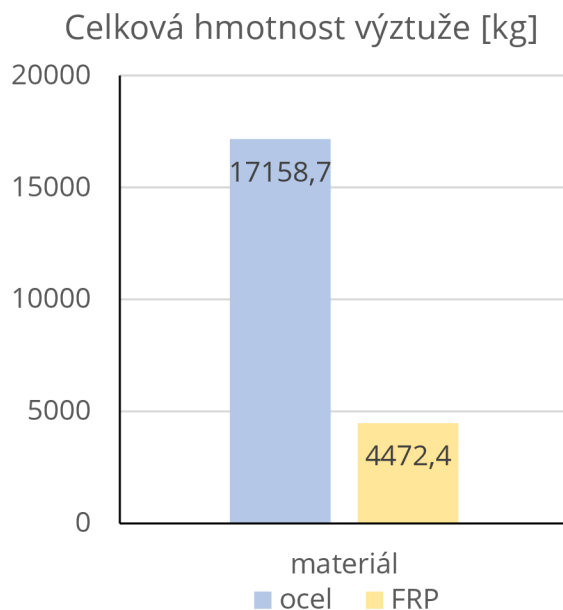
8. STROVNÁNÍ VARIANT

Porovnání obou variant je provedeno na úrovni srovnání délek, hmotností a cen. Do srovnání je v každé variantě zahrnuta pouze horní výztuž, protože právě v té se varianty liší.



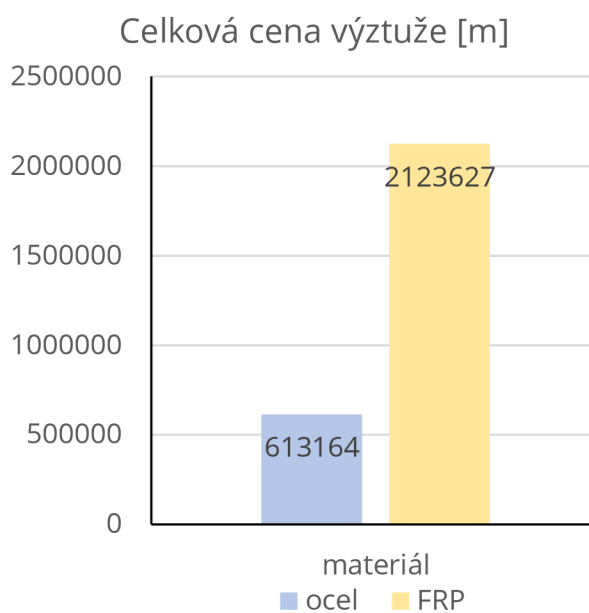
Graf 8.1: Srovnání celkové délky výztuže

Z grafu délek vyplývá, že ocelová výztuž je v tomto ohledu méně vhodná, neboť je delší. Toto je způsobené převážně odlišností průměrů a rozmístění základního rastru. V ocelové variantě je použit průměr 10 mm po vzdálenosti 180 a 200 mm, kdežto ve variantě s FRP výztuží základní rast tvoří průměr 12 po 240 nebo 300 mm. Z logiky věci pak vyplývá, že ocelové výztuže bude nutno použít více, tudíž bude delší.



Graf 8.2: Srovnání celkové hmotnosti výztuže

Co se hmotností tyče, je patrné, že ocelová výztuž bude dosahovat vyšších hodnot. Je to dáno především rozdílnou jednotkovou hmotností metru výztuže. U betonářské oceli je hmotnost jednoho metru prutu v průměru 1,27 kg/m (průměr profilů 10, 14 a 18 mm), zatímco metr FRP výztuže váží pouze 0,29 kg/m.



Graf 8.3: Srovnání celkové ceny výztuže

Je evidentní, že cena FRP výztuže velmi výrazně převyšuje cenu klasické kovové výztuže. Rozdíl je zapříčiněn odlišností v jednotkových cenách za metr výztuže, kdy v případě oceli se pohybujeme kolem 20–65 Kč/m, cena FRP výztuže činí až 150 Kč/m. Cenový rozdíl je způsoben hlavně faktem, že FRP výztuž je stále poměrně nový materiál, a proto je její výroba nákladná. Zároveň vysokou cenu udává i nedostatek konkurence v tomto odvětví.

9. ZÁVĚR

V rámci této bakalářské práce byly posouzeny dvě varianty návrhu lokálně podepřené desky. V prvním případě byla deska navržena jako železobetonová s použitím betonářské oceli, v případě druhém byla alternativně použita při horním povrchu FRP výztuž.

V obou variantách byla navržena ohybová výztuž na základě vnitřních sil z programu SCIA Engineer. V případě železobetonové varianty byla použita kombinace zatížení na mezní stav únosnosti, stejně jako pro krátkodobou únosnost FRP výztuže. Co se návrhu dlouhodobé únosnosti FRP výztuže, zde byla použita charakteristická kombinační rovnice založená na doporučení výrobce. Dlouhodobá únosnost FRP výztuže se ukázala jako rozhodující.

Krom ohybové výztuže byl zpracován návrh výztuže proti řetězovému zřícení. Tato výztuž je součástí výztuže při dolním povrchu, proto je tento návrh proveden pouze v první variantě. V druhé variantě je výztuž při dolním okraji plně převzata z varianty první, a to včetně výztuže proti řetězovému zřícení.

Dále byl v rámci varianty č. 1 proveden návrh výztuže proti protlačení. Zde byly využity smykové lišty Schöck BOLE®. Vyztužení se liší v závislosti na umístění sloupu. Ve 2. variantě by byla výztuž proti protlačení provedena obdobně, práce se ale konkrétním návrhem nezabývá.

Mezní stav použitelnosti byl posouzen na úrovni průhybu. Zjednodušenou metodou bylo zjištěno, že od podrobného posudku lze upustit a předpokládat, že limitních hodnot průhybu nebude dosaženo.

Na základě statického výpočtu byla vypracována také patřičná výkresová dokumentace obsahující výkres tvaru a výkresy výztuže obou variant. Součástí práce je i teoretická část k návrhu betonových konstrukcí s FRP výztuží, pojednávající o vlastnostech FRP materiálu i postupech při návrhu.

10. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ČSN EN 1991-1-1. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, 2004. Třídící znak 73 0035.
- [2] ČSN EN 1991-1-3 ed. 2. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013. Třídící znak 73 0035.
- [3] ČSN EN 1990 ed. 2. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. Třídící znak 73 0002.
- [4] TIPKA, M. a J. NOVÁK. *Analýza metod výpočtu železobetonových lokálně podepřených desek*. Praha: ČVUT FSv, 2011.
- [5] Technical Information: Schöck Combar® [online]. Baden-Baden: Schöck Bauteile, 2015 [cit. 2021-5-26].
Dostupné z :https://www.schoeck.com/view/5470/Technical_Information_Schoeck_Combar_%5B5470%5D.pdf
- [6] Design guideline for Combar® reinforced concrete acc. to Eurocode 2 [online]. Baden-Baden: Schöck Bauteile, 2016 [cit. 2021-5-26]. Dostupné z: https://www.schoeck.com/view/6366/Design_Guideline_Schoeck_Combar_%5B6366%5D.pdf
- [7] Fib Bulletin No. 40: FRP reinforcement in RC structures: technical report prepared by a working party of Task Group 9.3, FRP (Fibre Reinforced Polymer) reinforcement for concrete structures. Lausanne: International Federation for Structural Concrete, 2007. Bulletin Fédération internationale du béton. ISBN 978-2-88394-080-2.
- [8] PREFA KOMPOZITY, TA ČR a FAST VUT. *Navrhování betonových konstrukcí s FRP výztuží*. Brno, 2017.
- [9] GIRGLE, F., J. PROKEŠ, O. JANUŠ, V. KOSTIHA a P. Kompozitní výztuž do betonu: perspektivní materiál pro odolné a trvanlivé betonové konstrukce. *Beton TKS* [online]. Praha, 2017, 2017, 17(2), s. 6 [cit. 2021-5-26]. ISSN 1213-3116. Dostupné z: https://www.betontks.cz/sites/default/files/2017-2-50_0.pdf
- [10] ČSN EN 1992-1-1 ed. 2. *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. Třídící znak 73 1201.
- [11] GIRGLE, F., O. JANUŠ, V. KOSTIHA, L. BODNÁROVÁ, P. ŠTĚPÁNEK, Ď. ČAIROVIČ a M. MANSOUR. Dlouhodobé vlastnosti kompozitní výztuže při aplikaci v betonových konstrukcích. *Beton TKS* [online]. Praha, 2017, 2019, 19(2), s. 8 [cit. 2021-5-26]. ISSN 1213-3116. Dostupné z: <https://www.betontks.cz/sites/default/files/2019-2-38.pdf>

[12] GIRGLE, F., O. JANUŠ, P. ŠTĚPÁNEK, M. MANSOUR a A. MATUŠÍKOVÁ. Návrh betonových prvků vyztužených kompozitní výztuží: návrh na ohyb. *Beton TKS* [online]. Praha, 2019, 2017, **17**(3), s. 6 [cit. 2021-5-26]. ISSN 1213-3116. Dostupné z: https://www.betontks.cz/sites/default/files/2017-3-54_0.pdf

[13] JANUŠ, O. *Navrhování konstrukcí s FRP výztuží*. Brno, 2016. 158 s., 662 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce prof. RNDr. Ing. Petr Štěpánek, CSc.

[14] ACI 440.1R-15: *Guide for the design and construction of structural concrete reinforced with fiber-reinforced polymer (FRP) bars*. Farmington Hills: American Concrete Institute, 2015. ISBN 19-427-2710-0.

[15] CAN/CSA-S806-12: *Design and construction of building structures with fibre-reinforced polymers*. Farmington Hills: American Concrete Institute, 2015. ISBN 978-1-55491-931-4.

11. SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A_c	plocha betonu
A_f	navržená plocha FRP výztuže
$A_{f,min}$	minimální plocha FRP výztuže
$A_{f,max}$	maximální plocha FRP výztuže
A_{st}	navržená plocha ocelové výztuže
$A_{s,min}$	minimální plocha ocelové výztuže
$A_{s,max}$	maximální plocha ocelové výztuže
$A_{s,req}$	požadovaná plocha výztuže
b	šířka
c	krytí výztuže
c_{min}	minimální krycí vrstva výztuže
d	účinná výška průřezu
E_{cm}	modul pružnosti betonu
E_f	modul pružnosti FRP výztuže
E_s	modul pružnosti oceli
f_{cd}	návrhová pevnost betonu v tlaku
f_{ck}	charakteristická pevnost betonu v tlaku
f_{ctm}	střední hodnota pevnosti betonu v tahu
$f_{ctk,0,05}$	5% kvantil pevnosti betonu v tahu
f_{bd}	mezní napětí v soudržnosti
$f_{fk,1000h}$	charakteristická tisícihodinová pevnost FRP výztuže v tahu
f_{fd}	návrhová pevnost FRP výztuže v tahu
$f_{fd,LT}$	návrhová dlouhodobá pevnost FRP výztuže v tahu
f_{fk}	charakteristická pevnost FRP výztuže v tahu
f_{yd}	návrhová mez kluzu oceli
f_{yk}	charakteristická mez kluzu oceli
F_c	síla v tlačené části betonu
F_s	síla ve výztuži
F_f	síla v FRP výztuži
$F_{f,LT}$	síla v FRP výztuži při dlouhodobě působícím zatížení
g_k	charakteristická hodnota stálého zatížení
q_k	charakteristická hodnota nahodilého zatížení
h	výška desky
$l_{b,min}$	minimální kotevní délka
$l_{b,rqd}$	základní kotevní délka
l_{bd}	návrhová kotevní délka
l_o	návrhová stykovací délka

$I_{o,min}$	minimální stykovací délka
I_n	světlé rozpětí
M_{Ed}	návrhová hodnota ohybového momentu
M_{Rd}	moment na mezi únosnosti
n	součinitel zahrnující vliv prostředí a životnost konstrukce
n_{mo}	parametr zohledňující vlhkost prostředí
n_{SL}	parametr zohledňující předpokládanou životnost konstrukce
n_T	parametr zohledňující teplotu prostředí
R_{10}	redukce tahové pevnosti za dekádu logaritmického času
s	podélná vzdálenost třmínků
s_k	charakteristická hodnota zatížení sněhem
s_n	světlá vzdálenost podélné výztuže
s_{min}	minimální světlá vzdálenost podélné výztuže
s_{max}	maximální osová vzdálenost podélné výztuže
V_{Ed}	návrhová hodnota smykového napětí
V_{Ed}	návrhová hodnota posouvající síly
$V_{Ed,max}$	maximální hodnota návrhové posouvající síly
$V_{rd,c}$	návrhová hodnota odolnosti v protlačení desky bez smykové výztuže
$V_{rd,cs}$	návrhová hodnota odolnosti v protlačení desky se smykovou výztuží
x	poloha neutrální osy
x_{bal}	poloha neutrální osy při balančním stupni vyztužení
Z	rameno vnitřních sil
α	součinitel převádějící napětí v tlačené části průřezu na rovnoměrné
γ	objemová tíha materiálu
γ_c	dílčí součinitel betonu
γ_f	dílčí součinitel FRP výztuže
γ_G	dílčí součinitel stálého zatížení
γ_Q	dílčí součinitel proměnného zatížení
γ_s	dílčí součinitel spolehlivosti betonářské výztuže
ε_c	poměrné přetvoření krajních tlačených vláken
ε_{cu}	mezní poměrné přetvoření betonu v tlaku
ε_{fd}	mezní poměrné přetvoření FRP výztuže
ε_s	poměrné přetvoření ocelové výztuže
ε_{yd}	poměrné přetvoření výztuže při dosažení meze kluzu
$\eta_{env,t}$	redukční součinitel zohledňující dlouhodobé účinky prostředí
ρ	stupeň vyztužení
σ_s	napětí ve výztuži
\emptyset	průměr výztuže

12. SEZNAM PŘÍLOH

P1. Statický výpočet

P2. Přílohy statického výpočtu

P3. Návrh betonových konstrukcí s FRP výztuží

P4. Výkresová dokumentace

01 Výkres tvaru desky D1

02 Výkres dolní výztuže

03 Výkres výztuže proti řetězovému zřícení

04 Výkres horní výztuže

05 Výkres horní výztuže – FRP výztuž