



**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

**ŘEŠENÍ VYBRANÝCH DETAILŮ BETONOVÝCH  
KONSTRUKCÍ VYZTUŽENÝCH KOMPOZITNÍ  
VÝZTUŽÍ**

DESIGN OF SELECTED DETAILS OF CONCRETE STRUCTURES REINFORCED WITH  
COMPOSITE REINFORCEMENT

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

DIPLOMA THESIS

**P2.1. TECHNICKÁ ZPRÁVA**

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. David Vašátko**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. FRANTIŠEK GIRGLE, Ph.D.**

**BRNO 2022**

---

**Obsah**

|                                       |          |
|---------------------------------------|----------|
| <b>1 Úvod .....</b>                   | <b>3</b> |
| <b>2 Popis konstrukce.....</b>        | <b>3</b> |
| 2.1 Svislé konstrukce .....           | 3        |
| 2.2 Vodorovné konstrukce.....         | 3        |
| <b>3 Materiály .....</b>              | <b>4</b> |
| 3.1 Beton C25/30 .....                | 4        |
| 3.2 Nerezová ocel 1.4301 .....        | 4        |
| 3.3 GFRP výztuž Schöck Combar .....   | 4        |
| <b>4 Zatížení .....</b>               | <b>5</b> |
| <b>5 Kombinace.....</b>               | <b>6</b> |
| <b>6 Dimenzování a posouzení.....</b> | <b>6</b> |
| 6.1 Mezní stav únosnosti .....        | 6        |
| 6.2 Mezní stav použitelnosti .....    | 8        |
| <b>7 Závěr .....</b>                  | <b>8</b> |
| <b>8 Seznam použitých zdrojů.....</b> | <b>9</b> |

---

## 1 Úvod

V praktické části této diplomové práce je řešena lokálně podepřená betonová stopní deska 1. NP objektu laboratoří vyžadující elektromagnetickou neutralitu.

Z důvodu požadavku na elektromagnetickou neutralitu je požadavek na nemagnetický typ výztuže. V desce je použita kombinace nerezové a GFRP podélné výztuže. Návrh je proveden v souladu s normami ČSN EN 1990 [1] a ČSN EN 1992-1-1 [2].

Ve statickém výpočtu je navržena a posouzena výztuž na mezní stav únosnosti pro spodní a horní okraj desky. Posouzeno je jedno zesilující žebro na okraji desky a protlačení v místě sloupu s největší posouvající silou. Pro mezní stav použitelnosti byl zkontrolován dlouhodobý průhyb pomocí softwaru SCIA Engineer 20.

## 2 Popis konstrukce

Jedná se o třípodlažní budovu laboratoří, kde je potřeba zajistit elektromagnetickou neutralitu výztuže. V 1. NP se nachází především skladovací prostory. V 2. NP jsou plánované kanceláře a dvě laboratoře, 3. NP má shodný půdorys jako 2. NP. Půdorysné rozměry jsou 23,00 x 17,75 m s maximálním rozpětím stropní konstrukce 6,40 m. Výška budovy je 10,0 m, kde konstrukční výška podlaží je 3,10 m.

### 2.1 Svislé konstrukce

Všechny nosné stěny jsou navrženy jako betonové monolitické stěny o tloušťce 200 mm. Pro variabilitu dispozice jsou uvnitř objektu sloupy 350 x 350 mm. Statické řešení a posouzení stěn a sloupů není v této diplomové práci řešeno.

### 2.2 Vodorovné konstrukce

Nosnou vodorovnou konstrukci tvoří ve všech podlažích monolitické betonové desky o tloušťce 240 mm. Po obvodu je stropní deska ve většině místech podepřena betonovými stěnami, případně ztužena betonovým žebrem. Uvnitř dispozice je stropní deska lokálně podepřena pomocí betonových sloupů. Pro zajištění tuhosti je na stranách vytvořeno zesilující betonové žebro o tloušťce 200 mm a výšce 1150 mm. Největší rozpětí betonové desky je 6400 mm.

### 3 Materiály

Všechny betonové konstrukce jsou navrženy z betonu třídy C25/30, stupeň vlivu prostředí XC1. Ve stropní betonové desce je u spodního povrchu kombinována výztuž z nerezové oceli třídy 1.4301 a GFRP výztuž od výrobce Schöck Combar. U horního povrchu je pouze GFRP výztuž. U GFRP výztuže je nutno dodržovat všechny doporučení a dodržovat technický list výrobce [3].

Hodnoty vycházejí z ČSN EN 1990 [1], ČSN EN 206+A2 [4], dílčí materiálové součinitelé jsou uváženy dle [2], v případě kompozitní výztuže dle [3].

#### 3.1 Beton C25/30

|   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| Charakteristická válcová pevnost betonu v tlaku     | $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$            |
| Dílčí součinitel betonu                             | $\gamma_c = 1,5$                     |
| Návrhová pevnost betonu v tlaku                     | $f_{cd} = 16,67 \text{ MPa}$         |
| Charakteristická pevnost betonu v tahu (5% kvantil) | $f_{ctk;0,05} = 1,8 \text{ MPa}$     |
| Návrhová pevnost betonu v tahu                      | $f_{ctd} = 1,20 \text{ MPa}$         |
| Modul pružnosti betonu                              | $E_{cm} = 31 \text{ GPa}$            |
| Mezní poměrné přetvoření betonu                     | $\varepsilon_{cu3} = 3,50 \text{ ‰}$ |

#### 3.2 Nerezová ocel 1.4301

|                                |                                     |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| Charakteristická mez kluzu     | $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$          |
| Dílčí součinitel oceli         | $\gamma_s = 1,15$                   |
| Návrhová mez kluzu             | $f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$       |
| Modul pružnosti betonu         | $E_s = 200 \text{ GPa}$             |
| Mezní poměrné přetvoření oceli | $\varepsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$ |

#### 3.3 GFRP výztuž Schöck Combar

hodnoty jsou převzaty z technického listu výrobce [3]

|  |                             |
|--|-----------------------------|
| Charakteristická pevnost GFRP výztuže v tahu | $f_{fk} = 1000 \text{ MPa}$ |
| Dílčí součinitel GFRP výztuže (dle výrobce)  | $\gamma_f = 1,3$            |

|   |                                  |
|---|----------------------------------|
| Charakteristická pevnost GFRP výztuže v tahu (1000 h) | $f_{fk,1000h} = 950 \text{ MPa}$ |
| Redukce tahové pevnosti za log. dekádu času           | $R_{10} = 15 \%$                 |
| Součinitel vlivu prostředí (XC1)                      | $n_{mo} = -1$                    |
| Součinitel vlivu teploty (+15 až +25 °C)              | $n_T = 0,5$                      |
| Součinitel životnosti (50 let)                        | $n_{SL} = 2,7$                   |
| Součinitel rozdílnosti zkoušeného průměru výztuže     | $n_d = 0,0$                      |
| Dlouhodobá návrhová pevnost GFRP výztuže v tahu       | $f_{fd} = 509,42 \text{ MPa}$    |
| Modul pružnosti GFRP výztuže                          | $E_f = 60 \text{ GPa}$           |
| Mezní poměrné přetvoření GFRP výztuže                 | $\varepsilon_{fd} = 8,49 \%$     |

## 4 Zatížení

Všechna zatížení byla rozdělena na stálá zatížení a proměnná zatížení. Mezi stálá zatížení byla zařazena vlastní tíha konstrukce, skladba podlahy, skladba obvodového pláště, přemístitelné příčky a tíha prefabrikovaného schodiště. Jako proměnné zatížení se uvažuje užité zatížení kategorie B – kancelářské prostory a schodiště patřící do kategorie A – schodiště.

Na konstrukci byla uvažována pouze svislá zatížení, je předpokládáno že vodorovná zatížení (vítr) přenesou betonové jádro a obvodové stěny.

Pro výpočet vnitřních sil bylo vytvořeno 14 zatěžovacích stavů.

ZS1 – vlastní tíha

ZS2 – skladba typického podlaží

ZS3 – přemístitelné příčky

ZS4 – skladba proskleného pláště

ZS5 – skladba obvodového pláště

ZS6 – prefabrikované schodiště

ZS7 – kategorie B – šach 1

ZS8 – kategorie B – šach 2

ZS9 – kategorie B – plné

ZS10 – kategorie B – pruh 1

---

 ZS11 – kategorie B – pruh 2

ZS12 – kategorie B – pruh 3

ZS13 – kategorie B – pruh 4

ZS14 – schodiště

## 5 Kombinace

Kombinace pro mezní stav únosnosti jsou vytvořeny dle kombinační pravidel 6.10a, 6.10b uvedených v [1].

6.10a

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

6.10b

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

Pro učení charakteristického zatížení pro stanovení dlouhodobého průhybu byla použita kvazistálá kombinace (6.16b).

6.16b

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Hodnoty a průběhy vnitřních sil od daných kombinací byly zjištěny pomocí programu SCIA Engineer 20.

## 6 Dimenzování a posouzení

### 6.1 Mezní stav únosnosti

Betonová deska byla vyztužena v obou směrech. U horní i spodní vrstvy výztuže byl navrhnout základní rastr výztuže, který byl doplňován o přídatnou výztuž v místech s lokálními extrémními ohybovými momenty. Všechna ohybová výztuž v desce byla navržena jako nemagnetická.

Krytí spodní vrstvy výztuže bylo navrženo 35 mm. Spodní výztuž byla navržena v základním rastru výztuže po 250 mm. Byla navržena kombinace GFRP výztuže o Ø10

mm a výztuže z nerezové oceli o  $\varnothing 10$  mm, kde docházelo k pravidelnému střídání jednotlivých výztužných prutů. V místě s přídatnou výztuží byl základní rastr doplněn o stejný typ výztuže.

Tabulka 1: seznam výztuže pro spodní povrch

| spodní výztuž | základní výztuž                  | přídavná výztuž (v lokálních extrémech) |
|---------------|----------------------------------|---|
| směr X        | Combar 10/ 500<br>1.4301 10/ 500 | Combar 10/ 500<br>1.4301 10/ 500        |
| směr Y        | Combar 10/ 500<br>1.4301 10/ 500 | Combar 10/ 500<br>1.4301 10/ 500        |

Pro horní výztuž bylo navrženo krytí 25 mm. Základní výztuž u horního povrchu byla navržena ve shodné vzdálenosti jako výztuž u spodního povrchu a to po 250 mm. Zde byla použita pouze GFRP výztuž, která byla v místě lokálních extrémních ohybových momentů doplňována o další GFRP výztuž.

Tabulka 2: seznam výztuže pro horní povrch

| horní výztuž | základní výztuž | přídavná výztuž (v lokálních extrémech)      |
|--------------|-----------------|--|
| směr X       | Combar 10/ 250  | Combar 12/ 250 Combar 18/ 250                |
| směr Y       | Combar 10/ 250  | Combar 10/ 250 Combar 14/ 250 Combar 18/ 250 |

V místě lokálního podepření sloupem s maximální posouvající silou byl proveden posudek na protlačení. Z provedených zkoušek v teoretické části by musely být provedeny úpravy materiálových, aby bylo možné použít GFRP třmínky jako smykovou výztuž na protlačení. Jako smyková výztuž byly použity smykové trny od výrobce Schöck. V daném místě bylo navrženo 8 smykových lišt, kde každá z nich měla 4 smykové trny o  $\varnothing 12$  mm.

Byl proveden posudek zesilujícího žebra u okraje stropní desky na ohybovou a smykovou únosnost. Pro žebro byla použita ocelová výztuž. U spodního povrchu byly navrženy  $3\varnothing 18$  mm u horního povrchu  $3\varnothing 18$  mm. Na posouvající síly bylo nutné navrhnout smykovou výztuž v osově vzdálenosti 250 mm o  $\varnothing 8$  mm. Z důvodu výšky a provádění žebra byla smyková výztuž tvořena 2 výztužemi tvaru „U“.

Výztuž proti řetězovému zřícení byla navržena z oceli, kde v každém směru jsou  $2\varnothing 18$  mm.

---

## 6.2 Mezní stav použitelnosti

Pro kontrolu dovoleného průhybu byla v softwaru SCIA Engineer zadána všechna navržená podélná výztuž pro betonovou desku. Následně byl spočítán dlouhodobý průhyb betonové desky od kvazistálé kombinace zatížení, který byl porovnán s mezní hodnotou. Dlouhodobý průhyb vyšel o 5,4 mm menší oproti mezní hodnotě.

## 7 Závěr

V praktické části této diplomové práce byl proveden posudek betonové stropní desky s požadavkem na nemagnetickou výztuž. Z tohoto důvodu mohla být konstrukce navržena z GFRP výztuže. U horního povrchu byla pouze GFRP výztuž. U spodního povrchu byla kombinace nerezové oceli a GFRP výztuže především z důvodu tuhosti betonové desky. Kdy vlivem nerezové oceli byla zvýšena tuhost a návrh vyhověl na limitní průhyb v druhém mezním stavu. U tohoto hybridního návrhu byl maximální průhyb 20,2 mm. V případě použití pouze kompozitní výztuže u spodního povrchu byl softwarem SCIA stanoven průhyb 25,8 mm. Pouze kompozitní vyztužení by mělo o cca 28 % vyšší průhyb než vyztužení hybridním způsobem.



---

## 8 Seznam použitých zdrojů

- [1] ČSN EN 1990 (73 0002): *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. Český normalizační institut, 2004.
- [2] ČSN EN 1992-1-1 (731201): *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Ed.2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [3] *Schöck Group: Technical Information Schöck Combar®* [Online]. 2018.  
Dostupné z:  
[https://www.schoeck.com/view/5470/Technical\\_Information\\_Schoeck\\_Combar\\_%5B5470%5D.pdf](https://www.schoeck.com/view/5470/Technical_Information_Schoeck_Combar_%5B5470%5D.pdf)
- [4] ČSN EN 206+A2 (73 2403): *Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021.