



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

PŘEDPJATÁ BETONOVÁ STROPNÍ DESKA

PRESTRESSED CONCRETE SLAB

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Mária Benčíková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN PERLA

BRNO 2021



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

| | |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Studijní program | N3607 Stavební inženýrství |
| Typ studijního programu | Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia |
| Studijní obor | 3608T001 Pozemní stavby |
| Pracoviště | Ústav betonových a zděných konstrukcí |

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

| | |
|-----------------|----------------------------------|
| Student | Bc. Mária Benčíková |
| Název | Předpjatá betonová stropní deska |
| Vedoucí práce | Ing. Jan Perla |
| Datum zadání | 31. 3. 2020 |
| Datum odevzdání | 15. 1. 2021 |

V Brně dne 31. 3. 2020

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

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

PODKLADY A LITERATURA

Situace, stavební půdorysy a řezy, IGP

Základní normy (včetně všech změn a doplňků):

ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí

ČSN EN 1991-1 až 7: Zatížení konstrukcí

ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí. Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

ČSN 73 1201: Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb

Literatura:

dle doporučení vedoucího diplomové práce.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Navrhněte předpjatou stropní desku jednoho dilatačního celku (dvoupodlažního pavilonu) novostavby lázeňského komplexu. Statickou analýzu proveďte v některém programovém systému pro výpočet konstrukcí se zohledněním interakce s podložím.

Vypracujte podrobné výkresy tvaru betonové konstrukce a podrobné výkresy výztuže předmětné stropní a podpůrné konstrukce (zbývající části konstrukce dilatačního celku dokumentujte schématickými výkresy tvaru).

Ostatní úpravy provádějte podle pokynů vedoucího diplomové práce.

Požadované výstupy:

Textová část (obsahuje zprávu a ostatní náležitosti dle níže uvedených směrnic).

Přílohy textové části:

P1. Použité podklady

P2. Výkresy tvaru a výztuže (v rozsahu určeném vedoucím diplomové práce)

P3. Statický výpočet (v rozsahu určeném vedoucím diplomové práce)

Diplomová práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě a pro ÚBZK 1× na CD.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ 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. Jan Perla
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem železobetonové stropní konstrukce nad 1.NP dvoupodlažního pavilonu lázeňského komplexu. Jedná se o lokálně podepřenou desku s využitím předpětí. Návrh je převeden s ohledem na požadovanou požární odolnost konstrukcí. Analýza vnitřních sil je provedena ručním výpočtem pomocí metody náhradních rámců a pomocí výpočetního software RFEM 5.23, který využívá metodu konečných prvků. Návrh je proveden dle skupiny norem ČSN EN.

KLÍČOVÁ SLOVA

železobeton, lokálně podepřená deska, předpětí, vnitřní síly, metoda náhradních rámců, metoda konečných prvků, sloup, průvlak, monolitická konstrukce, výztuž, mezní stav použitelnosti

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the design of a reinforced concrete floor structure above the 1st floor of a two-storey pavilion of a spa complex. It is a point-supported slab with the use of prestress. The design is converted with respect to the required fire resistance of structures. The analysis of internal forces is performed by manual calculation using the method of spare frames and using the computational software RFEM 5.23, which uses the finite element method. The design is made according to the group of standards ČSN EN.

KEYWORDS

reinforced concrete, point-supported slab, prestress, internal forces, replacement frame method, finite element method, column, beam, cast-in-place structure, reinforcement, serviceability limit state

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Mária Benčíková *Předpjatá betonová stropní deska*. Brno, 2021. 25s., 347s. příl.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a
zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Jan Perla

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Předpjatá betonová stropní deska* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 12. 1. 2021

Bc. Mária Benčíková
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Předpjatá betonová stropní deska* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 12. 1. 2021

Bc. Mária Benčíková
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji mému vedoucímu práce panu Ing. Janu Perlovi za ochotu, trpělivost, cenné informace a poznatky z praxe, ale hlavně za čas, který mi věnoval při vypracování této práce.

Dále bych chtěla poděkovat své rodině a přátelům za jejich podporu během celého studia.

OBSAH

| | |
|-------------------------------------------|----|
| 1. ÚVOD | 9 |
| 2. POPIS OBJEKTU | 10 |
| 2.1 STAVEBNÉ RIEŠENIE OBJEKTU | 10 |
| 2.2 ZALOŽENIE OBJEKTU | 11 |
| 2.3 VODOROVNÉ KONŠTRUKCIE | 11 |
| 2.3 ZVISLÉ KONŠTRUKCIE | 11 |
| 3. MATERIÁLY | 12 |
| 4. ZAŤAŽENIE | 14 |
| 4.1 STÁLE ZAŤAŽENIE | 14 |
| 4.2 PREMENNÉ ZAŤAŽENIE | 14 |
| 4.3 ZAŤAŽENIE VYVODENÉ PREDPÄTÍM | 14 |
| 5. KOMBINÁCIE VÝSLEDKOV | 15 |
| 6. VNÚTORNÉ SILY | 16 |
| 6.1 RUČNÝ VÝPOČET | 16 |
| 6.2 VÝPOČTOVÝ SOFTWARE | 17 |
| 6.3 POROVNANIE MOMENTOV NA NÁHRADOM RÁME | 17 |
| 7. POSTUP VYSTUŽOVANIA | 18 |
| 7.1 VYSTUŽENIE DOSKY D1 | 18 |
| 7.2 VYSTUŽENIE DOSKY D2 | 18 |
| 7.3 VYSTUŽENIE PRIEVLAKU P1 | 18 |
| 7.4 VYSTUŽENIE STĽPOV | 18 |
| 8. POSÚDENIE MEDZNÉHO STAVU POUŽITEĽNOSTI | 19 |
| 9. ZÁVER | 20 |
| 10. ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV | 21 |
| 11. ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A ZNAKOV | 23 |
| 12. PRÍLOHY | 25 |

1. ÚVOD

V mojej diplomovej práci sa zaoberám návrhom stropnej konštrukcie nad prvým nadzemným podlažím dvojpodlažného pavilónu „A“ kúpeľného komplexu. Konštrukcia stropu je navrhnutá ako zalomená monolitická stropná doska pozostávajúca z dvoch dilatačných celkov – predpätej lokálne podopretej dosky a dosky lokálne podopretej bez využitia predpätia. Ďalej riešim zvislé nosné podporné konštrukcie, ktoré sú riešené monolitickými železobetónovými stĺpmi a prievlak nachádzajúci sa v zlome dosiek.

Cieľom práce je vytvorenie odpovedajúce statického modelu konštrukcie, výpočet vnútorných síl rozličnými metódami výpočtu a ich následné porovnanie, nadimenzovanie predpínacej a betonárskej výstuže, spracovanie výkresovej dokumentácie a posúdenie pretvorenia stropnej konštrukcie.

Priestorový statický model konštrukcie a výpočet vnútorných síl na konštrukcii je prevedený pomocou výpočtového softwaru RFEM 5.23, ktorý je založený na metóde konečných prvkov pri čom práve z hodnôt vnútorných síl z daného programu som vychádzala pri návrhu výstuže.

2. POPIS OBJEKTU

2.1 STAVEBNÉ RIEŠENIE OBJEKTU

Objekt, ktorým sa zaoberám v diplomovej práci je pavilón „A“ kúpeľného komplexu Strom života – Lázně Bělohrad, ktorý je jedným zo štyroch pavilónov nadväzujúcich na severovýchodnú pozdĺžnu stranu hlavnej ubytovacej budovy pozostávajúcej z piatich nadzemných podlaží.

Pavilón A je pôdorysne rozdelený na dve časti, čomu odpovedá aj zalomenie mnou riešenej stropnej dosky. Stropná doska je rozdelená do dvoch dilatačných celkov o dĺžkach: doska D1 – 15,895m a doska D2 – 18,075 m. Z daných hodnôt vyplýva, že je dodržaná maximálna dĺžka dilatačných celkov l_{dil} , ktorej hodnota je pre skeletové konštrukcie bez stužujúcich prvkov – monolitické chránené rovná 54m.

Tabuľka 4.1 – Maximální délky l_{dil} dilatačních celků v budovách a halách, v m

| Řádek | Druh konstrukce | | Maximální délka $l_{dil,1}$ v m při nosné konstrukci | | | |
|-------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------|--------------------------|------------------|
| | | | monolitické | | montované | |
| | | | chráněné ¹⁾²⁾ | nechráněné | chráněné ¹⁾²⁾ | nechráněné |
| 1 | | uprostřed dilatačního celku ⁴⁾ | 54 | 36 | 60 | 42 |
| 2 | Skeletové konstrukce se ztužujícími prvky ³⁾ | na jednom konci dilatačního celku | 42 | 27 | 45 | 30 |
| 3 | | v mezilehlé poloze | podle vztahů (4.1), popř. (4.2) | | | |
| 4 | | na obou koncích dilatačního celku | 33 | 21 | 36 | 27 |
| 5 | | na dvou a více místech dilat. celku | podle vztahů (4.3), popř. (4.4) | | | |
| 6 | | Stěnové konstrukce s nosnými obvodovými stěnami | třívrstevními nebo dvouvrstevními | 51 ⁵⁾ | 33 | 54 ⁵⁾ |
| | jednovrstevními z lehkých betonů, samonosnými nebo nosnými | | – | 39 | – | 45 |

1) Skeletová konstrukce se považuje za chráněnou, jestliže její nosné obvodové prvky (sloupy, průvlaky, stěny, stropní desky nad nejvyšším podlažím, popř. střešní desky) jsou chráněny před účinky teplotních změn tepelnou izolací odpovídající požadavkům norem tepelné technických vlastností stavebních konstrukcí a budov

2) Stěnová konstrukce se považuje za chráněnou, jestliže je nosná vrstva vícevrstvé stěny opatřena z vnější strany tepelnou izolací odpovídající požadavkům norem uvedeným v předchozím

3) Ztužujícím prvkem je např. samostatná stěna, stěny schodiště, stěny výtahové šachty. Předpokládá se, že ztužující prvek brání volné dilataci pouze v rovině střednicové plochy stěn, která je tvoří.

4) Hodnoty také platí pro skeletovou konstrukci bez ztužujících prvků.

5) Délky platí také pro konstrukce s obvodovými stěnami nenosnými, tj. se stěnami podporovanými (nesenými), pokud nenosné obvodové stěny, popř. zavěšené lehké dílce zajišťují tepelnou izolaci vnitřní nosné konstrukce.

Maximální délky l_{dil} dilatačních celků v budovách a halách, v m. [10] – str. 13

V časti pavilónu s vyššou svetlou výškou rovnou 4,380m je objekt jednopodlažný, pričom v časti so zníženou svetlou výškou na 3,540m má pavilón dve nadzemné podlažia. V oboch častiach je objekt ukončený plochou strechou.

Pôdorysné rozmery tejto časti objektu sú 33,970m x 17,800m. Najväčšiu časť pôdorysnej plochy 1.NP tvorí viacúčelová sála. Zvyšný priestor dopĺňajú časti hotelovej kuchyne ako sú sklady, výrobné a prípravovne jedál, varne, výdajňa jedál či chladiace boxy. V 2.NP sa nachádza jedáleň pre zamestnancov, kantína, šatne, sociálne zariadenia pre zamestnancov a veľkú časť plochy podlažia tvorí strojovňa vzduchotechniky .

2.2 ZALOŽENIE OBJEKTU

Kúpeľný komplex Strom života – Lázně Bělohrad sa nachádza v okrese Jičín, ktorý patrí do geologickej jednotky Českého masívu. Severná časť Českého masívu je tvorená českou kriedovou tabuľou. Celý kúpeľný komplex a teda aj pavilón „A“ je založený na hlbinných základoch - pilótach s priemerom od 0,50m do 0,90m. Z tohto dôvodu nie je nutné riešiť interakciu s podložím pri vytváraní statického modelu konštrukcie.

2.3 VODOROVNÉ KONŠTRUKCIE

Stropné konštrukcie nesené stĺpovým nosným systémom sú riešené formou bodovo podopretých stropných dosiek. V mnou riešenom podlaží navrhujem dve lokálne podopreté dosky – dosku D1 a dosku D2. V doske D1 je navyše využitý systém dodatočného predpätia bez súdržnosti na preklopenie veľkých osových vzdialeností medzi jednotlivými stĺpmi. Obe dosky sú konštantnej hrúbky 280mm, ich pôdorysné rozmery sú D1 – 15,895m x 17,800m a doska D2 – 18,075m x 17,800m.

Pre vnútorné prostredie so stupňom vplyvu prostredia XC1 je navrhnutá trieda betónu pre obe dosky totožná a to C30/37. Betonárska výstuž navrhnutá B500B. Predpínacia výstuž Y1860 S7 – 15,7 typu monostrand – sedmidrátové stabilizované lano s HDPE obalom.

2.3 ZVISLÉ KONŠTRUKCIE

Zvislé nosné konštrukcie sú železobetónové monolitické stĺpy S1 – S5. V mnou riešenej časti sú v architektonickej časti navrhnuté tri rôzne prierezy s rozmermi – kruhový Ø550mm, štvorcový 400x400mm a obdĺžnikový 400x600mm. Zvislé konštrukcie murované z keramických tvárnic POROTHERM sú riešené ako výplňové a nemajú nosnú funkciu. Obvodové steny sú zhotovené z tvárnic POROTHERM CB hrúbky 300mm, vnútorné steny v 1.NP z tvárnic POROTHERM hrúbky 100mm, 150mm a 200mm vrátane systémových prekladov nad navrhnutými otvormi, ktoré nie sú predmetom tejto práce a ich typ ako aj počet rieši projektant stavebnej časti projektu. Priečky v 2.NP sú navrhnuté ako sadrokartónové hrúbok 100mm, 150mm a 205mm s výplňou z minerálnej vlny v hrúbke 40mm.

V mieste výškového zalomenia stropnej konštrukcie, ktoré je zároveň stretom dosiek D1 a D2 sa nachádza monolitický železobetónový prievlak P1 s výškou 1,120m a šírkou 0,400m.

Trieda betónu pre prievlak je navrhnutá rovnaká ako v prípade oboch dosiek a to C30/37, trieda betónu pre stĺpy navrhnutá C25/30. Betonárska výstuž B500B.

3. MATERIÁLY

BETÓN

C25/30

Charakteristická valcová pevnost v tlaku:

Dielčí súčiniteľ vlastností materiálu:

Návrhová pevnosť betónu v tlaku:

Priemerná hodnota pevnosti v dostrednom ťahu:

Sečnový modul pružnosti:

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c = 1,50$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25}{1,50} = 16,67 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 2,6 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 31 \text{ GPa}$$

C30/37

Charakteristická valcová pevnosť v tlaku:

Dielčí súčiniteľ vlastností materiálu:

Návrhová pevnosť v tlaku:

Priemerná hodnota pevnosti v dostrednom ťahu:

Sečnový modul pružnosti:

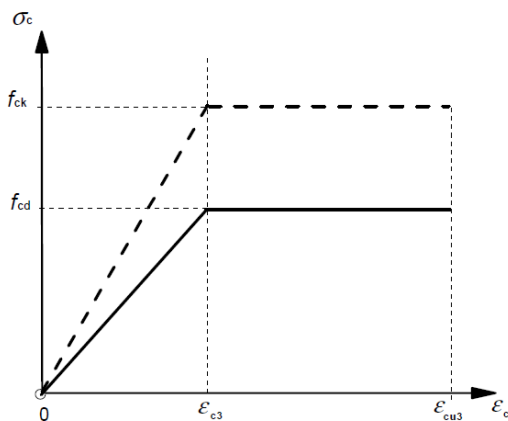
$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c = 1,50$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,50} = 20 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 32 \text{ GPa}$$



Obrázek 3.4 – Bilineární pracovní diagram

Bilineární pracovní diagram. [8]
– str.38

OCEĽ
B500B

Charakteristická medza klzu:
Dielčí súčiniteľ vlastností materiálu:
Návrhová pevnosť v ťahu:
Návrhová hodnota modulu pružnosti:

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

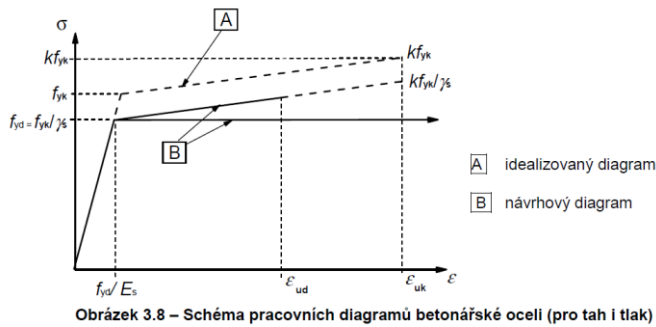


Schéma pracovných diagramů
betonářské oceli (pro tah i tlak).
[8] – str. 43

PREDPÍNACIA VÝSTUŽ
Y1860 - S7

Charakteristická pevnosť v ťahu:
Zmluvná medza klzu 0,1:
Dielčí súčiniteľ vlastností materiálu:
Návrhová hodnota napätia:
Návrhová hodnota modulu pružnosti:

$$f_{pk} = 1860 \text{ MPa}$$

$$f_{p0,1k} = 1670 \text{ MPa}$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$f_{pd} = \frac{f_{p0,1k}}{\gamma_s} = \frac{1670}{1,15} = 1452,17 \text{ MPa}$$

$$E_p = 195 \text{ GPa}$$

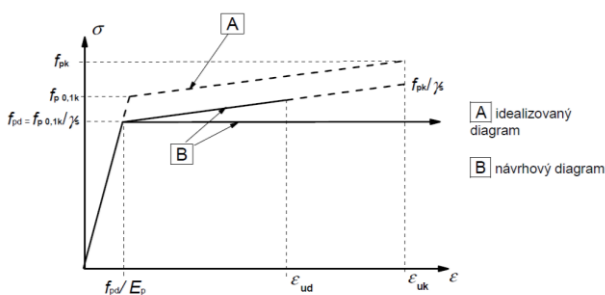


Schéma pracovných diagramů pro
předpínací ocel (napětí v tahu a přetvoření
jsou uvedeny v absolutních hodnotách). [8]
– str. 46

4. ZAŤAŽENIE

4.1 STÁLE ZAŤAŽENIE

Stále zaťaženie je rozdelené do 3 zaťažovacích stavov pre jednoduchšie vyšetrenie priehybov dosiek.

Prvý zaťažovací stav je tvorený čisto vlastnou tiažou konštrukcie - plošné zaťaženie.

Druhý zaťažovací stav tvorí zaťaženie skladbami podláh a strechy, ktoré sa v rôznych častiach konštrukcie mení – plošné zaťaženie.

Tretí zaťažovací stav pozostáva zo zaťaženia od obvodového muriva a železobetónovej atiky, ktoré sú konštrukciou vynášané. So sadrokartónovými priečkami nie je v stálom zaťažení uvažované, pretože predpokladám ich možnosť premiestnenia. Zaťaženie je zadané ako líniové.

4.2 PREMENNÉ ZAŤAŽENIE

V projekte uvažujem s dvomi typmi premenného zaťaženia. Jedná sa o zaťaženie úžitkové a zaťaženie snehom na strešnej konštrukcii.

Hodnota úžitkového zaťaženia pre kategóriu H – neprístupné strehy s výnimkou bežnej údržby, opráv:

$$q_k = 0,75 \text{ kN/m}^2.$$

Hodnota úžitkového zaťaženia pre kategóriu E2 – plochy pre priemyselné využitie:

$$q_k = 6,50 \text{ kN/m}^2.$$

Prídavné úžitkové zaťaženie za premiestniteľné priečky s vlastnou tiažou $\leq 1,0 \text{ kN/m}$:

$$q_k = 0,50 \text{ kN/m}^2$$

Hodnota zaťaženia snehom pre snehovú oblasť IV. – Lázně Bělohrad:

$$s_k = 2,00 \text{ kN/m}^2$$

Za účelom vytvorenia maximálnych momentov v charakteristických miestach konštrukcie boli na konštrukciu umiestnené zaťažovacie stavy šachov v oboch smeroch.

4.3 ZAŤAŽENIE VYVODENÉ PREDPÄTÍM

Účinky predpätia na konštrukciu sú vyriešené formou ekvivalentného zaťaženia od predpínacieho lana. Zaťaženie je modelované ako líniové, pre každé predpínacie lano zvlášť v oboch smeroch. Návrh predpätia je prevedený metódou vyrovnania zaťaženia.

5. KOMBINÁCIE VÝSLEDKOV

Na výsledné kombinácie účinkov zaťaženia boli použité kombinácie výsledkov.

Pre medzný stav únosnosti:

- rovnica 6.10a

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

- rovnica 6.10b

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

Pre medzný stav použiteľnosti:

- rovnica 6.14b (charakteristická)

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

-rovnica 6.16b (kvazistála)

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

Dielčie súčinitele spoľahlivosti pre medzné stavy únosnosti podľa ČSN EN 1991:

Stále zaťaženie:

| | |
|---------------|--------------------------|
| - priaznivé | $\gamma_{Gj,inf} = 1,00$ |
| - nepriaznivé | $\gamma_{Gj,sup} = 1,35$ |
| - nepriaznivé | $\xi = 0,85$ |

Premenné zaťaženie:

| | |
|---------------|-----------------------|
| - priaznivé | $\gamma_{Q,1} = 0,00$ |
| - nepriaznivé | $\gamma_{Q,1} = 1,50$ |

Dielčie súčinitele spoľahlivosti pre medzné stavy použiteľnosti uvažované 1,00.

Hodnoty súčiniteľa Ψ pre kombinácie zaťažení:

- Úžitkové zaťaženie podľa kategórie zaťažených plôch:

| | |
|----------------------------------|----------------|
| Kategória E: skladovacie plochy: | $\Psi_0 = 1,0$ |
| | $\Psi_1 = 0,9$ |
| | $\Psi_2 = 0,8$ |

Kategória H: strechy:

| |
|--------------|
| $\Psi_0 = 0$ |
| $\Psi_1 = 0$ |
| $\Psi_2 = 0$ |

- Zaťaženie snehom

Pre stavby umiestnené vo výške $H \leq 1000\text{m n.m.}$:

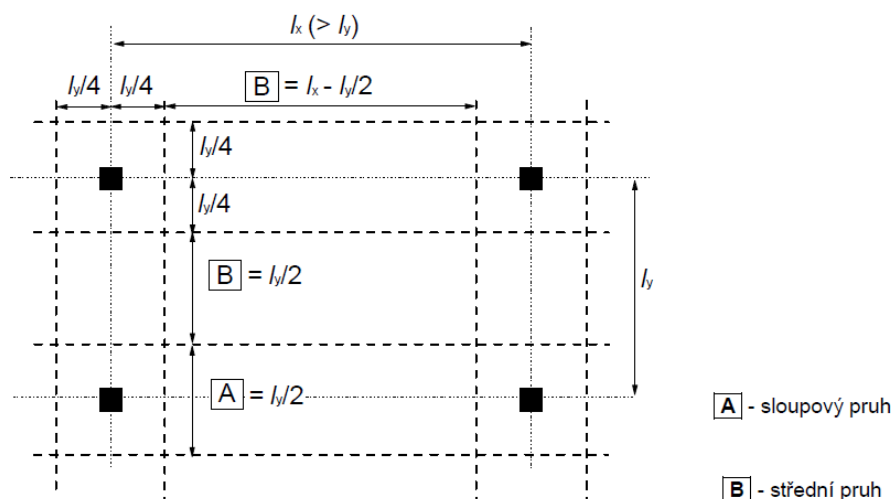
| |
|----------------|
| $\Psi_0 = 0,5$ |
| $\Psi_1 = 0,2$ |
| $\Psi_2 = 0$ |

6. VNÚTORNÉ SILY

Výpočet vnútorných síl bol prevedený dvoma metódami a to ručným výpočtom metódou náhradných rámov a vo výpočtovom softwari RFEM 5.23 metódou konečných prvkov. Pre porovnanie bol vybraný jeden náhradný rám v smere x.

6.1 RUČNÝ VÝPOČET

Prvým krokom ručného výpočtu bolo rozdelenie doskových bolí na stĺpové a stredné pruhy a vytvorenie výseku konštrukcie.



Obrázek I.1 – Rozdělení deskových polí u desek lokálně podepřených

Rozdělení deskových polí u desek lokálně podepřených. [8] – str. 196

Zaťažovací šírka náhradného rámu bola rovná 6,0m. Nasledoval prepočet jednotlivých zaťažovacích stavov pôsobiacich na náhradný rám na určenú zaťažovaciu šírku. Po výpočte vnútorných síl od kombinácií výsledkov bol určený celkový kladný a záporný moment M_{tot} . Dané celkové momenty sa rozdelili v priečnom smere pre stĺpový a stredný pruh s použitím súčiniteľu ω uvedeného v ČSN 73 1201.

ROZDELENIE MOMENTOV V PRIEČNOM SMERE

| PRUH | MIESTO | ω | M_{tot} | $M_{tot} \cdot \omega$ | Šírka pruhu | $\frac{M_{tot} \cdot \omega}{\check{s}}$ |
|--------------|---------|----------|-----------|------------------------|-------------|------------------------------------------|
| STĽPOVÝ | PODPORA | 0,75 | -341,03 | -255,77 | 3,0 | -85,26 |
| | POLE | 0,60 | 218,53 | 131,12 | 3,0 | 43,71 |
| MEDZISTĽPOVÝ | PODPORA | 0,25 | -341,03 | -85,26 | 3,0 | -28,42 |
| | POLE | 0,40 | 218,53 | 87,41 | 3,0 | 29,14 |

- hodnoty ω prevzaté z normy ČSN 73 1201

6.2 VÝPOČTOVÝ SOFTWARE

V programe vytvorený model vytvára reálnejšie pôsobenie konštrukcie stropných dosiek a predpokladá roznos zaťaženia do oboch smerov.

6.3 POROVNANIE MOMENTOV NA NÁHRADOM RÁME

POROVNANIE MOMENTOV Z METÓDY NÁHRADNYCH RÁMOV S MOMENTAMI Z METÓDY KONEČNÝCH PRVKOV ZÍSKANÝCH Z PROGRAMU RFEM (MKP)

| PRUH | MIESTO | m_{MNR} | m_{MKP} | odchýlka |
|--------------|---------|-----------|-----------|----------|
| STĽPOVÝ | PODPORA | -85,26 | -82,61 | 3% |
| | POLE | 43,71 | 46,81 | 7% |
| MEDZISTĽPOVÝ | PODPORA | -28,42 | -25,87 | 9% |
| | POLE | 29,14 | 37,62 | 22% |

VYHODNOTENIE:

Priebeh momentov získaný ručným výpočtom sa od softwarovo zrátaného priebehu momentov líši od 3% do 22%. Táto odchýlka je spôsobená rozdielnym uvažovaním pôsobenia ekvivalentného zaťaženia od predpätia. Zatiaľ čo v ručnom výpočte je uvažované s jedným líniovým zaťažením nahradzujúcim všetky laná pôsobiace na náhradný rám, v priestorovom modeli v programe RFEM 5.23 je toto zaťaženie namodelované pre každé lano samostatne. Napriek týmto rozdielom možno považovať výsledky za zrovnateľné.

7. POSTUP VYSTUŽOVANIA

Celý návrh vystuženia je prevedený na návrhové vnútorné sily.

7.1 VYSTUŽENIE DOSKY D1

Doska D1 je okrem využitia predpínacieho systému vystužená aj betonárskou výstužou. Vystuženie dosky bolo navrhnuté pri oboch povrchoch. Pri spodnom povrchu dosky je navrhnutá základná sieť z prútov priemeru R10 v základom rastri 170x170mm, vyhovujúca minimálnemu vystuženiu dosky a konštrukčným zásadám umiestňovania výstuže. Výstuž horná je nadimenzovaná z prútov priemeru R12 v základnom rastri 240x240mm, doplnená príložkami v nadpodporových oblastiach v závislosti na veľkosti vnútorných síl. V mieste dilatácie je doska opatrená dvojitémi dilatačnými tržmi Jordahl JDSD-Q.

7.2 VYSTUŽENIE DOSKY D2

Základná sieť pre vystuženie dosky D2 bola navrhnutá ako v hornej tak aj v dolnej vrstve rovnaká a to z prútov priemeru R14 v rastri 210x210mm. Oblasti, v ktorých základná sieť nie je dostatočná, sú podľa potreby dodatočne vystužené príložkami. V doske je taktiež navrhnutá výstuž proti pretlačeniu konštrukcie, ktorá je riešená formou systémových líšt s tržmi JDA od výrobcu Jordahl.

7.3 VYSTUŽENIE PRIEVLAKU P1

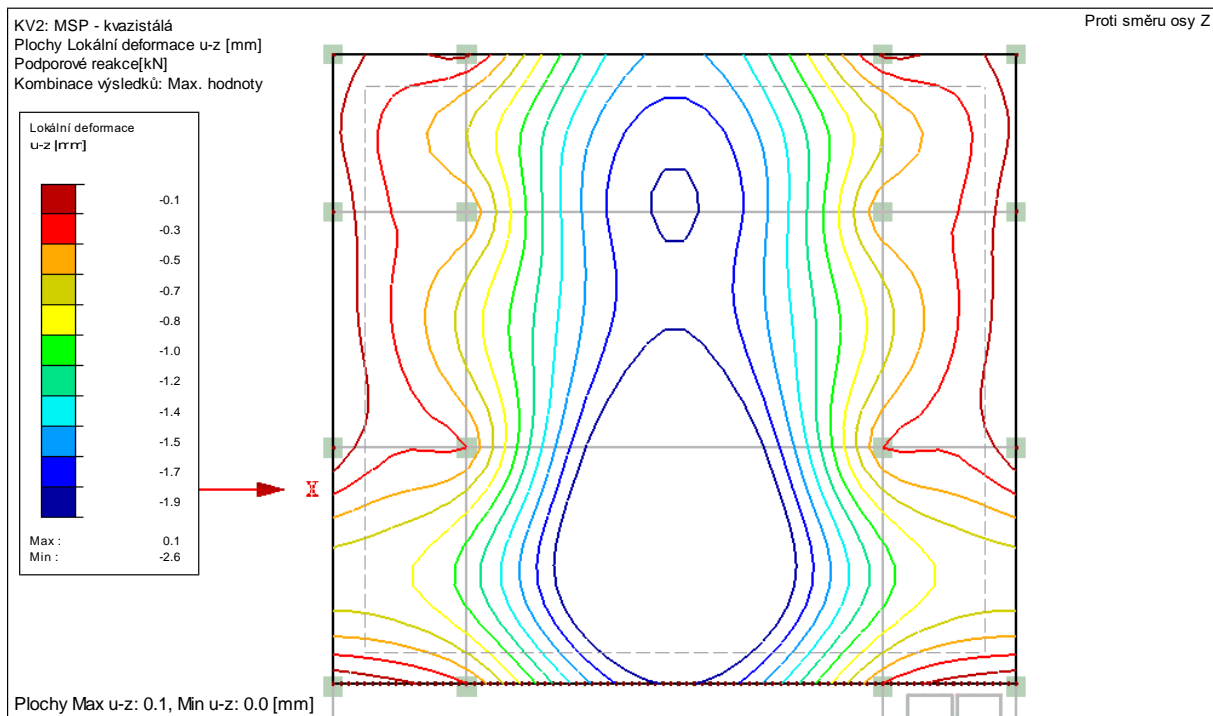
Prievlak bolo nutné posúdiť a navrhnúť nielen na vznikajúce ohybové momenty a posúvajúce sily, ale tiež na interakciu týchto veličín s krútiacimi momentami. Navrhnutá nosná výstuž z prútov priemeru R16 doplnená šmykovou výstužou priemeru R8.

7.4 VYSTUŽENIE STĹPOV

Vo všetkých typoch prierezu stĺpu je navrhnutý jednotný priemer výstuže R18. Vystuženie sa líši ich rozdielnym počtom a umiestnením v jednotlivých prierezoch.

8. POSÚDENIE MEDZNÉHO STAVU POUŽITELNOSTI

Medzný stav použiteľnosti – prieťah, bol posudzovaný na doske D1 s maximálnym pružným prieťahom spočítaným v softwari RFEM 5.23 pri kvazistálej kombinácii zaťaženia. Hodnota tohto prieťahu sa rovnala 2,60mm.



Výsledný prieťah pri návrhovej životnosti konštrukcie 50 rokov s vplyvom dotvarovania a zmršťovania konštrukcie dosiahol hodnotu 9,58mm, čo pri limitnom prieťahu $L/250=42,400\text{mm}$ možno považovať za vyhovujúce.

9. ZÁVER

V mojej diplomovej práci som navrhla riešenie stropnej konštrukcie nad 1.NP jedného pavilónu kúpeľného komplexu Strom života – Lázně Bělohrad a jej podporných konštrukcií s ohľadom na požadovanú požiarnu odolnosť daných konštrukcií.

Ručné overenie výpočtu vnútorných síl metódou náhradných rámov je možné považovať za vhodný spôsob približnej kontroly metódy konečných prvkov programu RFEM 5.23 čo dokazuje aj percentuálne porovnanie.

Na základe ručného statického výpočtu bola vypracovaná výkresová dokumentácia pre jednotlivé dielčie časti konštrukcie.

Zároveň som posúdila priehyb predpätej stropnej dosky v kritickom mieste pri návrhovej životnosti 50 rokov a posúdila vplyv tohto priehybu na celistvosť konštrukcie.

10. ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

POUŽITÁ LITERATÚRA:

- [1] ZICH, Miloš. *Příklady posouzení betonových prvků dle eurokódů*. Praha: Dashöfer, 2010, 145s. ISBN 978-80-86897-38-7
- [2] BAŽANT, Zdeněk, *Betonové konstrukce I - Betonové konstrukce plošné - část 1*. Brno: VUT v Brně, 2005, 56s.
- [3] BAŽANT, Zdeněk, *Betonové konstrukce I - Betonové konstrukce plošné - část 2*. Brno: VUT v Brně, 2004, 73s.
- [4] FILLO, Ľudovít a Jaroslav HALVONÍK. *Betónové konštrukcie: dimenzovanie predpätých konštrukcií*. V Bratislave: Slovenská technická univerzita, 1995. Edícia skrípt. ISBN 80-227-0815-1.
- [5] NAVRÁTIL, Jaroslav. *Předpjaté betonové konstrukce*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2649-7.

NORMY:

- [6] ČSN EN 1990 ed. 2 (730002) *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
- [7] ČSN EN 1991-1-1. (73 0035) *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí, Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [8] ČSN EN 1992-1-1. *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [9] ČSN EN 1992-1-2. *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí: Část 1-2: Obecná pravidla - Navrhování konstrukcí na účinky požáru*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [10] ČSN 73 1201. *Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, 2010.
- [11] ČSN EN 13670 (73 2400) *Provádění betonových konstrukcí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.

WEBOVÉ STRÁNKY:

[12] *Dilatační trny JDS* [online]. [cit. 2021-01-14]. Dostupné z: <https://jpcz.cz/produkty/spojovaci-technika/dilatacni-trny-jds>

[13] *Smyková výztuž na protlačení JDA* [online]. [cit. 2021-01-14]. Dostupné z: <https://jpcz.cz/produkty/vyztuzovani/smykova-vyztuz-na-protlaceni-jda>

[14] *Předpínací výztuž* [online]. [cit. 2021-01-14]. Dostupné z: http://www.freyssinet.cz/176-predpinaci_vyztuz

[15] *Kotvení - Řada F* [online]. [cit. 2021-01-14]. Dostupné z: http://www.freyssinet.cz/166-kotveni_-_rada_f

[16] *Vierbein TF* [online]. [cit. 2021-01-14]. Dostupné z: <https://produkte.reuss-seifert.de/produkte/abstandhalter/648/vierbein-tf>

SOFTWARE:

ARCHICAD 22 - *GRAPHISOFT A Nemetschek Group*

AutoCAD 2019 - *Autodesk*

RFEM 5.23.01 - *Dlubal Software s.r.o.*

JORDAHL Expert

Word - *Microsoft*

Excel - *Microsoft*

11. ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A ZNAKOV

| | |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| A | prierezová plocha |
| A_c | prierezová plocha betónu |
| A_s | prierezová plocha betonárskej výstuže |
| A_i | prierezová plocha ideálneho prierezu |
| $A_{s,min}$ | minimálna prierezová plocha betonárskej výstuže |
| A_{sw} | prierezová plocha šmykovej výstuže |
| B_i | tuhosť neporušeného prierezu |
| B_{ir} | tuhosť prierezu porušeného trhlinou |
| $E_{c,eff}$ | účinný modul pružnosti betónu |
| E_{cm} | sečnový modul pružnosti betónu |
| E_s | návrhová hodnota modulu pružnosti betonárskej ocele |
| EI | ohybová tuhosť |
| G_k | charakteristická hodnota stáleho zaťaženia |
| G_d | návrhová hodnota stáleho zaťaženia |
| I | moment zotrvačnosti prierezu |
| I_i | moment zotrvačnosti ideálneho prierezu |
| I_{ir} | moment zotrvačnosti prierezu porušeného trhlinou |
| L | dĺžka |
| M | ohybový moment |
| M_{Ed} | návrhová hodnota pôsobiaceho vnútorného ohybového momentu |
| M_{Rd} | návrhová momentová únosnosť prierezu |
| M_{cr} | moment na medzi vzniku trhlín |
| MKP | metóda konečných prvkov |
| N | normálová sila |
| N_{Ed} | návrhová hodnota pôsobiacej normálovej sily |
| P | predpínacia sila |
| P_0 | počiatočná sila na aktívnom konci predpínacej vložky ihneď po napnutí |
| Q_k | charakteristická hodnota premenného zaťaženia |
| Q_d | návrhová hodnota premenného zaťaženia |
| S_i | statický moment plochy výstuže k ťažisku ideálneho prierezu |
| S_{ir} | statický moment výstuže k ťažisku prierezu porušeného trhlinou |
| T | krútiaci moment |
| T_{ed} | návrhová hodnota pôsobiaceho krútiaceho momentu |
| V | posúvajúca sila |
| V_{Ed} | návrhová hodnota posúvajúcej sily |
| a | vzdialenosť |
| b | šírka prierezu |
| c_{nom} | menovitá hrúbka betónovej krycej vrstvy |
| c_{min} | minimálna hrúbka betónovej krycej vrstvy |
| Δc_{dev} | povolená výrobná odchýlka krycej vrstvy od nominálnej hodnoty |
| d | priemer |
| d | účinná výška prierezu |
| d_g | najväčší menovitý rozmer zrna kameniva |

| | |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| e | výstrednosť, excentricita |
| f_{bd} | návrhové medzné napätie v súdržnosti |
| f_{cd} | návrhová pevnosť betónu v tlaku |
| f_{ck} | charakteristická pevnosť betónu v tlaku (valcová v dobe 28 dní) |
| f_{cm} | priemerná hodnota valcovej pevnosti betónu v tlaku |
| f_{ctm} | priemerná hodnota pevnosti betónu v dostrednom ťahu |
| f_{ctk} | charakteristická pevnosť betónu v dostrednom ťahu |
| f_p | pevnosť predpínacej ocele v ťahu |
| f_{pk} | charakteristická pevnosť predpínacej ocele v ťahu |
| $f_{p0,1}$ | zmluvná medza klzu 0,1 % predpínacej ocele |
| $f_{p0,1k}$ | charakteristická zmluvná medza klzu 0,1 % predpínacej ocele |
| f_{yk} | charakteristická medza klzu betonárskej výstuže |
| f_{yd} | návrhová medza klzu betonárskej výstuže |
| g_k | charakteristická hodnota stáleho zaťaženia |
| g_d | návrhová hodnota stáleho zaťaženia |
| h | výška prierezu |
| h_s | hrúbka dosky |
| $h_{s,lim}$ | minimálna hrúbka dosky |
| i | polomer zotrvačnosti |
| l | dĺžka alebo rozpätie |
| $l_{b,rqd}$ | základná kotevná dĺžka |
| l_{bd} | kotevná dĺžka |
| $l_{b,min}$ | minimálna kotevná dĺžka |
| l_0 | stykovacia dĺžka |
| s_{max} | maximálna osová vzdialenosť prútov výstuže |
| s_{sn} | minimálna svetlá vzdialenosť medzi prútmi výstuže |
| t | uvažovaný časový úsek |
| t_0 | vek betónu v okamihu zaťaženia |
| v_{Ed} | maximálne šmykové napätie |
| $v_{Rd,c}$ | smyková únosnosť prvku bez šmykovej výstuže |
| v_{min} | minimálna šmyková únosnosť prvku bez šmykovej výstuže |
| $v_{Rd,sy,max}$ | maximálna šmyková únosnosť prvku so šmykovou výstužou |
| x | vzdialenosť neutrálnej osy od najviac tlačeného okraju |
| z_c | rameno vnútorných síl k ťažisku tlačeného betónu |
| α_e | pomer modulov pružnosti betonárskej výstuže a betónu |
| β | súčiniteľ druhu pôsobenia zaťaženia (krátkodobé/dlhodobé) |
| β_t | súčiniteľ krútenia |
| $\beta_{(t_0)}$ | súčiniteľ vyjadrujúci vplyv staroby betónu v okamihu vnesenia zaťaženia na základní súčiniteľ dotvarovania |
| γ_c | súčiniteľ spoľahlivosti betónu |
| γ_s | súčiniteľ spoľahlivosti výstuže |
| γ_G | súčiniteľ stáleho zaťaženia |
| γ_P | súčiniteľ stáleho zaťaženia |
| γ_Q | súčiniteľ premenného zaťaženia |
| ϵ_{cu} | medzné pomerné pretvorenie betónu |
| ϵ_{yd} | pretvorenie betonárskej výstuže |

| | |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| ε_{cs} | voľné pretvorenie od zmršťovania |
| θ | uhol |
| λ | štíhlostný pomer |
| μ | súčiniteľ trenia predpínacej vložky o stenu kanáliku |
| ν | Poissonov súčiniteľ |
| ρ | objemová hmotnosť |
| ρ_{1000} | hodnota straty relaxáciou (v %) 1000 hodín po napnutí pri priemernej teplote 20°C |
| ρ_l | stupeň vystuženia pozdĺžnou výstužou |
| ρ_w | stupeň vystuženia šmykovou výstužou |
| σ_c | tlakové napätie v betóne |
| σ_{cp} | tlakové napätie v betóne vyvolané osovým zaťažením alebo prepätím |
| σ_{cu} | tlakové napätie v betóne pri medznom pomernom stlačení ε_{cu} |
| \emptyset | profil výstuže |
| $\varphi_{(t,t_0)}$ | súčiniteľ dotvarovania |
| φ_0 | základný súčiniteľ dotvarovania |
| φ_{RH} | súčiniteľ vyjadrujúci vplyv vlhkosti prostredia na základný súčiniteľ dotvarovania |
| ψ | súčiniteľ, ktorým sa definujú reprezentatívne hodnoty premenného zaťaženia |

12. PRÍLOHY

- P1. Použité podklady
- P2. Výkresy tvaru a výstuže
- P3. Statický výpočet