



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 STROPNÍ KONSTRUKCE KNIHOVNY

PRESTRESSED CONCRETE SLAB OF LIBRARY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lukáš Slezák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michal Požár, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav betonových a zděných konstrukcí
Student: **Bc. Lukáš Slezák**
Vedoucí práce: **Ing. Michal Požár, Ph.D.**
Akademický rok: 2023/24
Studijní program: N0732A260023 Stavební inženýrství – pozemní stavby

Děkan Fakulty Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Předpjatá stropní konstrukce knihovny

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhnete a posudíte monolitickou předpjatou lokálně podepřenou železobetonovou desku knihovny a případně další vybrané přilehlé nosné prvky podle domluvy s vedoucím diplomové práce. Statickou analýzu provedte v některém programovém systému pro výpočet konstrukcí. Pokud je to možné, provedte kontrolu výpočtu vhodnou zjednodušenou metodou. Vypracujte výkres tvaru dimenzované části konstrukce a podrobné výkresy výztuže posuzovaných prvků. Ostatní úpravy provedte podle pokynů vedoucího práce.

Cíle a výstupy diplomové práce:

Cílem práce je pro zadanou stavbu podrobně početně a výkresově zpracovat nosnou konstrukci, její hlavní části.

Požadované výstupy:

Textová část (obsahuje průvodní a technickou zprávu a ostatní náležitosti dle platných směrnic).

Přílohy textové části:

P1. Použité podklady.

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

P3. Statický výpočet (podrobný statický výpočet nosné konstrukce metodou mezních stavů podle platných předpisů a norem v rozsahu určeném vedoucím práce).

Diplomová práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě.

Seznam doporučené literatury a podklady:

Platné předpisy a normy (včetně změn a oprav):

ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí.

ČSN EN 1991-1 až 7: Zatížení stavebních konstrukcí.

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

Literatura doporučená vedoucím práce.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 31. 3. 2023

L. S.

doc. Ing. Miloš Zich, Ph.D.
vedoucí ústavu

Ing. Michal Požár, Ph.D.
vedoucí práce

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. h. c.
děkan

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem přepjaté stropní desky nad 1.PP dvoupolažního objektu knihovny. Jedná se o lokálně podepřenou desku s využitím předpětí. Analýza vnitřních sil je provedena ručním výpočtem pomocí metody součtových momentů a pomocí výpočetního software SCIA Engineer 22.0, který využívá metodu konečných prvků. Návrh je proveden dle skupiny norem ČSN EN.

KLÍČOVÁ SLOVA

železobeton, výztuž, lokálně podepřená deska, monolitická konstrukce, předpětí, vnitřní síly, metoda součtových momentů, metoda konečných prvků, sloup, mezní stav použitelnosti

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the design of the over-tensioned ceiling slab above the 1st floor of a two-story library building. It is a locally supported slab using prestressing. The analysis of internal forces is carried out by manual calculation using the method of sum moments and using the SCIA Engineer 22.0 calculation software, which uses the finite element method. The design is made according to the ČSN EN group of standards.

KEYWORDS

reinforced concrete, reinforcement, point-supported slab, cast-in-place structure, prestress, internal forces, sum moments method, finite element method, column, serviceability

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SLEZÁK, Lukáš. *Předpjatá stropní konstrukce knihovny*. Brno, 2024. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí Ing. Michal Požár, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Předpjatá stropní konstrukce knihovny* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 11. 1. 2024

Bc. Lukáš Slezák
autor

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji mému vedoucímu práce Ing. Michalovi Požárovi, Ph.D. za ochotu, cenné informace a poznatky z praxe, ale hlavně za čas, který mi věnoval při vypracování této práce.

Obsah

Úvod	10
1. Popis objektu	11
1.1 Stavební řešení objektu	11
1.2 Základové konstrukce	11
1.3 Vodorovné konstrukce	11
1.3 Svislé nosné konstrukce	11
2. Materiály	11
3. Zatížení	13
3.1 Stálé zatížení	13
3.2 Proměnné zatížení	13
3.3 Zatížení vyvozené předpětím	13
4. Kombinace	13
5. Vnitřní síly	13
6. Dimenzování desky	14
6.1 Ohybová výztuž	14
6.2 Výztuž proti protlačení	14
7. Mezní stav použitelnosti	14
8. Dimenzování sloupů	15
Závěr	15
Seznam použitých zdrojů	16
Použitý software	16
Seznam příloh	16
1. P1. Použité podklady	16
2. P2. Výkresu tvaru a výztuže	16
3. P3. Statický výpočet	16

Úvod

Úkolem této diplomové práce je návrh a posouzení železobetonové předpjaté stropní desky knihovny nad 1.PP. Konstrukce je navržena jako bodově podepřená deska s vyloženými konzolami do všech stran a se ztužujícím železobetonovým jádrem. Dále tato práce řeší návrh a posouzení železobetonových sloupových podpor konstrukce.

Cílem této práce je vytvoření odpovídajícího statického modelu konstrukce, výpočet vnitřních sil rozdílnými metodami výpočtu a jejich následné porovnání, nadimenzování předpínací a betonářské výztuže, zpracování výkresové dokumentace a posouzení přetvoření stropní konstrukce.

Prostorový statický model konstrukce a výpočet vnitřních sil na konstrukci je proveden pomocí výpočetního softwaru SCIA Engineer 22.0, který je založený na metodě konečných prvků. Tyto hodnoty vnitřních sil jsou použity pro návrh a posouzení výztuže.

1. Popis objektu

1.1 Stavební řešení objektu

Jedná se o dvoupodlažní objekt knihovny. V 1PP se nachází 32 parkovacích míst. Celé 1PP je umístěno pod úrovní navrženého terénu a přístupné je pomocí vjezdu ze západní strany objektu. V 1NP se nachází samotný prostor knihovny. Prostor není rozdělen příčkami. Přístup do 1NP je z jižní strany objektu, nebo z vedlejšího objektu. Obvodovou konstrukci tvoří skleněné výplně otvorů a skleněné lamely. O přirozené osvětlení prostoru se stará skleněný obvodový plášť a s světlíky ve stropní desce nad 1NP.

Objekt je obdélníkového půdorysu o rozměrech 29x43,6 m, světlá výška 1PP je 2,4 m a 1NP je 3,65 m. Objekt je zastřešen plochou nepochozí střechou s extenzivní zelení.

Konstrukce je navržena jako monolitická, tvořená systémem lokálně podepřených, předpjatých desek podepřených svislými sloupy a ztužujícím železobetonovým jádrem, které zajišťuje ztužení celé konstrukce a není součástí této práce.

1.2 Základové konstrukce

Základové konstrukce nejsou součástí této práce. Přepokládá se založený v systému „Bílé vany“.

1.3 Vodorovné konstrukce

Řešená stropní deska nad 1PP je navržena jako lokálně podepřená předpjatá deska s konstantní tloušťkou 300 mm a s ortogonální výztuží orientovanou v obou směrech při horním a dolním povrchu. Dále je zde využito předpínací výztuže typu „Monostrand“ a smykových trnů.

Posouzení a návrh stropní desky byl řešen pro mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti.

1.3 Svislé nosné konstrukce

Svislé nosné konstrukce tvoří rastr kruhových sloupů o průměru 400 a 500 mm. Pro sloupy byla navržena výztuž a byly posouzeny pomocí interakčního diagramu na zatížení od obou stropních desek, vlastní váhy a proměnného zatížení.

Dalším podporujícím prvkem je ztužující železobetonové jádro, které není součástí této práce.

2. Materiály

Pro návrh desky i sloupů byl použit beton třídy C30/37 a betonářská ocel třídy B500B. V desce je ještě použita předpínací výztuž Y1860 – S7. Třída vlivu prostředí je uvažována jako XC1.

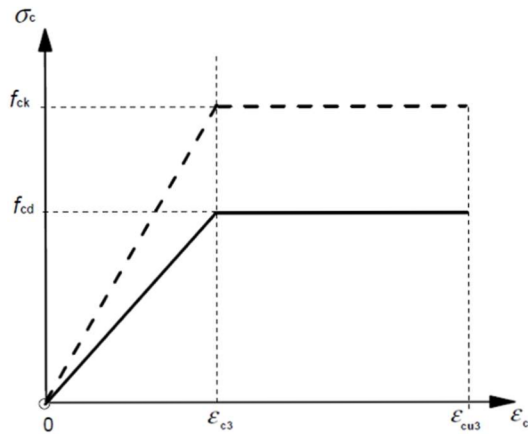
Beton C30/37

Charakteristická válcová pevnost v tlaku:

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

Dílčí součinitel vlastnosti materiálu:
Návrhová pevnost betonu v tlaku:
Průměrná hodnota pevnosti v dostředném tahu:
Sečnový modul pružnosti:

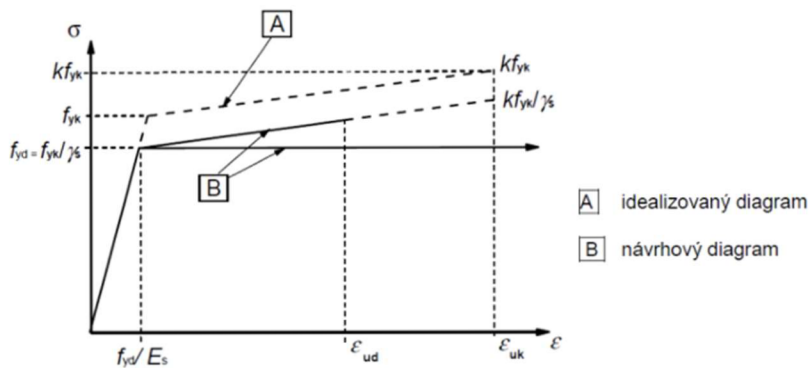
$\gamma_c = 1,5$
 $f_{cd} = 20 \text{ MPa}$
 $f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$
 $E_{cm} = 32 \text{ GPa}$



Ocel B500B

Charakteristická mez kluzu:
Dílčí součinitel vlastnosti materiálu:
Návrhová pevnost v tahu:
Návrhová hodnota modulu pružnosti:

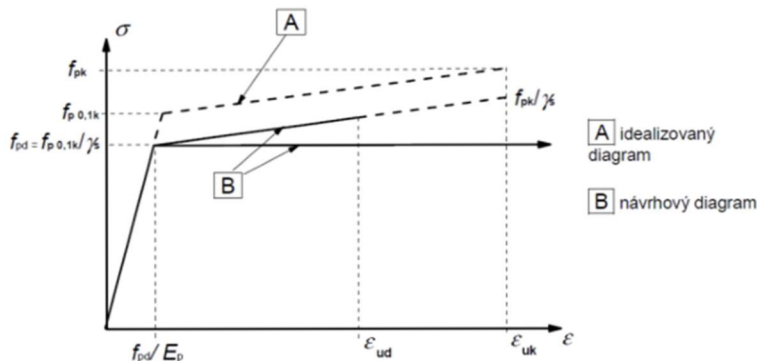
$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
 $\gamma_s = 1,15$
 $f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$
 $E_s = 200 \text{ GPa}$



Předpínací výztuž Y1860 – S7

Charakteristická pevnost v tahu:
Smluvní mez kluzu 0,1:
Návrhová hodnota modulu pružnosti:

$f_{pk} = 1860 \text{ MPa}$
 $f_{p0,1k} = 1670 \text{ MPa}$
 $E_p = 190 \text{ GPa}$



3. Zatížení

Zatížení konstrukce je stanoveno dle ČSN EN 1991-1-1, ČSN EN 1991-1-3, ČSN EN 1991-1-4 a ČSN EN 1991-1-7.

3.1 Stálé zatížení

Je uvažováno plošné zatížení od vlastní tíhy desky, sloupů, stěn, navrhované skladby podlahy v knihovně, střešního pláště a skleněného obvodového pláště.

3.2 Proměnné zatížení

Dle kategorie zatěžovacích ploch, stanovené jako kategorie E: Skladovací plochy, bylo plošné užité zatížení stanoveno na hodnotu $7,5 \text{ kN/m}^2$. Obdobně bylo definováno užité zatížení nepochozí střechy jako kategorie H s hodnotou plošného zatížení $0,75 \text{ kN/m}^2$ a zatížení sněhem $0,8 \text{ kN/m}^2$.

Řešené desky se týká jen zatížení o hodnotě $7,5 \text{ kN/m}^2$. Toto zatížení je rozděleno do 7 zatěžovacích stavů a to: Plně, Šach 1, Šach 2, Pruhy 1x, Pruhy 2x, Pruhy 1y a Pruhy 2y. Účelem rozmístění užitého zatížení je vyvození extrémního zatížení na posuzované konstrukci

3.3 Zatížení vyvozené předpětím

Účinky předpětí na konstrukci jsou vyřešené formou ekvivalentního zatížení od předpínacího lana. Konstrukce byla rozdělena na sloupové a mezisloupové pruhy a pro tyto pruhy bylo stanoveno zatížení od předpínacího lana v obou směrech. Návrh předpětí byl proveden se snahou o vyrovnání průhybu od kvazistálá kombinace zatížení.

4. Kombinace

Pro stanovení namáhání konstrukce pro mezní stav únosnosti jsou použity kombinační rovnice 6.10a a 6.10b dle ČSN EN 1990. Na maximální hodnoty z těchto kombinací se navrhovala a posuzovala výztuž v desce a ve sloupech.

Pro výpočet mezního stavu použitelnosti byly spočteny kombinace charakteristická 6.14b, častá 6.15b a kvazistálá 6.16b.

V modelu jsou použity automaticky generované kombinace Scia Engineer, které byly ověřeny ručním výpočtem.

5. Vnitřní síly

K výpočtu vnitřních sil byl použit program SCIA Engineer, kde byla konstrukce vymodelována jako 3D model výseku konstrukce (tzn. jen uvažované patro). Použity byly plošné dílce jako jsou stěny a desky a 1D dílce definující sloupy. Zatížení od skleněné fasády a skleněných lamel bylo definováno jako liniové zatížení. Ostatní zatížení bylo definováno jako plošné. Zatížení od předpětí bylo definováno jako liniové, liniový moment a plošné zatížení. Program SCIA Engineer provádí výpočet pomocí metody konečných prvků, která spočívá v rozdělení konstrukce na konečný počet prvků, pro které provádí jednotlivé výpočty. Rozdělení konstrukce na konečný

počet prvků, pro které provádí jednotlivé výpočty. Přesnost výpočtu a průběhu vnitřních sil závisí na nastavení hustoty sítě, která rozděluje konstrukci na jednotlivé prvky. V tomto případě byla zvolena průměrná velikost plošného/zakřiveného prvku 0,3 m, což odpovídá tloušťce desky.

Ruční ověření modelu bylo provedeno pomocí metody součtových momentů. Výsledné hodnoty byly porovnány s hodnotami získanými z programu SCIA Engineer.

6. Dimenzování desky

Vnitřní síly byly převzaty z programu SCIA Engineer a byly zprůměrovány na sloupový a mezisloupový pás.

K návrhu ohybové výztuže byly použity základní návrhové veličiny, které zahrnují i působení kroutících momentů.

6.1 Ohybová výztuž

Návrh výztuže byl proveden pro směr X a Y, přičemž směr Y je více zatížený a tedy výztuž ve směru Y je blíže k povrchu jak dolnímu tak hornímu.

Rastr ohybové výztuže byl navržen dle konstrukčních zásad a to profil 10mm po 175mm a obou směrech a při obou površích. Následně byly posuzovány jednotlivé zkoumané pozice a případně dovyztuženy další tyčovou výztuží. Dovyztužení bylo potřeba jen v nadpodporových oblastech.

Součástí ohybové výztuže je i výztuž proti řetězovému zřícení, která je navržena z profilu 16 mm nad každým sloupem v obou směrech.

Vliv nesoudržné předpínací výztuže na ohybovou pevnost byl zanedbán.

6.2 Výztuž proti protlačení

Další řešenou problematikou byl návrh smykových lišt, které jsou součástí předpjaté lokálně podepřené desky. Jsou zvoleny smykové lišty od výrobce Schöck BOLE®, které se umísťují mezi rastr prováděné výztuže. Byl proveden vzorový výpočet a návrh lišt nad sloupem. Zbytek poloh byl řešen tabulkově a lišty byly navrženy v programu od výrobce Schöck BOLE®.

7. Mezní stav použitelnosti

V mezním stavu použitelnosti byla ověřena napjatost v průřezu a to třemi podmínkami. Podmínka pro zamezení vzniku tlakových trhlin (Charakteristická kombinace), podmínka pro zamezení vzniku tahových trhlin (Častá kombinace) a podmínka platnosti lineárního dotvarování (Kvazistálá kombinace). Všechny tyto podmínky byly splněny. Podmínky byly posuzovány ve stejných pozicích, které se používaly pro návrh ohybové výztuže.

Jednotlivé momenty a normálové síly byly převzaty z programu SCIA Engineer a z těchto hodnot byla následně spočítána příslušná napětí.

Jelikož v průřezu nevznikly tahové trhliny, tak lze uvažovat krátkodobý průhyb z programu SCIA Engineer. Dlouhodobý průhyb byl zjištěn při zohlednění dotvarování a smršťování.

Průhyb konstrukce vyhoví.

8. Dimenzování sloupů

Další částí této práce byl návrh a posouzení sloupů podepírající navrhovanou stropní desku. Byly navrženy a vyztuženy dva typové sloupy a to o průměru 400 a 500 mm. Při posouzení sloupu byl použit parabolicko-rektangulární pracovní diagram pro beton namáhaný tlakem. Návrh výztuže a posouzení únosnosti byl proveden pomocí interakčního diagramu.

Závěr

Konstrukce stropní předpjaté desky byla analyzována pomocí 3D modelu v programu SCIA Engineer za použití metody konečných prvků. Správnost modelu byla následně ověřena pomocí metody součtových momentů. Výsledky obou metod byly porovnány v tabulkách. Vzniklé odchylky vyjádřené v procentech jsou způsobené rozdílnou přesností výpočtových metod.

Pro konstrukci byla navržena předpínací výztuž. Její množství a trasování bylo voleno s ohledem na vyrovnání průhybu od kvazistálá kombinace zatížení. Pro předpínací výztuž byly dále spočteny ztráty předpětí a to jak okamžité tak dlouhodobé.

Konstrukce byla následně posouzena na mezní stav použitelnosti a mezní stav únosnosti.

Poslední výpočtovou částí této práce je návrh a posouzení sloupů podepírající navrženou stropní desku.

Na základě zmíněných výpočtu byla vypracována výkresová dokumentace tvarů a výztuže pro navrhovanou stropní desku a sloupy.

Seznam použitých zdrojů

ČSN EN 1990 ed. 2. Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. Třídící znak 73 0002.

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.

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, 2005. Třídící znak 73 0035.

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.

ČSN EN 206+A2. Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021. Třídící znak 73 2403.

Použitý software

SCIA Engineer

Autodesk AutoCAD 2020

Schöck BOLE®

Microsoft Office Word 365

Microsoft Office Excel 365

Seznam příloh

1. P1. Použité podklady

Dispozice knihovny

Podklady pro projektování – Předpínací systém FREYSSINET

2. P2. Výkresu tvaru a výztuže

P2.1	Výkres tvaru stropní konstrukce nad 1PP	1:50
P2.2	Výkres předpínací výztuže	1:50
P2.3	Deska D1 – Výztuž dolního povrchu	1:50
P2.4	Deska D1 – Výztuž proti řetězovému zřícení	1:50
P2.5	Deska D1 – Výztuž horního povrchu	1:50
P2.6	Tvar a výztuž sloupu Ø500 mm	1:20
P2.7	Tvar a výztuž sloupu Ø400 mm	1:20

3. P3. Statický výpočet

P3.1 Statický výpočet

P3.2 Výstup z Schöck BOLE