



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

VARIANTNÍ ŘEŠENÍ LOKÁLNĚ PODEPŘENÉ BETONOVÉ STROPNÍ DESKY

VARIANT SOLUTION OF CONCRETE FLAT SLAB SUPPORTED BY COLUMNS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Karolína Fárková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Perla

BRNO 2024

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav betonových a zděných konstrukcí
Studentka: **Bc. Karolína Fárková**
Vedoucí práce: **Ing. Jan Perla**
Akademický rok: 2023/24
Studijní program: N0732A260026 Stavební inženýrství – konstrukce a dopravní 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:

Variantní řešení lokálně podepřené betonové stropní desky

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Pro zadaný půdorys navrhnete variantní řešení lokálně podepřené stropní desky (železobetonové i předpjaté) a orientačně porovnejte náklady na její zhotovení. Statickou analýzu provedte v některém programovém systému pro výpočet konstrukcí. Dále zjednodušenými metodami ověřte velikost vnitřních sil a výsledky porovnejte.

Vybraná variantní řešení nosné konstrukce posuďte metodou mezních stavů z hlediska únosnosti i použitelnosti a zpracujte prováděcí výkresy.

Ostatní úpravy provádějte podle pokynů vedoucího diplomové práce.

Cíle a výstupy diplomové práce:

Cílem práce je pro vybraná variantní řešení stropní desky podrobně početně a výkresově zpracovat a z hlediska nákladů i orientačně ekonomicky porovnat:

- 1/ stropní desku;
- 2/ další vybrané části nosné konstrukce v rozsahu určeném vedoucím práce.

Diplomovou práci je třeba vypracovat a rozčlenit podle této struktury:

- 1/ textová část;
- 2/ přílohy k textové části:
 - použité podklady;
 - výkresy tvaru a výztuže;
 - statický výpočet.

Textovou část zpracujte v rozsahu a ve formě průvodní a technické zprávy.

Rozsah jednotlivých částí určí vedoucí diplomové práce.

Diplomová práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě.

Seznam doporučené literatury a podklady:

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 EN 1992-1-2: Navrhování betonových konstrukcí. Obecná pravidla - Navrhování na účinky požáru

ČSN EN 1996-1-1: Navrhování zděných konstrukcí. Pravidla pro vyztužené a nevyztužené zděné konstrukce

ČSN EN 1996-2: Navrhování zděných konstrukcí. Podmínky navrhování, výběr materiálů a provádění zdiva

ČSN 73 1201: Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb

Literatura:

podle doporučení vedoucího diplomové 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. Jan Perla
vedoucí práce

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

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem a posouzením lokálně podepřené stropní desky. Deska byla navržena ve variantě železobetonové desky a předpjaté desky, ty byly následně orientačně ekonomicky posouzeny. Pro výpočet vnitřních sil byl vymodelován 3D model v programu FEM 5. Konstrukce byla řešena metodou konečných prvků a metodou náhradních rámu. Obě desky byly posouzeny na mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti.

KLÍČOVÁ SLOVA

Lokálně podepřená stropní deska, železobeton, předpjatý beton, zatížení, metoda konečných prvků, metoda náhradních rámu, mezní stav únosnosti, mezní stav použitelnosti, betonářská výztuž, předpínací lana

ABSTRACT

The thesis focuses on the design and assessment of a locally supported ceiling slab. The slab was designed in two variants: a reinforced concrete slab and a prestressed slab, both of which were subsequently approximately economically evaluated. To calculate internal forces, a 3D model was created using the FEM 5 program. The structural analysis was conducted using the finite element method and the method of equivalent frames. Both slabs were assessed for ultimate limit state and serviceability limit state.

KEYWORDS

Locally supported ceiling slab, reinforced concrete, prestressed concrete, loading, finite element method, method of equivalent frames, ultimate limit state, serviceability limit state, concrete reinforcement, prestressing tendons.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

FÁRKOVÁ, Karolína. *Variantsní řešení lokálně podepřené betonové stropní desky*. Brno, 2024. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí Ing. Jan Perla.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Variantní řešení lokálně podepřené betonové stropní desky* zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 12. 1. 2024

Bc. Karolína Fárková
autor

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěla především poděkovat vedoucímu mé diplomové práce, panu Ing. Janu Perlovi, za ochotu, předání odborných i praktických rad a za jeho cenný čas, strávený při konzultacích. Rovněž bych chtěla poděkovat rodině a všem svým blízkým za veškerou podporu v průběhu celého studia.

Obsah

1.	Úvod	10
2.	Popis konstrukce	11
2.1.	Obecné informace	11
2.2.	Konstrukční systém	11
2.2.1.	Vodorovný konstrukční systém	11
2.2.2.	Svislý konstrukční systém	11
3.	Materiál	12
3.1.	Beton C30/37	12
3.2.	Betonářská výztuž B500 B	12
3.3.	Předpínací výztuž Y1860-S7-15,7	12
4.	Zatížení	13
4.1.	Stálé zatížení	13
4.2.	Proměnné zatížení	13
4.3.	Zatížení od předpětí	13
5.	Výpočetní metody	14
5.1.	Obecně	14
5.2.	Metoda náhradních rámu	14
5.3.	Metoda konečných prvků	14
6.	Kombinace	15
7.	Vyztužování	16
7.1.	Deska D1	16
7.2.	Deska D2	16
8.	Mezní stav použitelnosti – průhyb	17
9.	Ekonomické zhodnocení desek	18
10.	Závěr	19
11.	Použité zdroje	20
11.1.	Normy	20
11.2.	Literatura	20
11.3.	Software	20
12.	Seznam zkratk	21
13.	Seznam příloh	23

1. Úvod

Má diplomová práce se zabývá návrhem stropní desky nad 1.NP v budově vysoké školy ekonomické v Praze. Deska je řešena jako lokálně podepřená stropní deska. Byly navrženy dvě varianty desky, D1 – železobetonová deska a D2 – předpjatá deska. Deska je podepřena sloupy a budova je ztužena proti vodorovným silám ztužujícími ŽB stěnami.

Cílem práce je vytvoření odpovídajícího statického modelu budovy, výpočet vnitřních sil, konstrukční návrh, posouzení obou desek, vypracování výkresové dokumentace a ekonomické porovnání obou variant desek.

Zatížení stropní desky je navrženo dle navrženého působení. Konstrukce byla analyzována pomocí dvou výpočetních metod. Metoda konečných prvků (MKP) pro kterou byl vytvořen prostorový model v programu RFEM 5 pro získání vnitřních sil k dimenzování desky. Metoda náhradních rámu (MNR), která byla taktéž vytvořena v programu RFEM 5, jako prutová konstrukce desky. Tato metoda slouží k porovnání výsledků s metodou konečných prvků.

2. Popis konstrukce

2.1. Obecné informace

Jedná se o návrh objektu Rajské budovy v areálu vysoké školy ekonomické v Praze. Objekt je výškově rozdělen do 5 nadzemních podlaží a 1 podzemního podlaží. 1.PP slouží z většiny jako garážový prostor. V 1.NP se nachází prostory učeben a uprostřed budovy je schodiště pro přístup do 2.NP, nad kterým je schodišťový prostor zastřešen. Následující patra 3.NP a 4.NP jsou půdorysně ve tvaru O a poslední patro tedy 5.NP z důvodu zastřešení části půdorysu nad 4.NP tvaru U. Prostory v patrech 3-5.NP slouží jako prostory pro přednáškové místnosti, učebny, kanceláře, sociální zařízení a společné prostory.

2.2. Konstrukční systém

2.2.1. Vodorovný konstrukční systém

Stropní deska nad 1.NP je řešena jako lokálně podepřená stropní deska ve dvou variantách, železobetonová a předpjatá. Pro obě varianty zůstává půdorysný tvar desky stejný, mění se jen výška desek.

Deska nemá pravidelný tvar, nachází se v ní schodišťové a výtahové prostupy, prostupy pro instalace. Maximální půdorysné rozměry desky 66,40 m v jednom směru a 54,87 m v druhém směru. Rozdělení deskových polí je mezi 8,0 a 7,2 m. Specifikace půdorysného uspořádání viz výkres tvaru.

Výška desky D1 z betonu C30/37 XC1, betonářské výztuže B500B byla stanovena na 0,36 m, vyztužena základní sítí v obou směrech při horním i dolním líci o průměru výztuže 14 mm, oblasti s vyššími momenty či velkými průhyby byly následně dovyztuženy příložkami průměru výztuže 8 a 14 mm. V desce je dále navržena výztuž na řetězové zřícení o průměru 16 mm a smykové lišty navrženy programem HALFEN z důvodu protlačení sloupu, specifikace viz výkres smykové výztuže.

Pro variantu desky D2 předpjaté desky byla stanovena výška na 0,29 m. Deska je z betonu C30/37 XC1, předpínací výztuže typu monostrand s HDPE Y1860 S7-15,7, dovyztužena betonářskou výztuží B500B v základní sítí v obou směrech o průměru 12 mm a dovyztužení příložkami o průměru 12 mm při horním líci. V desce je taktéž navržena výztuž na řetězové zřícení o průměru 14 mm a smykové lišty HALFEN.

2.2.2. Svislý konstrukční systém

Stropní deska je lokálně podepřena sloupy. Sloupy v 1.PP mají půdorysný rozměr 600/600 mm. Sloupy v následujících patrech mají půdorysný rozměr 550/550 mm. Sloupy byly předběžně posouzeny.

Objekt je ztužen proti vodorovným účinkům, a to železobetonovými ztužujícími stěnami o tloušťce 200 mm, půdorysná poloha stěn viz výkres tvaru.

3. Materiál

3.1. Beton C30/37

Charakteristická válcová pevnost	$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
Charakteristická krychelná pevnost	$f_{ck,cub} = 37 \text{ MPa}$
Střední hodnota pevnosti v tahu	$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$
Dolní kvantil	$f_{ctk0,05} = 2,0 \text{ MPa}$
Součinitel spolehlivosti	$\gamma_c = 1,5$
Sečnový modul pružnosti	$E_c = 32 \text{ GPa}$
Jmenovité mezní přetvoření	$\varepsilon_{cu,3} = 3,5 \text{ ‰}$
Střední hodnota pevnosti v tlaku	$f_{cm} = 38 \text{ MPa}$
Návrhová pevnost v tlaku	$f_{cd} = 20 \text{ MPa}$

3.2. Betonářská výztuž B500 B

Minimální mez kluzu	$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
Minimální pevnost v tahu	$f_{tk} = 550 \text{ MPa}$
Součinitel spolehlivosti	$\gamma_s = 1,15$
Modul pružnosti	$E_s = 200 \text{ GPa}$
Přetvoření	$\varepsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$
Návrhová mez kluzu	$f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$

3.3. Předpínací výztuž Y1860-S7-15,7

Pevnost v tahu	$f_{pk} = 1\,860 \text{ MPa}$
Charakteristická mez kluzu 0,1 %	$f_{pk0,1} = 1\,860 \text{ MPa}$
Jmenovitý průměr	$\varnothing_1 = 15,7 \text{ mm}$
Jmenovitá průřezová plocha	$A_{p1} = 150 \text{ mm}^2$
Modul pružnosti	$E_s = 195 \text{ GPa}$

4. Zatížení

4.1. Stálé zatížení

Stálé zatížení je v objektu uvažováno vlastní tíhou, kterou program zohlední sám dle výšky desky. Varianty desek mají navrženou odlišnou výšku. Deska D1 byla navržena s výškou 0,36 m a deska D2 s výškou 0,29 m.

Dále se v konstrukci nachází plošné zatížení od podlah, které jsou uvažovány hodnotou zatížení dle jednotlivých skladeb podlahy (C1, C2, C3) v různých místnostech a plošné zatížení střešního pláště (S1 – nad 2.NP a 5.NP, S2 – nad 4.NP), hodnoty zatížení viz. P3.1.1. Obě tyto plošné zatížení jsou pro obě varianty desek shodné.

Obvodové zdivo a příčky jsou v konstrukci navrženy jako zděné, z toho důvodu je zdivo uvažováno také jako stálé zatížení, tedy jako nepřemístitelné. Zatížení od zdiva je modelováno jako liniové zatížení dle navrženého půdorysného uspořádání. Zde je hodnota zatížení zdiva rozdílná pro desku D1 a D2 z důvodu uvažování rozdílných výšek zdiva. Hodnoty zatížení od zdiva pro desku D1 viz. P3.1.1 a pro desku D2 viz. P3.1.2

4.2. Proměnné zatížení

4.2.1. Užité zatížení

Užitné zatížení je v celém objektu uvažováno hodnotou 3,0 kN/m². Jedná se o administrativní budovu, dle normy ČSN EN 1991-1-1 kategorie C – Shromažďovací plochy. Užitné zatížení bylo uvažováno dle jednotlivých šachů zatížení.

4.2.2. Sníh

Objekt se nachází v Praze, dle mapy sněhových oblastí byla stanovena kategorie sněhové oblasti I.

4.2.3. Vítr

Objekt je ztužen proti vodorovným zatížením. Objekt se nachází ve větrné oblasti I.

4.3. Zatížení od předpětí

Účinky předpětí na konstrukci jsou uvažovány ekvivalentním zatížením dle trasování kabelů pro jednotkovou sílu 100 kN. Zatížení je modelováno jako liniové a bodové zatížení, pro jednotlivé předpínací lana dle zvolené polohy v obou směrech. Následně je ekvivalentní zatížení přenásobeno odpovídající předpínací silou.

5. Výpočetní metody

5.1. Obecně

Pro stanovení vnitřních sil k návrhu desky byla použita metoda konečných prvků MKP. Pro ověření MKP byla použita metoda náhradních rámců MNR. Odchylky metod se pohybovaly v průměrné hodnotě 15 %. Vyšší odchylky mohou být způsobené z důvodu modelování konstrukce v MKP prostorově, s veškerými otvory, které v MNR nelze zohlednit. Vzhledem k půdorysnému rozdělení desky nebylo možné zvolit "ideální" místo pro porovnání.

5.2. Metoda náhradních rámců

Metoda náhradních rámců byla řešena v programu RFEM 5. Náhradní rám byl vymodelován v oblasti B-C o stejných rozměrech jako u metody konečných prvků. Zatížení na rám bylo přepočteno a umístěno do stejných míst a ve stejné hodnotě na konstrukci jako v MKP. Následně byly vytvořeny kombinace zatížení dle rovnic 6.10a a 6.10b a byly stanoveny vnitřní síly. Následně byly hodnoty vnitřních sil přerozděleny do sloupových a středních pruhů pomocí součinitelů.

5.3. Metoda konečných prvků

V programu RFEM 5 byl vymodelován 3D model celé konstrukce včetně všech otvorů v desce. Model je tvořen jednotlivými deskami, sloupy a ztužujícími stěnami. Podpory sloupů v místě základů jsou uvažovány jako vetknuté. Dle půdorysného uspořádání bylo na model umístěno zatížení. Byl proveden výpočet vnitřních sil dle jednotlivých kombinací. V programu byly vytvořeny jednotlivé řezy k porovnání metody s MNR, k zjištění vnitřních sil pro vyztužení konstrukce a k ověření průhybu desek.

6. Kombinace

Byly vytvořeny kombinace výsledků dle jednotlivých rovnic.

Pro mezní stav únosnosti:

Rovnice 6.10a:

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

Rovnice 6.10b:

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

Z obou kombinací byla následně stanovena obálka pro získání více nepříznivých účinků na konstrukci.

Pro mezní stav použitelnosti:

Rovnice 6.14b – Charakteristická kombinace

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

Rovnice 6.15b – Častá kombinace

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

Rovnice 6.16b – Kvizistálá kombinace

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

7. Vyztužování

Z kombinací zatížení byly stanoveny vnitřní síly v programu RFEM 5, na které byla dimenzována výztuž desky.

7.1.Deska D1

Výztuž je navržena dle mezního stavu únosnosti a dle mezního stavu použitelnosti. V desce je použita betonářská výztuž z oceli B500B. Krytí betonářské výztuže od spodního líce je 25 mm od horního líce 29 mm. Mezi horní a dolní výztuží je navržen distanční žebřík výšky 180 mm.

Deska je vyztužena ohybovou výztuží v základní síti, která je stanovena s ohledem na konstrukční zásady vyztužení. Základní síť při dolním i horním líci, v obou směrech X a Y, je vyztužena průměrem výztuže 14 mm s osovou vzdáleností prutů 250 mm. Výztuž je v desce stykována z důvodu maximální délky prutu 12,0 m. Délka stykování výztuže je 630 mm a styky jsou v každé sousední vrstvě vystřídány. Oblasti s vyššími vnitřními silami jsou dovyztuženy příložkami o průměru 8 a 14 mm při horním i dolním povrchu v obou směrech, specifikace viz. výkres výztuže.

V desce je dále navržena výztuž proti řetězovému zřícení s průměrem výztuže 16 mm v počtu 2 ks v každém směru. Výztuž je navržena po celé délce objektu a je tedy stykována. Délka styku je 750 mm.

Oblast desky v místě sloupů je doplněna výztuží proti protlačení sloupů. Oblasti byly posouzeny a navrženy za pomoci programu HALFEN, byly vybrány intervaly vnitřních sil s přibližně podobnými hodnotami. Byly navrženy smykové lišty HDB, které jsou tvořeny děrovanou lištou s navařenými trny s dvojitou hlavou. Specifikace viz. výkres smykové výztuže.

7.2.Deska D2

Jedná se o předpjatou konstrukci desky. Dle vnitřních sil vlastní tíhy desky byla navržena dráha jednotlivých předpínacích lan. V desce je navržena předpínací výztuží Y1860 S7-15,7 s HDPE obalem. V některých místech jsou navrženy lana zdvojená, která k sobě budou zavázána. Předpínací výztuž je zavázána k betonářské výztuži v místě osy podpory a v místě cca 1/2 pole dle trasování. Trasování lan je znázorněno v řezech viz. výkres předpínací výztuže.

Betonářská výztuž je navržena na vykrytí zbytkových momentů dle mezního stavu únosnosti. V desce je použita betonářská výztuž z oceli B500B. Krytí betonářské výztuže od spodního i horního líce je 25 mm.

Deska je dovyztužena ohybovou výztuží v základní síti, která je stanovena s ohledem na minimální stupeň vyztužení dle EN a ČSN. Základní síť při dolním i horním líci, v obou směrech X a Y, je vyztužena průměrem výztuže 12 mm s osovou vzdáleností prutů 240 mm. Výztuž je v desce stykována z důvodu maximální délky prutu 12,0 m. Délka stykování výztuže je 520 mm a styky jsou v každé sousední vrstvě vystřídány. Oblasti nad podporami jsou dovyztuženy příložkami o průměru 12 mm při horním povrchu v obou směrech z důvodu nevyhovujícího posudku na protlačení sloupu, specifikace viz. výkres výztuže.

V desce je dále navržena výztuž proti řetězovému zřícení s průměrem výztuže 14 mm v počtu 3 ks v každém směru. Výztuž je navržena po celé délce objektu a je tedy stykována. Délka styku je 630 mm.

Oblast desky v místě sloupů je doplněna výztuží proti protlačení sloupů. Oblasti byly posouzeny a navrženy za pomoci programu HALFEN, byly vybrány intervaly vnitřních sil s přibližně podobnými hodnotami. Byly navrženy smykové lišty HDB, které jsou tvořeny děrovanou lištou s navařenými trny s dvojitou hlavou. Specifikace viz. výkres smykové výztuže.

8. Mezní stav použitelnosti – průhyb

U desky D1 – deska z železobetonu byl problém s posudkem na průhyb. Aby bylo zajištěno vyhovění průhybu na limitní hodnoty $1/500$ po zabudování konstrukce a $1/650$ po zabudování příček, byla výška desky zvolena v hodnotě 360 mm. Oblasti s největšími vnitřními silami musely být dovyztuženy příločkami o průměru 14 mm s osovou vzdáleností prutů 83 mm. V posudku pole (vymezené osami E-F, 8-9) s největšími vnitřními silami se průřez nachází na mezi vzniku trhlin, kdy při časté kombinaci při krátkodobých ztrátách vznikají trhliny, ale při dlouhodobých trhlina nevzniknou. Trhliny byly přesto zohledněny i v dlouhodobých ztrátách od časté kombinace, z toho důvodu je oblast dovyztužena příločkami při spodním lici.

Deska D2 byla stejným principem posouzena na průhyb. Díky využití předpínacích lan, byl průhyb od vlastní tíhy desky snížen a vznikaly tak nižší průhyby i v časté kombinaci. Deska je navržena o výšce 290 mm, při které vyhoví limitní průhyby desky bez přidavného dovyztužení příločkami. Ve stejné posuzované oblasti jako u desky D1 již nedojde ke vzniku trhlin jak v krátkodobých, tak v dlouhodobých průhybech.

9. Ekonomické zhodnocení desek

Obě desky jsou orientačně ekonomicky porovnány.

Orientační ceny materiálů

Materiál	Cena na MJ	MJ
Beton C30/37	3 500,0	kč/m ³
Výztuž ø8	35,5	kč/kg
Výztuž ø12	30,5	kč/kg
Výztuž ø14	31,0	kč/kg
Výztuž ø16	31,0	kč/kg
Předpínací lana	45 000,0	kč/t
Předpínací kotvy	650,0	kč/ks

Souhrnný výkaz materiálu desky D1:

Materiál	D1 Množství	Jednotky	Cena celkem [kč]
Beton C30/37	1246,86	m ³	4 364 010,0
Výztuž ø8	1 665,00	kg	59 108,0
Výztuž ø14	70 131,00	kg	2 174 061,0
Výztuž ø16	2 992,00	kg	92 752,0
Celkem [kč]			6 689 931,0

Souhrnný výkaz materiálu desky D2:

Materiál	D2 Množství	Jednotky	Cena celkem [kč]
Beton C30/37	1004,42	m ³	3 515 470,0
Výztuž ø12	52 051,00	kg	1 587 556,0
Výztuž ø14	3 432,00	kg	106 392,0
Předpínací lana	12,36	t	556 335,0
Předpínací kotvy	546,00	ks	354 900,0
Celkem [kč]			6 120 653,0

Výsledkem orientačního ekonomického posudku je, že deska D2-předpjatá je ekonomičtější, než desky D1-železobetonová.

Průhyb na konci životnosti je u obou desek téměř shodný.

10. Závěr

Úlohou diplomové práce byl návrh a posouzení lokálně podepřené stropní desky ve variantě D1 – železobetonová deska a D2 – předpjatá deska. Pro analýzu desek byl vymodelován 3D model analyzovaný metodou konečných prvků a model náhradního rámu v programu RFEM 5. Výsledky z obou metod s malými odchylkami vycházely podobně. V 3D modelu byly následně analyzovány oba návrhy desek. Konstrukce obou desek byly posouzeny na mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti. Dle vnitřních sil byla navržena výztuž desky na ohyb, řetězové zřízení a protlačení v oblasti sloupu. Pro obě desky byla zpracována výkresová dokumentace vyztužení. Obě desky byly posouzeny z hlediska požární odolnosti REI90. V posledním kroku byl proveden orientační ekonomický posudek desek podle množství použitých materiálů a porovnán mezi sebou. Rozdíl je zhruba 10 % na jednu desku. Z orientačního ekonomického posouzení tedy vyplývá, že návrh desky D2 z předpjatého betonu je ekonomičtější než návrh desky D1 z železobetonu. Průhyby na konci životnosti u obou desek vychází téměř shodně. Díky snížení výšky desky u D2 nám vznikne vyšší světlá výška místností, která může mít také příznivý vliv při návrhu desky.

11. Použité zdroje

11.1. Normy

- [1] ČSN EN 1990: Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [2] ČSN EN 1991-1-1: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [3] ČSN EN 1992-1-1 ed. 2: Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [4] ČSN EN 1992-1-2: Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování na účinky požáru. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [5] ČSN 73 1201: Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.

11.2. Literatura

- [6] ŠVAŘIČKOVÁ, Ivana. Ing. Ivana Švaříčková, Ph.D.: Pomůcky [online] Dostupné z: <https://vutbr.sharepoint.com/sites/Svarickova>
- [7] HALFEN Durchstanz- und Querkraftbewehrung: Produktinformation technik HDB 17.1[online]. Langenfeld (D), Dostupné z: <http://www.halfen.de>
- [8] ŠIMLER, Miloš. Podklady pro projektování. FREYSSINET SUISTAINBLE TECHNOLOGY. 2011. [online] Dostupné z: https://www.freyssinet.cz/gallery/podklady_pro_projektov
- [9] NEVOGA. Nevoga. S-SCHLANGE lehké provedení. 2023. [online] Dostupné z: <https://www.nevoga.com/cs/product/s-schlange-lehke-provedeni>

11.3. Software

Dlubal RFEM 5
AutoCad 2023
Halfen – HDB 13.71
Microsoft Office Excel
Microsoft Office Word

12. Seznam zkratek

A	průřezová plocha
A _c	průřezová plocha betonu
A _s	průřezová plocha betonářské výztuže
A _i	průřezová plocha ideálního průřezu
A _p	průřezová plocha předpínacího lana
A _{s,min}	minimální průřezová plocha betonářské výztuže
B _i	tuhost neporušeného průřezu
B _{ir}	tuhost průřezu porušeného trhlinou
E _{cm}	sečnový modul pružnosti betonu
E _{c,eff}	účinný modul pružnosti betonu
E _s	modul pružnosti betonářské výztuže
G _k	charakteristická hodnota stálého zatížení
G _d	návrhová hodnota stálého zatížení
I	moment setrvačnosti průřezu
I _i	moment setrvačnosti ideálního průřezu
I _{ir}	moment setrvačnosti průřezu porušeného trhlinou
L	délka
M _{Ed}	návrhová hodnota působícího ohybového momentu
M _{Rd}	návrhová momentová únosnost průřezu
M _{cr}	moment na mezi vzniku trhlin
MNR	metoda náhradních rámců
MKP	metoda konečných prvků
N _{Ed}	návrhová hodnota normálové síly
Q _k	charakteristická hodnota proměnného zatížení
Q _d	návrhová hodnota proměnného zatížení
S _i	statický moment plochy výztuže k těžišti ideálního průřezu
S _{ir}	statický moment výztuže k těžišti průřezu porušeného trhlinou
V _{Ed}	návrhová hodnota posouvající síly
c	rozměr sloupu
c _{nom}	jmenovitá tloušťka betonové krycí vrstvy
c _{min}	minimální tloušťka betonové krycí vrstvy
Δ c _{dev}	povolená výrobní odchylka krycí vrstvy od nominální hodnoty
d	účinná výška průřezu
d _g	největší jmenovitý rozměr zrna kameniva
f _{bd}	návrhové mezní napětí v soudržnosti
f _{ck}	charakteristická pevnost betonu v tlaku (válcová ve stáří 28 dní)
f _{cd}	návrhová pevnost betonu v tlaku
f _{cm}	průměrná hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku
f _{ctm}	průměrná hodnota pevnosti betonu v dostředném tahu
f _{ctk}	charakteristická pevnost betonu v dostředném tahu
f _{yk}	charakteristická mez kluzu betonářské výztuže
f _{yd}	návrhová mez kluzu betonářské výztuže
f	průhyb
f _{lim}	limitní hodnota průhybu

f_{cs}	průhyb od smršťování
g_k	charakteristická hodnota stálého zatížení
g_d	návrhová hodnota stálého zatížení
h	výška průřezu
h_s	tloušťka desky
$h_{s,lim}$	minimální tloušťka desky
l	délka nebo rozpětí
$l_{b,rqd}$	základní kotevní délka
l_{bd}	kotevní délka
$l_{b,min}$	minimální kotevní délka
l_0	styková délka
s	zatížení sněhem
s_{max}	maximální osová vzdálenost prutů výztuže
s_{sn}	minimální světlá vzdálenost mezi pruty výztuže
u	obvod prvku
u_1	základní kontrolovaný obvod
v_{Ed}	maximální smykové napětí
$v_{Rd,c}$	smyková únosnost prvku bez smykové výztuže
v_{min}	minimální smyková únosnost prvku bez smykové výztuže
$v_{Rd,sy,max}$	maximální smyková únosnost prvku se smykovou výztuží
x	vzdálenost neutrální osy od nejvíce tlačného okraje
z_c	rameno vnitřních sil k těžišti tlačného betonu
$1/r_{cs}$	křivost od smršťování
α_e	poměr modulů pružnosti betonářské výztuže a betonu
β	součinitel druhu působení zatížení (krátkodobá/dlouhodobá)
β_t	součinitel kroucení
$\beta(t_0)$	součinitel vyjadřující vliv stáří betonu v okamžiku vnesení zatížení na základní součinitel dotvarování
γ_c	součinitel spolehlivosti betonu
γ_s	součinitel spolehlivosti výztuže
γ_G	součinitel stálého zatížení
γ_Q	součinitel proměnného zatížení
ϵ_{cu}	mezní poměrné přetvoření betonu
ϵ_{yd}	přetvoření betonářské výztuže
ϵ_{cs}	volné přetvoření od smršťování
ρ	stupeň vyztužení
\emptyset	profil výztuže
$\varphi(t,t_0)$	součinitel dotvarování
P	předpínací síla

13. Seznam příloh

- P.1. Použité podklady
- P.2. Výkres tvaru a výztuže
- P.3. Statický výpočet