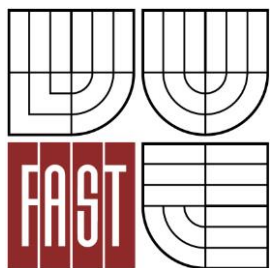




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

NÁVRH PODZEMNÍCH GARÁŽÍ POD OBYTNOU BUDOVOU

DESIGN OF THE UNDERGROUND GARAGE UNDER THE BLOCK OF FLATS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. KATEŘINA CÍSAŘOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. LADISLAV KLUSÁČEK, CSc.

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608R001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav betonových a zděných konstrukcí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Bc. Kateřina Císařová
Název	Návrh podzemních garáží pod obytnou budovou
Vedoucí bakalářské práce	doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2015
Datum odevzdání bakalářské práce	V termínech určených časovým harmonogramem akademického roku, nejpozději do jednoho roku od data zadání bakalářské práce

V Brně dne 30. 11. 2015

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

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

ČSN EN 1992

- podkladové výkresy konstrukce domu
- časopis Beton TKS
- odborná literatura podle doporučení vedoucího práce

Zásady pro vypracování

- předběžný návrh konstrukce
- ověření ULS a SLS navržené konstrukce
- výpočet pomocí software zkontrolovat zjednodušeně,
- vypracovat výkresy tvaru, výztuže

Požadované výstupy:

A) Textová část

A1) Technická zpráva

A2) Průvodní zpráva statickým výpočtem

B) Netextová část (resp. Přílohy textové části)

B1) Použité podklady,

B2) Statický výpočet,

B3) Přehledná grafická dokumentace získaných výsledků

B4) Výkresová dokumentace řešené konstrukce v rozsahu dle vedoucího práce

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).
- 3.

.....
doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.
Vedoucí bakalářské práce

Anotace:

Stěžejním tématem této bakalářské práce je posouzení a návrh vybraných železobetonových prvků konstrukce podzemních garáží administrativní budovy, a to na mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti dle EC2: Navrhování betonových konstrukcí. Konkrétně je řešena konstrukce monolitické stropní desky, průvlaků a sloupů. Ostatní části objektu práce neřeší. Textová část práce je věnována popisu posuzovaných konstrukcí a zatížení na ně působících. Dále je zde popsán způsob navrhování konstrukcí, metody výpočtu vnitřních sil, a také způsob modelování konstrukce v programu SCIA Engineer. Přílohy tvoří především statický výpočet, který textovou část doplňuje a rozvádí, a výkresová dokumentace.

Klíčová slova:

Monolitická železobetonová deska, průvlak, trám, stěna, sloup, beton, železobeton, SCIA Engineer, zatížení, zatěžovací stavy, osamělé břemeno, kombinace, metoda konečných prvků, metoda náhradních nosníků, metoda třímomentových rovnic, dimenzování, vnitřní síly, ohyb, smyk, ohybový moment, posouvající síla, kotevní délky, interakční diagram, výztuž, mezní stav únosnosti, mezní stav použitelnosti, napětí, trhлина, průhyb, tuhost

Abstract:

As the main topic this thesis describes the design and evaluation of selected reinforced concrete members of the underground garage construction of the administration building at ultimate limit state and also at serviceability limit state, both in accordance with EC2: Design of Concrete Structures. Designed members in particular are monolithic slab, girders and columns. Structural design and evaluation of other structures of the building are not part of this thesis. The text part of the thesis concerns the descriptions of analysed structures and also the descriptions of the loads acting on them. Method of designing of the structures, methods of calculating of inner forces, and also the method of modelling the structure in software SCIA Engineer are herein further described. The annexes are mainly structural analysis, which expresses the knowledge obtained from the theoretical part of this thesis, and the drawing documentation.

Key words:

Monolithic reinforced concrete slab, girder, beam, wall, load bearing column, concrete, reinforced concrete, SCIA Engineer, load, loading cases, point load, combinations, Finite Element Method, Substitute Frame Method, Three Moment Equation Method, design, internal forces, bending, shear, bending moment, shear force, anchorage lengths, interaction diagram, reinforcement, ultimate limit state, serviceability limit state, stress, crack, deflection, stiffness

Bibliografická citace VŠKP:

Bc. Kateřina Císařová *Návrh podzemních garáží pod obytnou budovou*. Brno, 2016. 36 s., 186 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 27. 5. 2016

.....

podpis autora
Bc. Kateřina Císařová

Poděkování:

Ráda bych vyjádřila doc. Ing. Ladislavu Klusáčkovi, CSc. své poděkování, za odborné vedení této bakalářské práce, také za poskytnutí užitečných informací, rad a připomínek, a především za jeho ochotu a čas, kterými mi při tvorbě této práce věnoval.

Dále bych na tomto místě chtěla poděkovat svým rodičům za jejich podporu a důvěru během celého mého studia.

Obsah

1. ÚVOD	1
2. POPIS STAVBY A ANALYZOVANÝCH KONSTRUKCÍ	3
2.1 POPIS ŘEŠENÉ ADMINISTRATIVNÍ BUDOVY	3
2.2 ZÁKLADOVÉ A GEOLOGICKÉ POMĚRY V LOKALITĚ	4
2.3 ZATÍŽENÍ KONSTRUKCE	5
2.4 POPIS A GEOMETRIE NAVRHOVANÝCH KONSTRUKCÍ	6
2.5 POUŽITÉ MATERIÁLY A JEJICH PARAMETRY	7
3. NÁVRH A POSOUZENÍ KONSTRUKCE	10
3.1 NÁVRH DRUHU STROPNÍ DESKY A TUHOSTI PRŮVLAKŮ.....	11
4. VÝPOČETNÍ METODY	13
4.1 METODA KONEČNÝCH PRVKŮ	13
4.2 METODA NÁHRADNÍCH NOSNÍKŮ	13
4.3 METODA TŘÍMOMENTOVÝCH ROVNIC	15
5. MODELOVÁNÍ KONSTRUKCÍ V PROGRAMU SCIA ENGINEER	18
6. ZÁVĚR	21
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	22
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	23
SEZNAM TABULEK, OBRÁZKŮ A GRAFŮ	29
SEZNAM PŘÍLOH	30

1. Úvod

V dnešní době, kdy počet osobních automobilů jak v České republice, tak i v jiných vyspělých státech světa stále narůstá, je parkování velmi aktuálním tématem diskuze. Problémy s nedostatkem parkovacích míst nejvíce pociťují obyvatelé a návštěvníci center velkých měst. Je tedy nasnadě nejen najít východisko ze stávající situace, ale také se vyhnout danému problému do budoucna při rozvoji měst a budování nových objektů.

Jelikož není možné vyhradit veškerý nezastavěný prostor parkovacím plochám a domům, může být jedním z východisek z dnešní nevyhovující situace například využití podzemního prostoru jako podzemních garáží.

Toto řešení přináší mnohé výhody. Jednou z nich je již zmíněná bezesporu vhodnější možnost využití volného území na povrchu k výsadbě zeleně či rekreačních ploch, a to především v hustě zastavěných oblastech. Za další výhodu lze považovat fakt, že přenesení části automobilového provozu do podzemí snižuje množství emitovaného prachu a hluku na povrchu. Z výše uvedeného vyplývá, že výstavba podzemních garáží přispívá nejen k ochraně životního prostředí, ale také k celkovému zkvalitnění života obyvatel měst.

S realizací a s užíváním podpovrchových prostor přichází samozřejmě i některé nevýhody. Mezi ty hlavní patří relativně vysoké náklady na výstavbu a údržbu. V minulosti tento fakt vedl mnohé investory k přehodnocení způsobu realizace stavebního záměru. Ekonomická situace se ale změnila a díky stále zvyšující se poptávce po parkovacích místech je mnoho těchto projektů již v různých fázích výstavby. S využitím nových technologií, mezi které patří například automatické parkovací systémy, se pak náklady na výstavbu snižují, jelikož je ušetřeno velké množství prostoru. Výhody využití podzemního prostoru pak převyšují.

Automatické parkovací systémy (APS) zajišťují maximální využití parkovacích kapacit při minimalizaci komunikačních ploch. I z těchto důvodů je jeden z mnoha druhů APS navržen v podzemních garážích, jejichž návrh, respektive návrh a posouzení vybraných konstrukčních částí těchto garáží, je náplní této bakalářské práce.

Bakalářská práce je rozdělena do tří základních částí. První z nich tvoří návrh umístění, dispozice a konstrukčního řešení podzemních garáží pod vybranou administrativní budovou. Tato část práce nemá vlastní textovou část. Výsledný návrh je však součástí přílohy A v podobě výkresové dokumentace.

Druhou významnou částí práce je textová část, ve které jsou blíže popsány navrhované a posuzované konstrukce, zatížení na ně působící, dále také způsob navrhování těchto konstrukcí nebo metody výpočtu vnitřních sil. V neposlední řadě je zde uveden způsob modelování konstrukce v programu SCIA Engineer.

Třetí část práce tvoří v podobě přílohy B1 statický výpočet vybraných železobetonových prvků konstrukce podzemních garáží, a to monolitické stropní desky, průvlaků a sloupů. Tyto prvky jsou posouzeny dle EC2: Navrhování betonových konstrukcí, jak na mezní stav únosnosti, tak na mezní stav použitelnosti. Součástí některých kapitol statického výpočtu je také stručné vysvětlení způsobů výpočtů, které nebyly blíže popsány v části textové. Statický výpočet je nakonec doplněn přílohou C, kterou tvoří výkresová dokumentace posuzovaných prvků.

Hlavním cílem práce je tedy návrh a posouzení stropní desky, průvlaků a sloupů konstrukce podzemních garáží pod vybranou administrativní budovou.

2. Popis stavby a analyzovaných konstrukcí

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a posouzením vybraných železobetonových konstrukcí prvního podzemního podlaží administrativní budovy, kterými jsou stropní deska, průvlaky a sloupy.

2.1 Popis řešené administrativní budovy

Novostavba správní budovy společnosti KADAMO a.s. se má nacházet v méně zastavěné zóně města Ostravy se stavbami průmyslového charakteru, v městské části Ostrava – Vítkovice. Tato budova bude postavena na místě stávající správní budovy společnosti, která je sestavena z Unimobuněk a bude v plném rozsahu odstraněna. Ostatní stávající přilehlé objekty zůstanou bez stavebních zásahů. V řešeném území se nenachází chráněné památkové prvky, památné stromy ani jiné krajinné prvky, rovněž zde není navržena evropsky významná lokalita a objekt nezasáhne do žádného z ochranných pásem energetického zařízení.

Novou budovu tvoří tři nadzemní podlaží sloužící pro administrativní účely a jedno podzemní podlaží, které slouží jako podzemní garáže. Navrhovaný objekt má půdorysné rozměry 25,8 m x 12,4 m a výšku 10,3 m.

Nadzemní část je navržena jako zděný trojlodní podélný systém o třech nadzemních podlažích o světlé výšce 2,7 m s přístavkem k prvnímu nadzemnímu podlaží, který slouží jako vjezd do garáží. Nosné zdivo 1.NP až 3.NP je dle návrhu provedeno z vápenopískových tvárnic systému KMB SENDWIX tloušťky 250 mm, v případě obvodových stěn se zateplením tl. 200 mm. Dělicí příčky jsou z tvárnic YTONG tl. 100 a 150 mm.

V podzemní části 1. PP jsou podélné vnitřní nosné stěny nahrazeny nosným systémem železobetonových průvlaků a sloupů. Návrh a posouzení některých z těchto prvků je součástí této bakalářské práce. Obvodové stěny i příčné vnitřní nosné stěny podzemního podlaží jsou navrženy z betonových bednicích tvarovek PREFA BRNO BTB P + D tloušťky 250 mm.

Stropy nad všemi podlažími jsou tvořeny monolitickými železobetonovými deskami o tloušťce 200 mm, v některých částech doplněnými monolitickými železobetonovými trámy. Nadzemní podlaží jsou propojena monolitickým železobetonovým schodištěm.

2.2 Základové a geologické poměry v lokalitě

Podloží pod plánovanou stavbou je stanoveno dle výsledků původních sond v dané lokalitě. Profil archivního vrtu v nadmořské výšce 223,5 m n. m. získaný z archivní databáze České geologické služby (Geofond) je popsán v následující tabulce:

Tabulka č. 2.1:

Vrstva	Popis	Hloubka [m]
1	Navážka	0 – 0,7
2	Hlína jílovitá písčítá tuhá šedá hnědá	0,7 – 1,2
3	Štěrk hlinitý písčítý zvodnělý ulehlý hnědý	1,2 – 3,8
4	Štěrk hrubozrnný zvodnělý ulehlý šedý	3,8 – 5,8
5	Jíl vápnitý pevný zelený šedý	5,8 – 6,0

Předpokládá se, že v základové spáře se vyskytují pevné jíly nebo středně ulehlý štěrk. V případě, že se v základové spáře budou vyskytovat zeminy horších parametrů, bude nutné tuto skutečnost konzultovat s projektantem – statikem a dohodnout opatření, která umožní stavbu bezpečně založit. Mezi ty patří například vybrání neúnosné části podloží, zhutnění štěrkového polštáře, popřípadě provedení podbetonování až na úroveň základové spáry.

Ustálená hladina podzemní vody je určena v hloubce 1,80 m až 2,5 m. V těsné blízkosti objektu se vyskytuje menší vodní plocha a řeka Ostravice protéká cca 350 m východně od budovy. Podle platného územního plánu se lokalita nenachází v záplavovém území a stavenišťem neprochází ochranné pásmo vodního zdroje.

Podle Mapy ložiskové ochrany – Moravskoslezský kraj se stavba nachází v chráněném ložiskovém území. Rozhodnutí Ministerstva životního prostředí o změně podmínek ochrany ložisek černého uhlí v části CHLÚ české části Hornoslezské pánve č. j. 580/263c/EN/09 ze dne 3. 7. 2009 zařazuje řešené území do plochy „M“ uvedeného CHLÚ, kde jsou veškeré stavby a zařízení nesouvisející s dobýváním realizovány bez zvláštních opatření proti účinkům poddolování. Z průzkumu vyhotoveného Ing. Ivanem Doležalem Radkontrol, bylo zjištěno nízké radonové riziko.

Stěny i sloupy jsou založeny na železobetonové základové desce z vodotěsného betonu s portlandským struskovým cementem CEM II/B-S 32,5 R, která spolu s obvodovými stěnami 1. PP tvoří základovou konstrukci v podobě bílé vany. Návrh základové desky ani svislých nosných a příčných stěn není součástí této bakalářské práce, jelikož by již přesahoval její rozsah. Pod základovou deskou bude provedena

podkladní betonová mazanina v tl. 160 mm vyztužena při obou lících KARI sítí. Na tento podkladní beton bude provedena vodotěsná izolace. Po dokončení betonáže svislých nosných stěn a jejich odbednění bude provedena svislá tepelná izolace z extrudovaného polystyrénu.

2.3 Zatížení konstrukce

Jak v případě desky, tak i v případě ostatních posuzovaných konstrukcí jsou v modelu zatížení zahrnuty pouze běžné druhy zatížení, jimiž jsou zatížení stálá a užitná.

V modelu zatížení stropní desky jsou uvažována některá zjednodušení. Nepředpokládá se zatížení vlivem provozní teploty, jelikož rozdíly teplot mezi podlažními jsou zanedbatelné. Dále do modelu není zahrnut vliv dotvarování ani vliv poklesu podpor, jelikož se předpokládá dostatečná tuhost základové desky, díky které je sedání sloupů zanedbatelné. Žádná mimořádná zatížení nejsou rovněž zahrnuta. Dalším zjednodušením je zanedbání vlivu zatížení od konstrukce schodiště, které propojuje nadzemní podlaží. Tato konstrukce je vetknutá do nosných stěn a na posuzovanou desku má zanedbatelný vliv. Jelikož analyzované části nosné konstrukce nejsou přímo zatíženy sněhem nebo větrem, není ani tento typ zatížení součástí modelu.

Zatížení sněhem se uvažuje v rámci zatížení, které přenáší vnitřní nosné stěny do stropní desky. Řešený objekt se nachází v oblasti Ostravy Vítkovic, pro kterou je dle sněhové mapy (www.snehovamapa.cz) stanovena hodnota normového zatížení sněhem $s_k = 0,9$ kN/m². Typ krajiny se řadí mezi normální, a z toho vyplývají hodnoty součinitele expozice C_e a součinitele tepla C_t rovno 1,0. Součinitel tvaru střechy μ se pro střechu se sklonem $\alpha = 5^\circ$ rovná 0,8. Charakteristické zatížení sněhem je stanoveno následujícím výpočtem.

$$s = s_k \cdot C_e \cdot C_t \cdot \mu \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad (6.1)$$

$$s = 0,9 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,8 = 0,72 \text{ kN/m}^2 \quad (6.2)$$

Analyzované konstrukce jsou tedy zatíženy stálým a užitným zatížením dle ČSN EN 1990 – Zásady navrhování konstrukcí a ČSN EN 1991 – Zatížení konstrukcí. [7] Přesné hodnoty těchto zatížení jsou uvedeny v kapitole 2. statického výpočtu.

Jako stálé zatížení stropní desky je uvažována jak vlastní tíha této konstrukce, tak ostatní stálá zatížení. Mezi ty patří zatížení od příček YTONG a vnitřních nosných stěn přenášejících zároveň část zatížení z vyšších pater, dále pak zatížení od podlah a od zavěšené

kabeláže. V těch částech stropní desky, které se nachází v prostorech vjezdů do garáže, je přidáno další ostatní stálé zatížení reprezentující působení tíhy prvků automatického parkovacího systému. Hodnoty užitečných zatížení jsou stanoveny dle kategorií zatížených ploch. Kanceláře a zasedací místnosti se řadí do kategorie B – kancelářské plochy. Chodby jsou uvažovány jako plochy, kde může docházet ke shromažďování lidí, tedy patří do kategorie C a podkategorie C3 – přístupové plochy ve veřejných a administrativních budovách. Do kategorie F – dopravní a parkovací plochy pro lehká vozidla patří užitečná zatížení nad částí stropu garážových vjezdů.

Všechna výše uvedená zatížení od desky tvoří také ostatní stálé zatížení trámu. To je spolu s vlastní tíhou trámu jeho celkovým zatížením.

Sloup, jako další nosný prvek systému konstrukce, přenáší výše uvedená zatížení spolu se svou vlastní tíhou do základové konstrukce.

Podrobný popis a výpočet zatížení, stejně jako zatěžovací stavy a jejich možné kombinace obsahuje příloha B1 Statický výpočet.

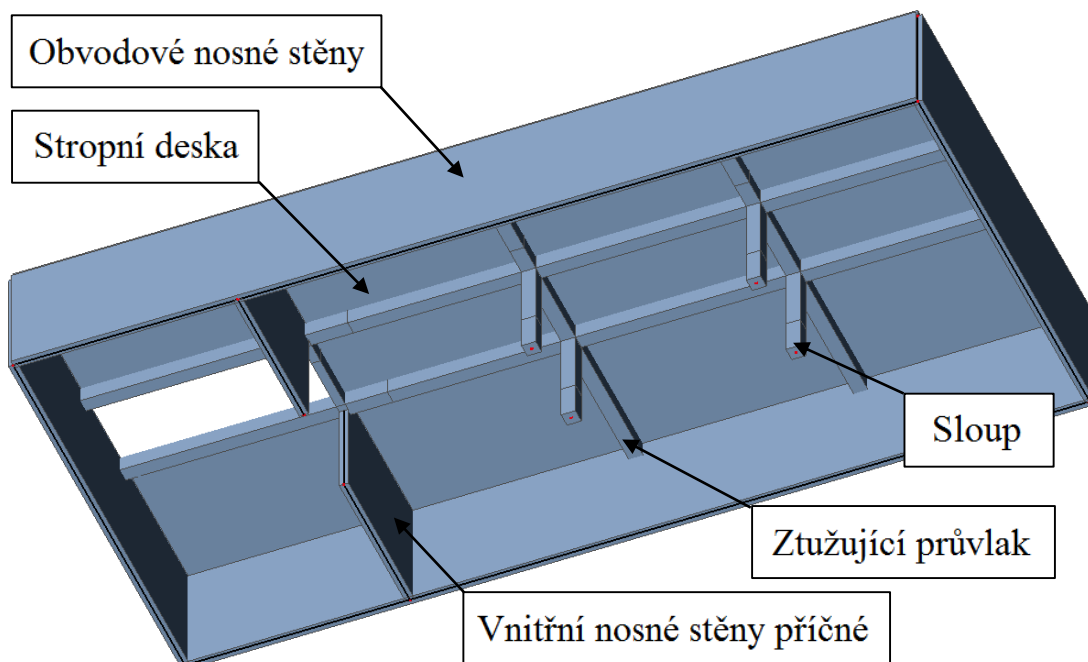
2.4 Popis a geometrie navrhovaných konstrukcí

Zkoumaná stropní konstrukce je navržena jako monolitická spojitá ve dvou směrech působící deska o jedenácti polích s různou délkou i šířkou. Celá deska i jednotlivá pole mají obdélníkový tvar. Půdorysné rozměry této konstrukce jsou 25,15 x 11,7 m a její tloušťka je 200 mm. Stropní deska je po obvodě podepřená a napojena na monolitické železobetonové stěny, jedná se o vetknutou konstrukci (vetknuté uložení).

Trámy jsou uvažovány jako prosté spojitě nosníky, které jsou stejně jako deska vetknuté do obvodových stěn. Výška trámů je dle předběžného návrhu 640 mm a jejich šířka je stanovena dle rozměrů sloupů na 400 mm, tak aby bylo usnadněno provádění daných konstrukcí na stavbě.

Sloupy mají čtvercový průřez o velikosti stran 400 mm. Výška sloupů je stanovena dle projektové dokumentace na 2,85 m. Sloupy jsou vetknuty do základové desky.

Geometrický tvar konstrukcí je zobrazen na následujícím obrázku:



Obr. 2.1 3D model 1. PP ve SCIA Engineer – pohled zespodu

2.5 Použité materiály a jejich parametry

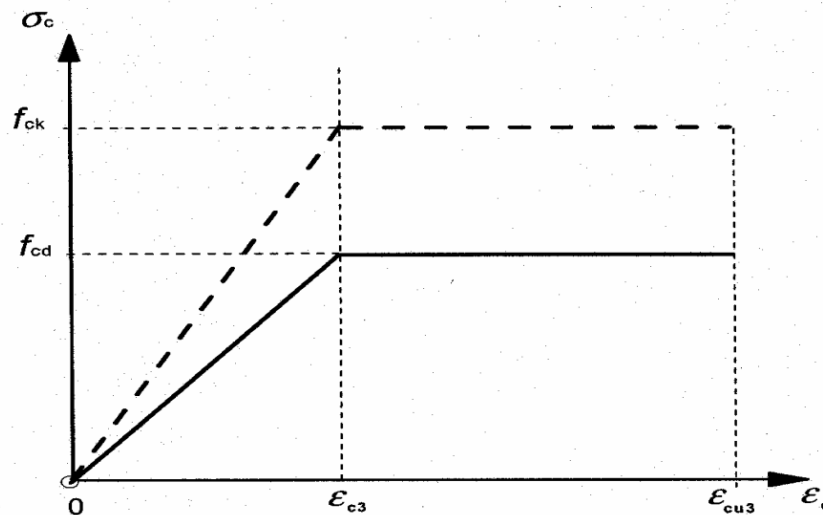
Stropní deska spolu s průvlaky je umístěna nad podzemními garážemi, ve kterých se nachází i projektované sloupy. V těchto garážích lze předpokládat vyšší vlhkost vzduchu a z tohoto důvodu je stupeň vlivu prostředí z hlediska karbonatace určen jako XC3 – středně vlhké prostředí.

Vzhledem ke stanovenému stupni vlivu prostředí je pro návrh stropní desky, průvlaků a sloupů zvolen beton třídy C30/37. Zohledněn je i fakt, že ze stejného materiálu jsou postaveny také stropní desky nad nadzemními podlažími. Pro vyztužení prvků je zvolena betonářská výztuž B500B různých průměrů a délek dle návrhu. Mechanické vlastnosti jednotlivých materiálů jsou uvedeny v následujících tabulkách.

Beton C30/37

Tabulka č. 2.2:

Název veličiny		Jednotky	Značení	Hodnota
Pevnost v tlaku	charakteristická	[MPa]	f_{ck}	30
	střední	[MPa]	f_{cm}	38
Pevnost v tahu	střední	[MPa]	f_{ctm}	2,9
Modul pružnosti	střední	[GPa]	E_{cm}	32
Mezní přetvoření		[%o]	ϵ_{cu3}	3,5



Graf. 2.1 Pracovní diagram betonu v tlaku – návrhový bilineární [8]

Návrhová pevnost betonu v tlaku:
$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa} \quad (2.1)$$

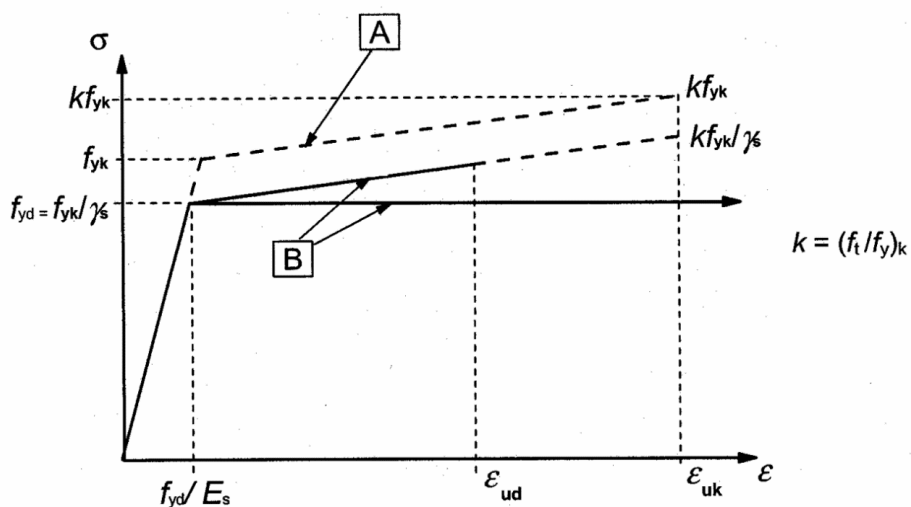
Betonářská výztuž B500B

Tabulka č. 2.3:

Název veličiny	Jednotky	Značení	Hodnota
Mez kluzu	[MPa]	f_{yk}	500
Modul pružnosti střední	[GPa]	E_s	200

Návrhová pevnost výztuže v tahu:
$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa} \quad (2.2)$$

Přetvoření výztuže na mezi kluzu:
$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,78 \cdot 10^3}{200} = 2,17 \text{ ‰} \quad (2.3)$$



Graf. 2.2 Pracovní diagram betonářské oceli v tahu: A – idealizovaný, B – návrhový [8]

Dílčí součinitele materiálů pro mezní stavy únosnosti jsou při návrhových situacích trvalých nebo dočasných pro beton $\gamma_c = 1,5$ a pro betonářskou ocel $\gamma_s = 1,15$. Pro mezní stav použitelnosti jsou dílčí součinitele materiálů rovny 1.

3. Návrh a posouzení konstrukce

Návrh a posouzení projektovaných konstrukcí v rámci této bakalářské práce je proveden jak podle mezního stavu únosnosti, tak podle mezního stavu použitelnosti. To znamená, že tyto konstrukce jsou navrženy tak, aby po celou dobu svojí životnosti plnily podmínky spolehlivosti, tedy aby odolaly vnějším vlivům a zatížením, jež na ně působí, a zároveň sloužit požadovanému účelu. Ke zjištění splnění podmínek spolehlivosti konstrukce se porovnávají účinky zatížení vyplývající z užitkových požadavků kladených na konstrukci s odolností této konstrukce [4], viz vzorec

$$E \leq R \quad (3.1)$$

Konkrétně pro mezní stav únosnosti je obecná podmínka spolehlivosti dána vzorcem

$$E_d \leq R_d \quad (3.2)$$

kde E_d je návrhová hodnota účinků zatížení stanovených pro mezní stav únosnosti a R_d je návrhová přípustná hodnota těchto účinků. Mezní stav únosnosti se týká zejména bezpečnosti osob a konstrukce. [4]

Pro mezní stav použitelnosti je obecná podmínka spolehlivosti dána vzorcem

$$E_d \leq C_d \quad (3.3)$$

kde E_d je návrhová hodnota účinků zatížení stanovených pro mezní stav použitelnosti a C_d je návrhová hodnota příslušného kritéria spolehlivosti. Mezní stavy použitelnosti se dělí na vratné, nevratné a ty, které jsou vyvolané únavou nebo jinými časově závislými účinky. Posouzením konstrukcí na MSP má být dokázáno, že dané konstrukce splňují vlastnosti potřebné k bezproblémovému provozu objektu, jehož jsou součástí, a další kritéria, mezi které patří například vzhled. [4]

Jak je patrné z výše uvedených vzorců, při ověřování, zda není v některé návrhové situaci překročen některý z mezních stavů, se posuzují návrhové hodnoty zatížení a návrhové hodnoty odolnosti konstrukce.

Návrhové hodnoty odolnosti konstrukce se stanoví například z návrhových hodnot charakteristik materiálů nebo rozměrů.

Pro zjištění návrhových hodnot zatížení je použita metoda dílčích součinitelů. Návrhové hodnoty zatížení F_d jsou vyjádřeny reprezentativními hodnotami zatížení F_{rep} vynásobenými dílčím součinitelem zatížení γ_F , viz následující vztah

$$F_d = F_{rep} \cdot \gamma_F \quad (3.4)$$

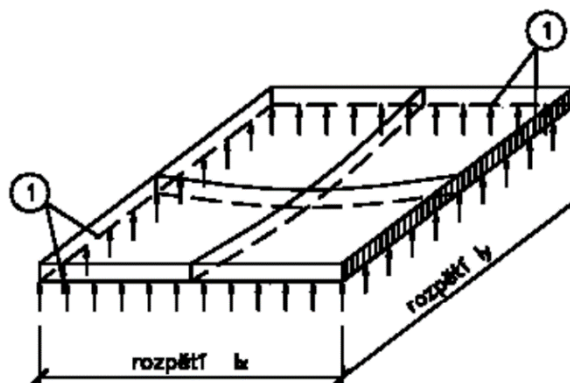
Reprezentativní hodnota zatížení F_{rep} se stanoví z charakteristické hodnoty zatížení F_K , jež je vynásobena součinitelem ψ nebo ψ_0, ψ_1, ψ_2 (více k hodnotám viz kapitola 3. kombinace zatížení ve statickém výpočtu).

3.1 Návrh druhu stropní desky a tuhosti průvlaků

V této bakalářské práci je při návrhu druhu stropní konstrukce uvažováno jak s druhem a vzdáleností prvků, tak i s intenzitou zatížení působících na navrhovanou desku. V návrhu jsou rovněž zohledněny místní podmínky a zavedené technologie, jelikož je brán ohled na typ, tvar a rozměry stropních konstrukcí ostatních podlaží.

Řešená stropní konstrukce je tedy navržena jako monolitická vertikálně nepoddajně po obvodě podepřená deska působící ve dvou směrech. Zároveň je uvažována jako deska spojitá v obou hlavních směrech.

Desky působící ve dvou směrech jsou podepřeny takovým způsobem, který vyvolává jejich obecné přetvoření. Pokud jsou zatíženy kolmo ke své střednicové rovině, vzniká průhybová plocha s dvojitou křivostí. Z toho vyplývá, že pro dimenzování takovýchto desek jsou rozhodující účinky zatížení v obou hlavních směrech. [1]



Obr. 3.1 Přetvoření obecné desky působící ve dvou směrech po obvodě podepřené:

1 – souvislé podepření [1]

Jelikož je analyzovaná stropní deska souvisle podepřena po obvodě, předpokládá se, že její podporující prvky, tedy obvodové stěny a tuhé průvlaky podporované sloupy, tvoří pravoúhlý systém. V obou případech jde o vetknutí. [1] Výpočet poddajnosti podepření je součástí statického výpočtu.

Jak už bylo uvedeno výše, daná stropní konstrukce je navržena jako spojitá křížem vyztužená deska. Aby bylo možné určit metodu zjednodušeného výpočtu, která by byla nejvhodnější pro řešení takové konstrukce, je nutné určit, o kolik se liší jednotlivá rozpětí polí jak ve směru x, tak ve směru y.

$$1 - \frac{L_{xi}}{L_{x(i+1)}} = 1 - \frac{6,25}{6,325} = 0,01 < 0,2 \quad (3.5)$$

$$1 - \frac{L_{yi}}{L_{y(i+1)}} = 1 - \frac{2,7}{4,5} = 0,4 > 0,2 \quad (3.6)$$

V konkrétním řešení případě se rozpětí sousedních polí ve směru y liší o více než 20%. Pro řešení takovéto konstrukce se doporučuje metoda náhradních nosníků. [1]

4. Výpočetní metody

Pro výpočet vnitřních sil navrhovaných konstrukcí je použita metoda konečných prvků v softwaru SCIA Engineer. Kontrola výsledků získaných tímto programem je provedena pro vybraná pole stropní desky za použití metody náhradních nosníků a metody třímomentových rovnic. Hodnota síly působící v patě vybraného sloupu daná výpočtem z programu je rovněž porovnána s hodnotou vypočítanou ručním výpočtem, a tím je provedena kontrola vnitřních sil tohoto prvku.

4.1 Metoda konečných prvků

Ve stavebnictví se metoda konečných prvků používá k simulaci průběhu vnitřních napětí a vnějších deformací s ohledem na vnější síly, tvar konstrukcí a jejich fyzikální veličiny vytvořeného fyzikálního modelu. Princip MKP spočívá v diskretizaci spojitého kontinua do určitého, konečného, počtu prvků – elementů, které mají definovaný tvar. Jedná se tedy o numerickou metodu výpočtu založenou na řešení soustavy diferenciálních rovnic popisujících model konstrukce, jeho vlastnosti a zatížení. Metoda konečných prvků je metodou přibližnou. Pro přesnost výpočtu záleží na zvolené hustotě sítě konečných prvků. [2]

4.2 Metoda náhradních nosníků

Pro výpočet silových nebo deformačních účinků zatížení na desky působící ve dvou směrech mohou být použity kromě MKP také zjednodušené metody výpočtu, které se uplatňují především při rychlé kontrole výsledků náročnějších výpočtů nebo při návrhu méně významných konstrukcí. I při zjednodušení však musí být dodrženy alespoň základní podmínky výpočtu, mezi které patří silové a momentové podmínky rovnováhy, podmínky spojitosti přetvoření a podmínky skutečného uložení konstrukce. [1]

Metoda náhradních nosníků je jednou ze zjednodušených metod řešení deskových konstrukcí. Pro výpočet konkrétní zadané konstrukce byla tato metoda zvolena v závislosti na druhu a vlastnostech konstrukce, a také v závislosti na způsobu uložení. Dalším důvodem zvolení metody náhradních nosníků pro výpočet silových a deformačních účinků zatížení na posuzovanou desku je více než dvacetiprocentní rozdíl mezi rozpětími sousedících polí ve směru y, viz kapitola 3.1.

Desky počítané pomocí metody náhradních nosníků musí splňovat některé předpoklady. Například by se v nich neměly vyskytovat větší otvory. Dále by posuzované desky měly být obdélníkového půdorysu a konstantní tloušťky.

Přibližné řešení po obvodě nepoddajně podepřené spojitě desky metodou náhradních nosníků spočívá v nahrazení jednotlivých deskových polí dvěma vzájemně kolmými osnovami nosníků jednotkové šířky. Ty jsou zatěžovány plošným zatížením, které musí splňovat předpoklad rovnoměrné intenzity, jelikož je rozloženo na složky přenášené ohybem ve směru x (p_x) a y (p_y), a také na složku přenášenou kroutícími momenty (p_{xy}). [1] Silová podmínka rovnováhy je pak dána vzorcem:

$$p = p_x + p_y + p_{xy} \quad (4.1)$$

Abychom mohli určit velikost složek p_x a p_y , musíme vztah upravit a zjednodušit tak, aby se skutečné působící plošné zatížení desky p rovnalo pouze součtu zatížení přenášených ohybem přisouzených k oběma osnovám náhradních nosníků.

$$p = p_x + p_y \quad (4.2)$$

K účinku kroutících momentů se pak přihlíží až při zmenšování mezipodporových momentů pomocí součinitele κ . Avšak to platí pouze u nespojitých po obvodě tuze podepřených desek. U stejně podepřených spojitých desek se obvykle příznivý účinek kroutících momentů zanedbává, čímž se znovu snižuje výstižnost zjednodušeného výpočtu.

Dalším zjednodušujícím předpokladem výpočtu je omezení plošného zatížení pouze na plné rovnoměrné plošné zatížení desky $p = \text{konst.}$ [1] Pro zjištění velikosti jednotlivých složek zatížení je možné vycházet z jediné deformační podmínky, která stanoví, že ve středu jednotlivých deskových polí musí být průhyby w_x a w_y obou vzájemně se křížících náhradních nosníků shodné:

$$w_{x(=0,5L_x)} = w_{y(=0,5L_y)} \quad (4.3)$$

Při určování rovnice průhybu pro jednotlivá pole je zohledněn způsob jejich uložení, přičemž se mezi jednotlivými poli předpokládá primární stav uložení. To znamená, že jsou desková pole uvažována jako vetknutá do společných podpor. [1]

Jednotlivé složky zatížení si nejsou u desek působících v obou směrech rovny. Poměr velikostí těchto složek je dán půdorysným tvarem desky a způsobem jejího uložení. Zatížení p_x a p_y lze vyjádřit pomocí dílčího součinitele C_x následovně:

$$p_x = C_x p \quad (4.4)$$

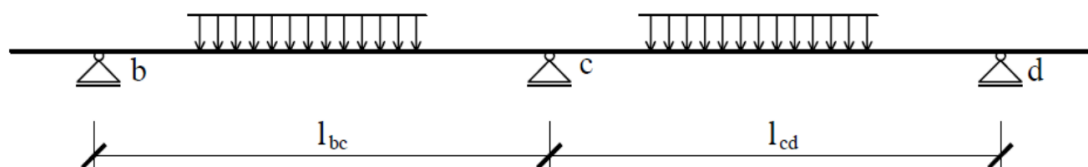
$$p_y = (1 - C_x) p \quad (4.5)$$

Po dosazení těchto dvou výrazů do stanovené deformační podmínky, ve které předpokládáme, že hodnoty materiálových charakteristik desky jsou pro oba směry stejné, je získána hodnota C_x , a díky ní i hodnoty p_x a p_y . Ty jsou pak použity pro výpočet vnitřních sil náhradních nosníků jednotlivých polí.

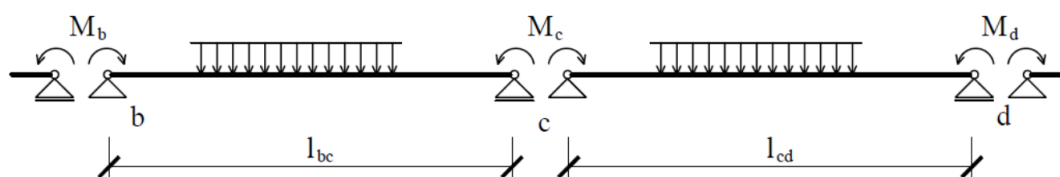
4.3 Metoda třímomentových rovnic

Pro kontrolní výpočet vnitřních sil na analyzované desce, která je pomocí metody náhradních nosníků definována jako spojitý prutový nosník o různém počtu polí pro oba hlavní směry, je zvolena metoda třímomentových rovnic.

Tato metoda je metodou silovou a používá se především k řešení spojitých staticky neurčitých nosníků. Neznámými vyšetřovanými hodnotami jsou podporové momenty nad vnitřními podporami nebo ve vetknutí. Vetknutí je počítáno obdobně jako vnitřní podpora, jelikož je nahrazeno dalším polem nosníku, jehož délka se má blížit nule. Vyšetřované momenty vzniknou převedením původní staticky neurčité soustavy na soustavu staticky určitou, a to rozložením spojitého nosníku na jednotlivé prosté nosníky, přičemž počet neznámých momentů závisí na stupni statické neurčitosti původní konstrukce. [3]



Obr. 4.1 Reprezentativní část původního spojitého staticky neurčitého nosníku [3]



Obr. 4.2 Základní staticky určitá soustava [3]

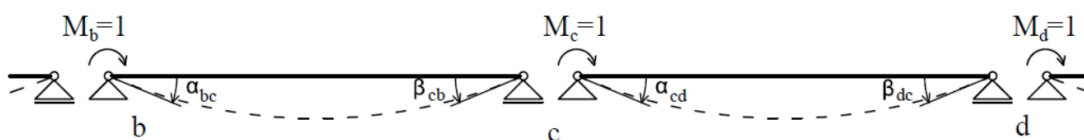
Pro výpočet podporových momentů je nutné vytvořit soustavu rovnic, která obsahuje třímomentové rovnice o třech neznámých určené pro každou vnitřní podporu. Tyto rovnice jsou stanoveny na základě přetvárných podmínek.

Přetvárné podmínky vychází z předpokladu, že se nosník, který se v žádném místě neporušuje a zůstává spojitý, pod zatížením deformuje. Z toho vyplývá, že sklon tečny ohybové čáry v podpoře je shodný zprava i zleva, má pouze opačné znaménko. Ohybovou čarou se rozumí spojitá rovinná křivka kopírující deformaci přetvořenou osu nosníku. Například pro podporu c jsou přetvárné podmínky určeny vztahem:

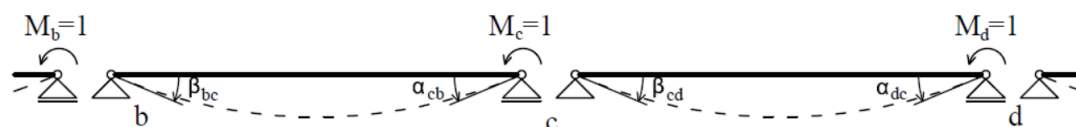
$$\phi_{cb} = -\phi_{cd} \rightarrow \phi_{cb} + \phi_{cd} = 0 \quad (4.6)$$

kde jsou

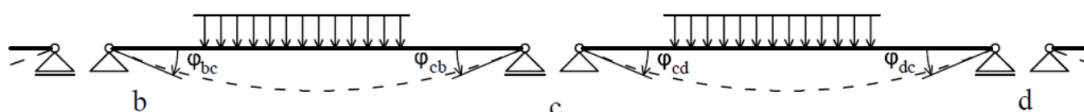
ϕ_{cb} a ϕ_{cd} – úhly, které svírá tečna ohybové čáry spojitého nosníku s nosníkem v místě podpory c



Obr. 4.3 Deformační úhly od jednotkových momentů působících na pravé straně [3]



Obr. 4.4 Deformační úhly od jednotkových momentů působících na levé straně [3]



Obr. 4.5 Pootočení podporových průřezů od zatížení [3]

Z výše uvedených obrázků je zjevné, že zatížení působící na základní soustavu je rozloženo do několika zatěžovacích stavů. Ty popisují buď předpokládané zatížení konstrukce (Obr. 4.5) nebo jednotlivé neznámé podporové momenty (Obr. 4.3 a Obr. 4.4). Pro každý takový zatěžovací stav musí být definováno pootočení podporových bodů od uvažovaného zatížení. Úhly φ_{cb} a φ_{cd} pak mohou být s využitím linearit a superpozice vyjádřeny vztahy:

$$\varphi_{cb} = M_b \beta_{cb} + M_c \alpha_{cb} + \varphi_{cb} \quad (4.7)$$

$$\varphi_{cd} = M_c \alpha_{cd} + M_d \beta_{cd} + \varphi_{cd} \quad (4.8)$$

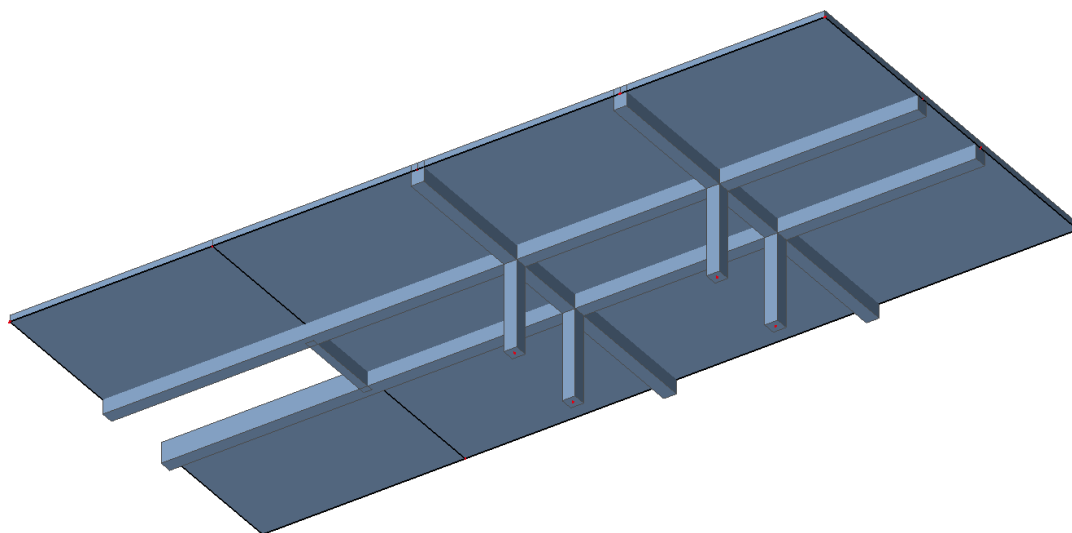
kde jsou

α a β – deformační úhly vyvolané jednostranným zatížením od jednotkových momentů

φ – úhel značící pootočení podporových průřezů od zatížení

5. Modelování konstrukcí v programu SCIA Engineer

V rámci této bakalářské práce je v softwaru SCIA Engineer vytvořen prostorový model řešení konstrukcí v obecné rovině XYZ, viz obr. 5.1.



Obr. 5.1 3D model navrhovaných nosných konstrukcí ve SCIA Engineer

Mezi namodelované konstrukce patří plošné prvky, entity „deska“, které znázorňují jednotlivá pole desky. Jejich tloušťka je konstantní, 200 mm. Střednice desek je odsazena o excentricitu ve směru z - $e = 100$ mm. Dále jsou namodelovány prutové prvky, mezi které patří průvlaky obdélníkového průřezu s rozměry 640 x 400 mm, tvořené entitami „nosník“. Pro zarovnání horního líce průvlaků se stropní deskou je nastavena excentricita ve směru z - $e = -120$ mm. Sloupy vysoké 3140 mm, tvořené entitami „sloup“, jsou dalším druhem použitého prutového prvku. Mají čtvercový průřez o rozměrech 400 x 400 mm a není u nich nastavena excentricita v žádném směru. Bližší popis jednotlivých prvků modelu je uveden v manuálu programu SCIA Engineer. [9]

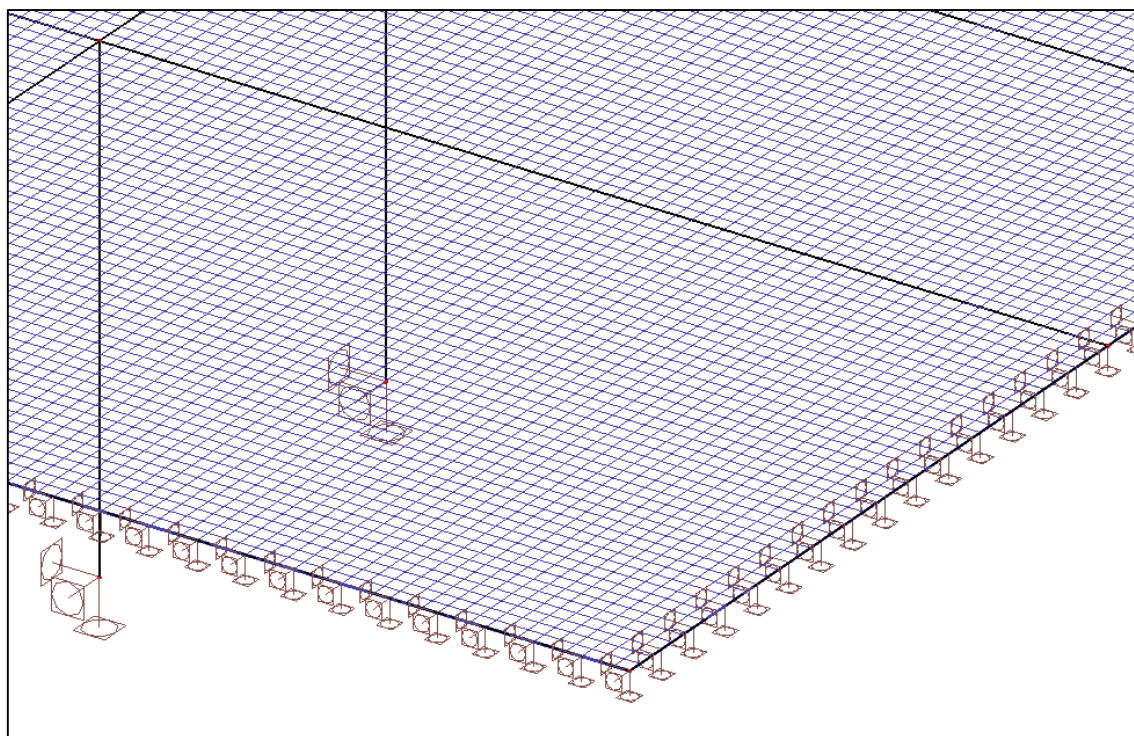
Ostatní nosné konstrukce prvního podzemního podlaží, tedy obvodové stěny a vnitřní nosné stěny, jsou v modelu nahrazeny liniovými podporami na hranách některých ploch.

Na místě obvodových stěn je deska uchycena plným vetknutím, čímž je zabráněno jak posunu ve všech osách (x , y , z), tak pootočení kolem těchto tří os. Takto zvolené okrajové podmínky nemusí zcela odpovídat skutečnosti, jelikož se dá předpokládat, že se konstrukce obvodových stěn mohou mírně posunout v místě napojení na strop. V takovém případě

by hodnoty nadpodporových momentů byly menší, než jsou u úplného vetknutí. Proto je možné navrhovat ohybovou výztuž v těchto místech pouze s malou rezervou. Oproti tomu se dá předpokládat, že ohybové momenty uprostřed polí budou ve skutečnosti přibližně o 10 – 15 % větší, než jsou ty samé momenty vypočítané programem SCIA Engineer při zadaných zmíněných okrajových podmínkách. K této skutečnosti je přihlédnuto u návrhu hlavní dolní ohybové výztuže, ve kterém je ponechána dostatečná rezerva.

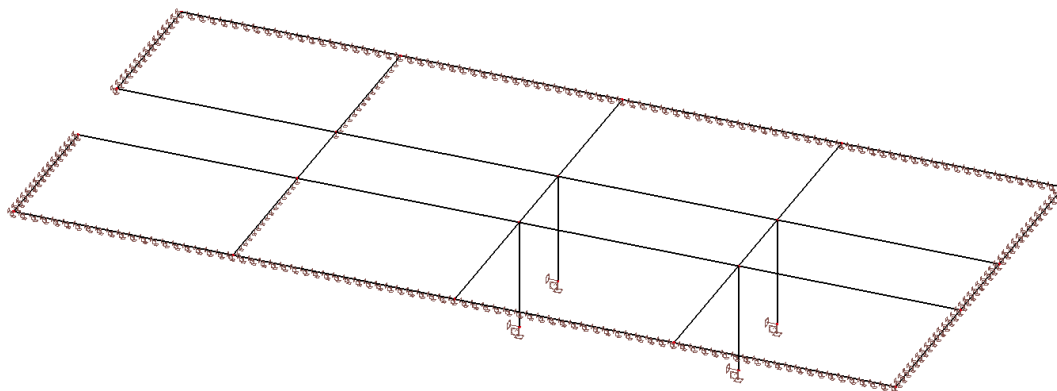
V místě uložení stropní desky na vnitřní stěny je uvažována okrajová podmínka posuvného vetknutí. Posuny ve směrech x a y jsou dovoleny, ovšem posun ve směru osy z je zakázán, stejně tak jako pootočení okolo všech os.

Pro určení přesnosti výpočtu daným modelem je nutné nastavit síť konečných prvků. Vygenerovaná síť na analyzované konstrukci je tvořena pravidelnými čtyřúhelníky a díky pravidelnosti konstrukce není nutné ji lokálně upravovat.



Obr. 5.2 Síť konečných prvků navrhovaných částí konstrukce

V rámci základních dat o projektu je zvolen materiál, se kterým má být v modelu počítáno. Zároveň je určena jako výchozí norma pro výpočet a vyhodnocení zatěžovacích stavů, kombinací a posudků národní norma EC – EN s českým národním dodatkem ČSN - EN NA.



Obr. 5.3 Statické schéma zkoumaných částí konstrukce ve SCIA Engineer

Pro výpočet vnitřních sil vyšetřovaných prvků konstrukce je rovněž v softwaru SCIA Engineer vytvořen model zatížení působících na stropní desku. V souladu s EC2 je působení všech uvažovaných zatížení namodelováno do střednice desky. Z devatenácti stanovených zatěžovacích stavů je následně vytvořeno 11 kombinací zatížení pro MSÚ a 22 kombinací zatížení pro MSP.

6. Závěr

V této bakalářské práci byly navrženy podzemní garáže administrativní budovy s využitím automatických parkovacích systémů.

Prvním cílem této práce bylo navržení dispozice podzemních garáží s ohledem na prostorové požadavky vybraného APS, a zároveň v závislosti na konstrukčním řešení nadzemní části budovy jakožto zděného trojlodního podélného systému. Pro navýšení rozlohy podzemních garáží, a tím i navýšení počtu parkovacích míst, byl k hlavní budově navržen přístavek se dvěma vjezdy/výjezdy a s prostorem pro výtahovou šachtu. K přenesení zatížení od nadzemní části budovy, především tedy od vnitřních nosných stěn, jejichž vzdálenost nevyhovovala požadavkům pro umístění kolejnic APS, byla navržena monolitická spojitá ve dvou směrech působící deska vetknutá do obvodových stěn, vnitřních nosných stěn a do průvlaků podepřených sloupy. Výběr těchto nosných prvků a jejich rozmístění umožnilo přenést zatížení z horní stavby do základů, a to bez vzniku výrazného excentrického zatížení způsobeného již zmíněnými vnitřními nosnými stěnami. Zároveň tak vznikl dostatek prostoru pro parkovací stání, čímž bylo dosaženo ekonomického využití těchto podzemních garáží.

Druhým cílem práce pak bylo samotné posouzení a návrh vybraných železobetonových prvků konstrukce podzemních garáží, a to na mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti dle EC2: Navrhování betonových konstrukcí. Konkrétně byla řešena konstrukce monolitické stropní desky, průvlaků a sloupů. Posuzované konstrukce vyhověly na mezní stav únosnosti. Na mezní stav použitelnosti vyhověly téměř všechny části posuzovaných prvků. U těch prvků, ve kterých docházelo k nelineárnímu dotvarování, byla doporučena změna třídy betonu na třídu s vyšší pevností. U prvků, které nevyhovovaly na mezní stav omezení šířky trhlin, byla doporučena změna navrženého průměru výztuže. Na základě návrhu daných částí konstrukce podzemních garáží byla vypracována také výkresová dokumentace. Z posudku tedy vyplývá, že takto navržené podzemní garáže jsou pod danou administrativní budovou reálně proveditelné.

Seznam použitých zdrojů

Monografie

- [1] BAŽANT, Z., a kol., *Plošné betonové konstrukce*, Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 1998, ISBN 80-214-0975-4
- [2] FINK, M., ŘEZNÍČEK, L., *FEM/MKP – Základy použití metody konečných prvků pro technické výpočty v programu Autodesk Inventor Professional*, SPŠ Trutnov, 2006
- [3] KADLČÁK, J., KYTÝR, J., *Statika stavebních konstrukcí II*, VUTIUM, 2009, ISBN 978-80-214-3428-8
- [4] PROCHÁZKA, J., ŠTĚPÁNEK, P., KRÁTKÝ, J., KOHOUTKOVÁ, A., VAŠKOVÁ, J., *Navrhování betonových konstrukcí I – Prvky z prostého a železového betonu*, ČBS Servis, s.r.o., 2009, IBSN 978-80-903807-5-2
- [5] ZICH, M., a kol., *Příklady posouzení betonových prvků dle Eurokódu*, Dashofer Holding, Ltd. & Verlag Dashofer s.r.o., 2010, ISBN 978-80-86897-68-7

Normy, příručky a manuály

- [6] ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí, Český národní institut, 2011
- [7] ČSN EN 1991 Zatížení konstrukcí, Český národní institut, 2011
- [8] ČSN EN 1992 – 1 – 1 Navrhování betonových konstrukcí – Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, Český národní institut, 2011
- [9] Manuál programu SCIA Engineer 2015.0, SCIA Group, 2015

Použité softwary

AUTOCAD 2014
Misrosoft Word 2010
Misrosoft Excel 2010
SCIA Engineer 2015

Seznam použitých zkratk a symbolů

Písmena latinské abecedy

a_i	umístění teoretické podpory desky
A	plocha průřezu
A_{cc}	plocha tlačené části betonu
A_{st}	plocha betonářské výztuže
$A_{s,max}$	maximální hodnota plochy tažené betonářské výztuže
$A_{s,min}$	minimální hodnota plochy tažené betonářské výztuže
$A_{s,prov}$	navržená plocha výztuže v extrémně namáhaném průřezu
$A_{s,req}$	staticky nutná plocha tažené betonářské výztuže
A_{st}	plocha tažené betonářské výztuže
A_{sw}	průřezová plocha smykové výztuže
b	šířka prvku, zatěžovací šířka
c	návrhová hodnota krycí vrstvy výztuže
c_{nom}	nominální hodnota krycí vrstvy výztuže
c_{min}	minimální hodnota krycí vrstvy výztuže
C_d	přípustné návrhové hodnoty účinků zatížení stanovených pro MSP
C_e	součinitel expozice
C_t	součinitel tepla
c_{st}	krycí vrstva třmíneků
C_x	dílčí součinitel obousměrně vyztužené desky
d	účinná výška průřezu
d_g	rozměr největšího zrna kameniva
d_1	poloha těžiště betonářské výztuže od taženého okraje
E	účinky zatížení, modul pružnosti materiálu
E_d	návrhové hodnoty účinků zatížení
e_i	výstřednost
E_{cm}	střední modul pružnosti betonu
E_s	střední modul pružnosti betonářské výztuže
f_{bd}	návrhová hodnota mezního napětí
f_{cd}	návrhová pevnost betonu v tlaku

f_{ck}	charakteristická pevnost betonu v tlaku
f_{cm}	střední pevnost betonu v tlaku
f_{ctd}	návrhová hodnota pevnosti betonu v tahu
$f_{ctk,0,05}$	0,05 kvantil charakteristické pevnosti betonu v tahu
f_{ctm}	střední pevnost betonu v tahu
F_d	návrhové hodnoty zatížení
F_k	charakteristické hodnoty zatížení
F_{rep}	reprezentativní hodnoty zatížení
f_{yd}	návrhová pevnost betonářské výztuže v tahu
f_{yk}	mez kluzu betonářské výztuže
G	stálá zatížení
g_d	návrhové stálé zatížení plošné/liniové
g_k	charakteristické stálé zatížení plošné/liniové
h	výška prvku
h_c	výška sloupu
h_s	tloušťka stropní desky
I	moment setrvačnosti průřezu
k	součinitel vyjadřující vliv kroutících momentů
k_1	součinitel omezení napětí při charakteristické kombinaci zatížení
k_2	součinitel omezení napětí při kvazi-stálé kombinaci zatížení
k_3	součinitel omezení napětí ve výztuži při charakteristické kombinaci zatížení
l	rozpětí, zatěžovací šířka
l_{bd}	návrhová kotevní délka
$l_{b,min}$	minimální kotevní délka
$l_{b,rqd}$	základní kotevní délka výztuže
l_{eff}	účinné rozpětí
l_{nx}	světlé rozpětí jednotlivých polí desky ve směru osy x
l_{ny}	světlé rozpětí jednotlivých polí desky ve směru osy y
l_x	účinné rozpětí jednotlivých polí desky ve směru osy x
l_y	účinné rozpětí jednotlivých polí desky ve směru osy y
l_0	návrhová délka přesahu, vzpěrná délka prutu

$l_{0,min}$	minimální délka přesahu
M	ohybový moment
mD	dimenzační moment
M_{Ed}	návrhová hodnota působícího ohybového momentu
M_{Rd}	návrhová hodnota ohybového momentu na mezi únosnosti
N	normálová síla
N_{Ed}	návrhová hodnota působící normálové síly
n_s	počet polí spojitého nosníku
p	plošné zatížení
p_x	složka plošného zatížení přenášeného ohybem ve směru osy x
p_{xy}	složka plošného zatížení přenášeného kroutícími momenty
p_y	složka plošného zatížení přenášeného ohybem ve směru osy y
Q	proměnná zatížení
q_d	návrhové proměnné zatížení plošné/liniové
q_k	charakteristické proměnné zatížení plošné/liniové
R	odolnost konstrukce, reakce v podpoře
R_d	přípustné návrhové hodnoty účinků zatížení stanovených pro MSÚ
s	charakteristické zatížení sněhem, osová vzdálenost výztuže v podélném směru
s_k	normové zatížení sněhem
s_{max}	maximální osová vzdálenost výztuže
s_{min}	minimální osová vzdálenost výztuže
s_t	osová vzdálenost výztuže v příčném směru
t	tloušťka podpory
V	posouvající síla
V_{Ed}	návrhová hodnota působící posouvající síly
v_k	počet vetknutí
$V_{Rd,c}$	návrhová únosnost ve smyku prvku bez smykové výztuže
$V_{Rd,c,min}$	minimální návrhová únosnost ve smyku prvku bez smykové výztuže
$V_{Rd,max}$	maximální návrhová únosnost ve smyku prvku se smykovou výztuží
$V_{Rd,s}$	návrhová únosnost ve smyku prvku se smykovou výztuží
w	průhyb

x	poloha neutrální osy, poloha největšího kladného momentu v poli
x, y, z	souřednice
z	rameno vnitřních sil

Písmena řecké abecedy

α	součinitel zatížení, deformační úhel, úhel, poměr
α_{ct}	součinitel zohledňující dlouhodobé účinky na pevnost v tahu a nepříznivé účinky vyplývající ze způsobu zatížení
α_{cw}	součinitel, kterým se zohledňuje stav napětí v tlačném pásu
α_1	součinitel vyjadřující vliv tvaru prutu
α_2	součinitel vyjadřující vliv minimální betonové krycí vrstvy
α_3	součinitel vyjadřující vliv ovinutí příčnou výztuží
α_4	součinitel vyjadřující vliv přivařených prutů
α_5	součinitel vyjadřující vliv tlaku kolmého na rovinu odštěpování betonu
α_6	součinitel návrhové délky přesahu
β	deformační úhel
γ_c	dílčí součinitel betonu
γ_F	dílčí součinitel zatížení
γ_G	dílčí součinitel stálého zatížení
γ_M	dílčí součinitel materiálu
γ_Q	dílčí součinitel proměnného zatížení
γ_s	dílčí součinitel betonářské výztuže
ΔC_{dev}	návrhový přídavek krytí
ε_{c3}	mezní poměrné přetvoření rovnoměrně tlačného betonového průřezu
ε_{cu3}	mezní přetvoření betonu dle MSÚ
ε_s	poměrné přetvoření betonářské výztuže
ε_t	mezní přetvoření betonářské výztuže
ε_{yd}	přetvoření betonářské výztuže na mezi kluzu
η_1	součinitel závislý na kvalitě podmínek soudržnosti
η_2	součinitel závislý na průměru prutu
θ	roznášecí úhel zatížení betonu, sklon tlačné diagonály
κ_{c1}	součinitel závislý na tvaru průřezu sloupu

κ_{c2}	součinitel závislí na rozpětí
κ_{c3}	součinitel napětí tahové výztuže
λ	součinitel, ohybová štíhlost
λ_d	vymezující ohybová štíhlost
$\lambda_{d,tab}$	tabulková hodnota vymezující průhybové štíhlosti
λ_{lim}	maximální štíhlost
μ	součinitel tvaru střechy
ν	redukční součinitel pevnosti betonu při porušení smykem
ξ	redukční součinitel
ρ_w	geometrický stupeň smykového vyztužení
$\rho_{w,min}$	minimální geometrický stupeň smykového vyztužení
ρ_1	geometrický stupeň vyztužení započítatelnou podélnou výztuží
σ_c	napětí betonu v tlaku
σ_s	napětí v prutu betonářské výztuže
σ_{sd}	návrhové napětí v prutu v místě, od kterého se měří kotevní délka
\emptyset	úhel mezi tečnou ohybové čáry spojitého nosníku a nosníku v místě podpory, průměr prutu betonářské výztuže
ψ	kombinační součinitel
ω	přetvoření, průhyb pro MSP
φ	úhel značící pootočení podporových průřezů od zatížení

Zkratky

<i>APS</i>	automatický parkovací systém
<i>LG</i>	skupina zatížení
<i>MKP</i>	metoda konečných prvků
<i>MNN</i>	metoda náhradních nosníků
<i>MSP</i>	mezní stav použitelnosti
<i>MSÚ</i>	mezní stav únosnosti
<i>NA</i>	národní příloha
<i>NP</i>	nadzemní podlaží
<i>PP</i>	podzemní podlaží
<i>RC</i>	skupina výsledků
<i>TI</i>	tepelná izolace

<i>ZS</i>	zatěžovací stav
<i>ŽB</i>	železobeton
<i>3D</i>	prostorový

Seznam tabulek, obrázků a grafů

Tabulky

Tabulka č. 2.1	Profil archivního vrtu
Tabulka č. 2.2	Beton C30/37
Tabulka č. 2.3	Betonářská výztuž B500B

Obrázky

Obr. 2.1	3D model 1. PP ve SCIA Engineer – pohled zespodu
Obr. 3.1	Přetvoření obecné desky působící ve dvou směrech po obvodě podepřené: 1 – souvislé podepření
Obr. 4.1	Reprezentativní část původního spojitého staticky neurčitého nosníku
Obr. 4.2	Základní staticky určitá soustava
Obr. 4.3	Deformační úhly od jednotkových momentů působících na pravé straně
Obr. 4.4	Deformační úhly od jednotkových momentů působících na levé straně
Obr. 4.5	Pootočení podporových průřezů od zatížení
Obr. 5.1	3D model navrhovaných nosných konstrukcí ve SCIA Engineer
Obr. 5.2	Síť konečných prvků navrhovaných částí konstrukce
Obr. 5.3	Statické schéma zkoumaných částí konstrukce ve SCIA Engineer

Grafy

Graf. 2.1	Pracovní diagram betonu v tlaku – návrhový bilineární
Graf. 2.2	Pracovní diagram betonářské oceli v tahu: A – idealizovaný, B – návrhový

Seznam příloh

Příloha A - Výkresová dokumentace – návrh podzemních garáží

Příloha A1 – Půdorys 1. PP M 1:100

Příloha A2 – Půdorys 1. NP M 1:100

Příloha A3 – Půdorys 2. NP M 1:100

Příloha A4 – Půdorys 3. NP M 1:100

Příloha A5 – Řez A – A' M 1:100

Příloha A6 – Řez B – B' M 1:100

Příloha B1 – Statický výpočet

Příloha C – Výkresová dokumentace

Příloha C1 – Schéma tvaru M 1:100

Příloha C2 – Výkres vyztužení desky – spodní výztuž M 1:50

Příloha C3 – Výkres vyztužení desky – horní výztuž M 1:50

Příloha C4 – Výkres vyztužení průvlaku P2 M 1:25

Příloha C5 – Výkres vyztužení sloupu C3 M 1:20