



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

**POLYFUNKČNÍ OBJEKT - POSOUZENÍ DÍLČÍCH
ČÁSTÍ ŽB KONSTRUKCE**

MULTIFUNCTIONAL OBJECT - ANALYSIS OF SUBSTRUCTURES OF THE STRUCTURE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Adam Pelouch

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. IVANA ŠVAŘÍČKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2019



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	Adam Pelouch
Název	Polyfunkční objekt - posouzení dílčích částí ŽB konstrukce
Vedoucí práce	Ing. Ivana Švaříčková, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2018
Datum odevzdání	24. 5. 2019

V Brně dne 30. 11. 2018

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

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

PODKLADY A LITERATURA

Podklady:

Stavební podklady – situace, půdorysy, řezy, geologie

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 kcí. Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

ČSN 73 1201: Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb

Literatura: na základě doporučení vedoucím práce

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Pro zadaný polyfunkční objekt navrhnete železobetonovou stropní konstrukci. Provedte statické řešení a dimenzování v rozsahu určeném vedoucím práce. Statickou analýzu provedte v některém programovém systému pro výpočet konstrukcí (včetně kontroly zjednodušenou metodou).

Vypracujte výkres tvaru stropní konstrukce a podrobné výkresy výztuže.

Ostatní úpravy provádějte podle pokynů vedoucího práce.

Požadované výstupy:

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

Přílohy textové části:

P1. Použité podklady

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

P3. Statický výpočet (v rozsahu určeném vedoucím práce)

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP (1x)

Popisný soubor závěrečné práce (1x)

Bakalářská práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě a pro ÚBZK 1x na CD.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ 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).

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá návrhem a posouzením lokálně podepřené stropní desky ze železobetonu polyfunkčního objektu. Pro návrh byla vybrána stropní deska nad 2. nadzemním podlažím. Výpočet vnitřních sil byl proveden metodou konečných prvků v programu RFEM s kontrolou použitelnosti výsledků pomocí přibližné metody náhradních rámců. Navržená konstrukce byla ověřena z hlediska mezních stavů únosnosti a použitelnosti. A dále bylo řešeno srovnání výsledků metody součtových momentů s metodou konečných prvků na jednoduché desce 5x5 polí.

KLÍČOVÁ SLOVA

Lokálně podepřená stropní deska, metoda náhradních rámců, metoda konečných prvků, metoda součtových momentů, mezní stav únosnosti, mezní stav použitelnosti, průhyb, protlačení, trám, výztuž, ohybový moment

ABSTRACT

This Bachelor thesis deals with design and evaluation local supported ceiling slab made from reinforcement concrete of polyfunctional building. The ceiling slab of the second floor was designing. Internal forces were analysed in RFEM software based on finite entity method with check of usability results by equivalent frame method. Structure was verified according to ultimate and serviceability limit states. Then the comparison of results of direct design method and finite entity method on simple slab 5X5 span.

KEYWORDS

point-supported slab, floor slab, concrete slab, equivalent frame method, Finite Element Method (FEM), ultimate limit state, ultimate and serviceability limit state, deflection, punching, joist, reinforcement, bending moment

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Adam Pelouch *Polyfunkční objekt - posouzení dílčích částí ŽB konstrukce*. Brno, 2019. 63 s.,
!!YY!! s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav
betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Ivana Švaříčková, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Polyfunkční objekt - posouzení dílčích částí ŽB konstrukce* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 20. 5. 2019

Adam Pelouch
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji své vedoucí práce paní Ing. Ivaně Švaříčkové za cenné rady a čas, který mi věnovala při konzultacích.

Dále bych chtěl poděkovat svým blízkým, přátelům a spolužákům za jejich velkou podporu během celého studia.

1. Obsah

2.	ROZŠÍŘENÝ ABSTRAKT:.....	9
3.	ÚVOD.....	9
4.	POPIS ŘEŠENÍ.....	9
1.1..	TVAR.....	9
1.2..	VÝPOČET VNITŘNÍCH SIL A ZPŮSOB ZATÍŽENÍ.....	9
1.3..	TVORBA MODELU.....	10
1.4..	ZÁVĚR A VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ.....	10
5.	ÚVOD.....	11
6.	Srovnání výsledků na jednoduchém modelu lokálně podepřené desky.....	12
7.	Srovnání výsledků na jednoduchém modelu lokálně podepřené desky Výpočet metodou konečných prvků	18
8.	OBSAH PRÁCE.....	23
1.5..	Popis zadání	23
1.6..	Popis návrhu objektu	24
1.7..	Popis nosné konstrukce navrženého objektu	24
1.8..	Použité materiály	26
1.9..	Zatížení	26
1.10..	Kombinace zatížení	27
1.11..	Tvorba modelu konstrukce	27
1.12..	Metoda náhradních rámců	28
1.13..	Návrh výztuže na ohyb.....	29
1.14..	Návrh výztuže na řetězové zřícení	29
1.15..	Návrh výztuže na protlačení.....	29
1.16..	Návrh trámu	30
1.17..	Posouzení na mezní stav použitelnosti- průhyb.....	30
9.	ZÁVĚR	31
10.	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	32

2. ROZŠÍŘENÝ ABSTRAKT:

3. ÚVOD

Tématem řešení bakalářské práce je návrh a posouzení části nosné konstrukce pozemní stavby ze železobetonu, konstrukce bude řešena jako monolitická, konkrétně se jedná plochou lokálně podepřenou stropní desku nad druhým nadzemním podlažím zadaného objektu. Mimo desku je součástí návrhu i trám snižující nadměrné namáhání a průhyb kritických částí desky. Posouzení bude provedeno z hlediska mezních stavů na první mezní stav únosnosti a druhý mezní stav použitelnosti v souladu s normou: ČSN-EN 1992-1-1 (731201) Eurokod 2: Navrhování betonových konstrukcí- Část 1-1: obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Dále bude součástí práce srovnání dvou sad výsledků vnitřních sil na jednoduchém modelu lokálně podepřené desky 5x5 polí řešeném metodou konečných prvků na modelu 2D desky v rovině xy a ruční metodou součtových momentů.

4. POPIS ŘEŠENÍ

1.1.. TVAR

Deska je jednoose symetrická skládající se ze dvou stejných obdélníkových desek a jedné menší obdélníkové desky uprostřed, výsledný tvar připomíná velké písmeno H. Deska je vynášena železobetonovými sloupy a stěnami s osovou vzdáleností střednic podpor 5,6 až 12 m a dále jsou navrženy pouze jejich základní dimenze, vyztužení sloupů a stěn není součástí řešení . Vodorovné ztužení objektu zajistí vhodně umístěné ztužující jádra a stěny. Deska obsahuje dva otvory pro vedení instalací.

1.2..VÝPOČET VNITŘNÍCH SIL A ZPŮSOB ZATÍŽENÍ

Vnitřní síly pro návrh množství a umístění výztuže v desce a reakce z podpor pro protlačení sloupů a stěn jsou vypočteny podle teorie prvního řádu: geometricky lineární výpočet metodou konečných prvků v programu RFEM na 2D modelu desky v rovině xy. Použitelnost výsledků vnitřních sil je ověřena metodou náhradních rámců na vybraném výseku rámu modelovaném jako 2D rám o 5 patrech v rovině xz skládající se z deskových příčlích připojených do sloupů, výsek rámu je zatížen ekvivalentním zatížením jako model desky: vlastní tíhou a ostatním stálým zatížením plným a šachovnicovým proměnným zatížením. Zatížení vlastní tíhou spočítá s ohledem na zvolený materiál program automaticky, ostatní stálá zatížení jsou zadány jako volné obdélníkové nebo polygonové pole , zatížení od obvodového pláště je zprůměrováno (řez s oknem a řez plný) a umístěno na desku jako liniové zatížení. Proměnné zatížení se skládá z užitného zatížení kategorie B, provozního zatížení střechy, přemístitelných příček, které lze dle do určitého liniového zatížení uvažovat jako zatížení na plochu s hodnotou určenou dle normy a sněhu, který působí pouze na některé části. V kombinacích zatížení působí vždy vlastní tíha a ostatní stálá zatížení, ke kterému se přičítají jednotlivě různě rozmístěné šachy a pruhy proměnných zatížení tak, aby kombinací výsledků

byla získána obálka ohraničená maximálními a minimálními hodnotami v každém řezu.

1.3.. TVORBA MODELU

Vlastní model desky v rovině xy je tvořen deskou tloušťky 250 mm podepřenou čtvercovou podporou typu sloup v rovině z, který je spojen s deskou jako podloží plochy, která odpovídá průřezové ploše sloupu, monolitické stěny pokračující do dalších podlaží jsou modelovány jako liniové vetknutí a monolitické stěny, které nepokračují jako liniová kloubová podpora.

Před samotným vytvořením modelu zadané desky je namodelována jednoduchá lokálně podepřená deska 5x5 polí, a její výsledky jsou porovnány s výsledky na identické desce řešené pomocí metody součtových momentů

1.4.. ZÁVĚR A VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Hodnoty výsledků na této desce 5x5 polí se nevíce shodovali na vnitřních polích a rámech s rozdílem hodnot od cca. 2 % do 19 %. V krajních polích a sloupech se hodnoty lišily výrazně více dokonce až od 83 %. Tento rozdíl je způsoben hodnotou rozdělovacího součinitele na sloupové a střední pruhy ω v krajních podporách a polích, takže hodnoty krajních řezů nelze pro srovnání použít.

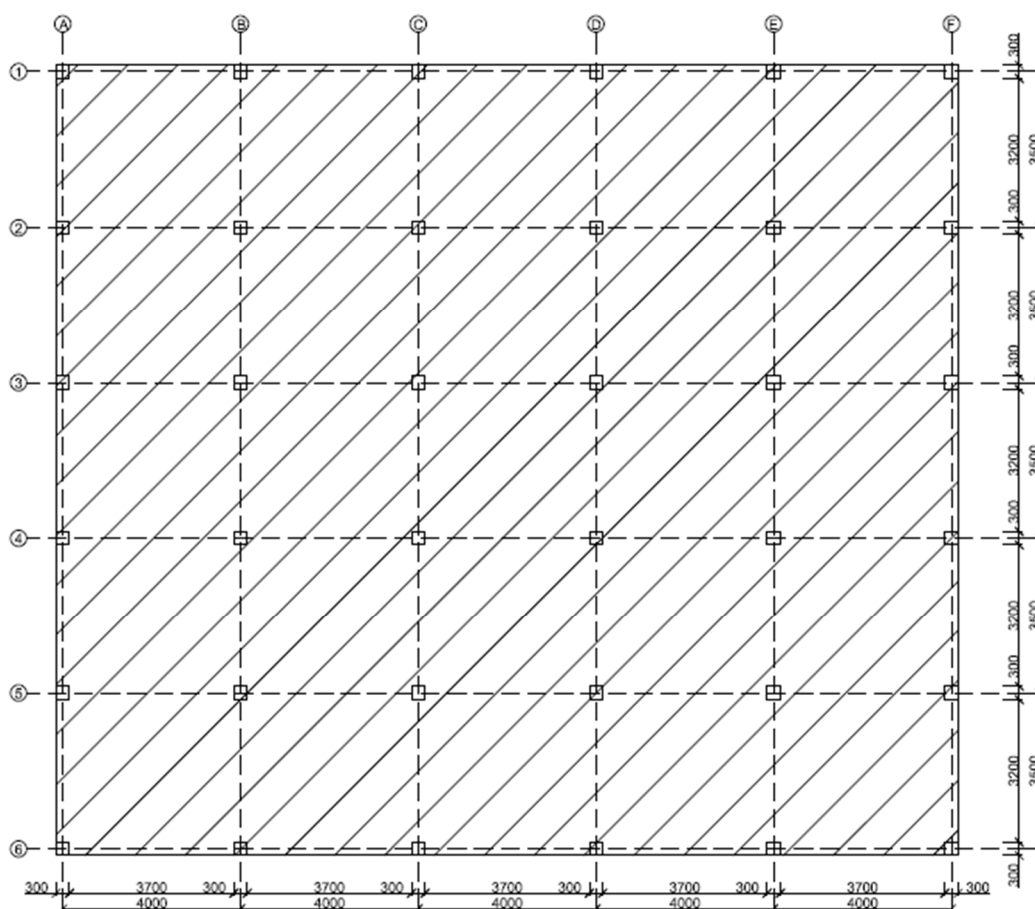
Hodnoty výsledků na řešené desce tvaru H získané metodou konečných prvků a ověřovací metodou náhradních rámu se po vyloučení hodnot v krajních řezech lišily do 32 %. Hodnoty zkresluje jednak rozdělovací součinitel ω , tak i skutečnost, že sloupy na modelu rámu pokračují do dalších pater ale v modelu desky jsou hlavy sloupů ukončeny v desce. Hodnoty z modelu lze použít pro dimenzování.

5. ÚVOD

Bakalářská práce se zabývá návrhem a posouzením části nosné konstrukce pozemní stavby. Jedná se polyfunkční objekt o dvou podzemních podlažích sloužících jako garáže a čtyřech nadzemních podlažích pro víceúčelové využití. Zadáním bylo navrhnout a následně posoudit dimenze a vyztužení stropní desky a jejích součástí nad druhým nadzemním podlažím. Všechny řešené části konstrukce jsou uvažovány z monolitického železobetonu. Deska je lokálně podepřená železobetonovými sloupy, stěnami a stěnovými jádry, vše je taktéž z monolitického železobetonu. Zatížení řešené stropní desky je spočítáno s ohledem na reálné využití a dispozici vyššího patra. A dále je řešeno srovnání výsledků vnitřních sil metodou součtových momentů a metodou konečných prvků na jednoduchém 2D modelu s podporou sloup v rovině z, na jednoduché lokálně podepřené deskové konstrukci o pěti polích v každém směru.

6. Srovnání výsledků na jednoduchém modelu lokálně podepřené desky

Ruční výpočet lokálně podepřené desky metodou součtovým momentů
geometrie 5x5 polí



Sloupy 300x300 mm

Tloušťka desky $h_s = 200$ mm

2) Zatížení

a) Stálé zatížení

a1) Vlastní tíha desky (železobeton 25 kN/m^3), tl. 200 mm

$$G_1 = 0,2 \cdot 25 = 5 \text{ kN/m}^2$$

a2) Podlaha (odhad) $G_2 = 2 \text{ kN/m}^2$

b) Proměnné zatížení

b1) $Q1 = 8 \text{ kN/m}^2$

3) Kombinace zatížení podle rovnice 6.10

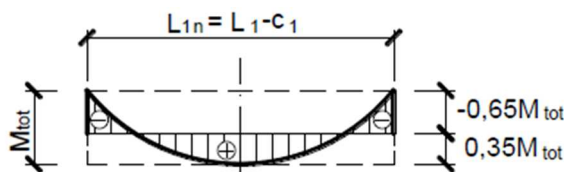
$$f_{ed} = 1,35 \cdot (G1 + G2) + 1,5 \cdot Q1 = 1,35 \cdot (5 + 2) + 1,5 \cdot 8 = 21,45 \text{ kN/m}$$

4) Celkové součtové momenty ve směru x

$$b = L_y = 3,5 \text{ m}$$

$$L_{ln} = L_x - c$$

$$L_{Xn} = 4 - 0,3 = 3,7 \text{ m}$$



$$M_{X,tot} = 1/8 \cdot f_{ed} \cdot L_y \cdot L_{Xn}^2 = 1/8 \cdot 21,45 \cdot 3,5 \cdot 3,7^2 = 128,5 \text{ kNm}$$

a) nad podporou

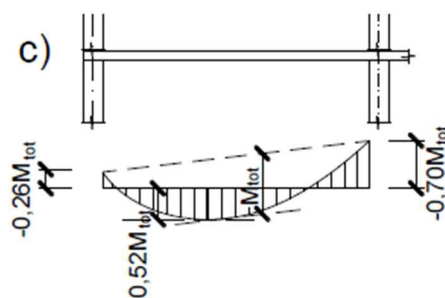
$$-0,65 \cdot M_{X,tot} = -0,65 \cdot 128,5 = -83,5 \text{ kNm}$$

b) v poli

$$0,35 \cdot M_{X,tot} = 0,35 \cdot 128,5 = 45,0 \text{ kNm}$$

c) nad krajní podporou

$$-0,26 \cdot M_{X,tot} = -0,26 \cdot 128,5 = -33,41 \text{ kNm}$$

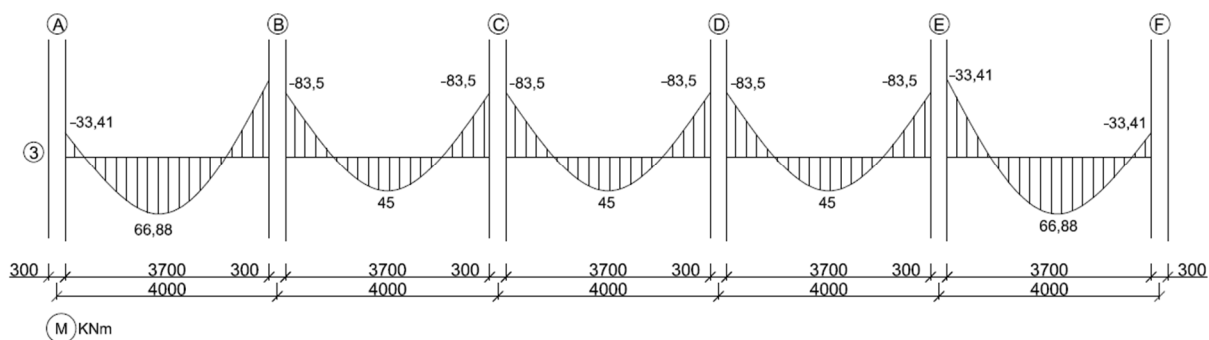


d) V krajním poli

$$0,52 \cdot M_{X,tot} = 0,52 \cdot 128,5 = 66,82 \text{ kNm}$$

e) První vnitřní podpora

$$-0,7 \cdot M_{X,tot} = -0,7 \cdot 128,5 = -89,95 \text{ kNm}$$

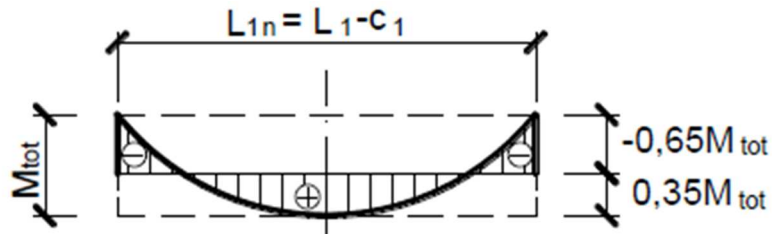


5) Celkové součtové momenty ve směru y

$$b = L_x = 4 \text{ m}$$

$$L_{1n} = L_{Yn} = L_y - c$$

$$L_{Yn} = 3,5 - 0,3 = 3,2 \text{ m}$$



$$M_{Y,tot} = 1/8 * f_{ed} * L_y * L_{Xn}^2 = 1/8 * 21,45 * 4 * 3,22^2 = 109,83 \text{ kNm}$$

a) nad podporou

$$-0,65 * M_{Y,tot} = -0,65 * 109,83 = -71,39 \text{ kNm}$$

b) v poli

$$0,35 * M_{Y,tot} = 0,35 * 109,83 = 38,44 \text{ kNm}$$

c) nad krajní podporou

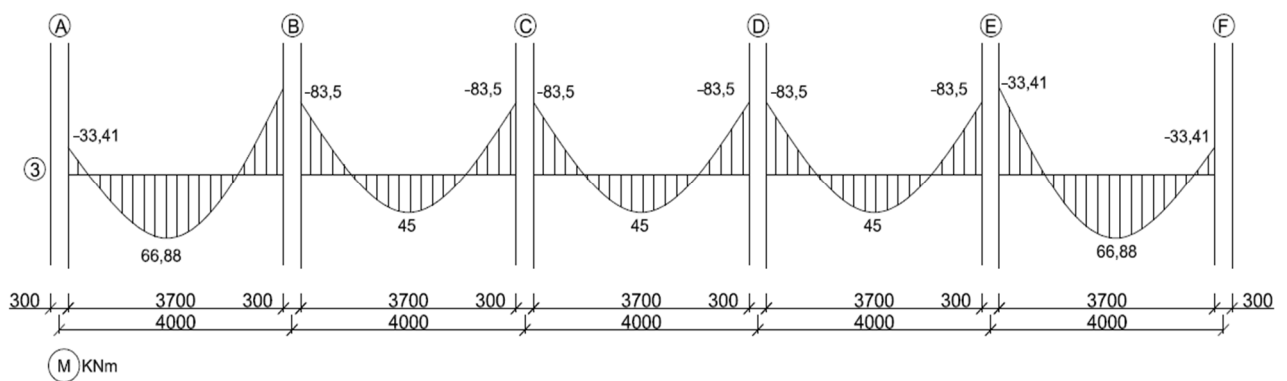
$$-0,26 * M_{Y,tot} = -0,26 * 109,83 = -28,56 \text{ kNm}$$

d) V krajním poli

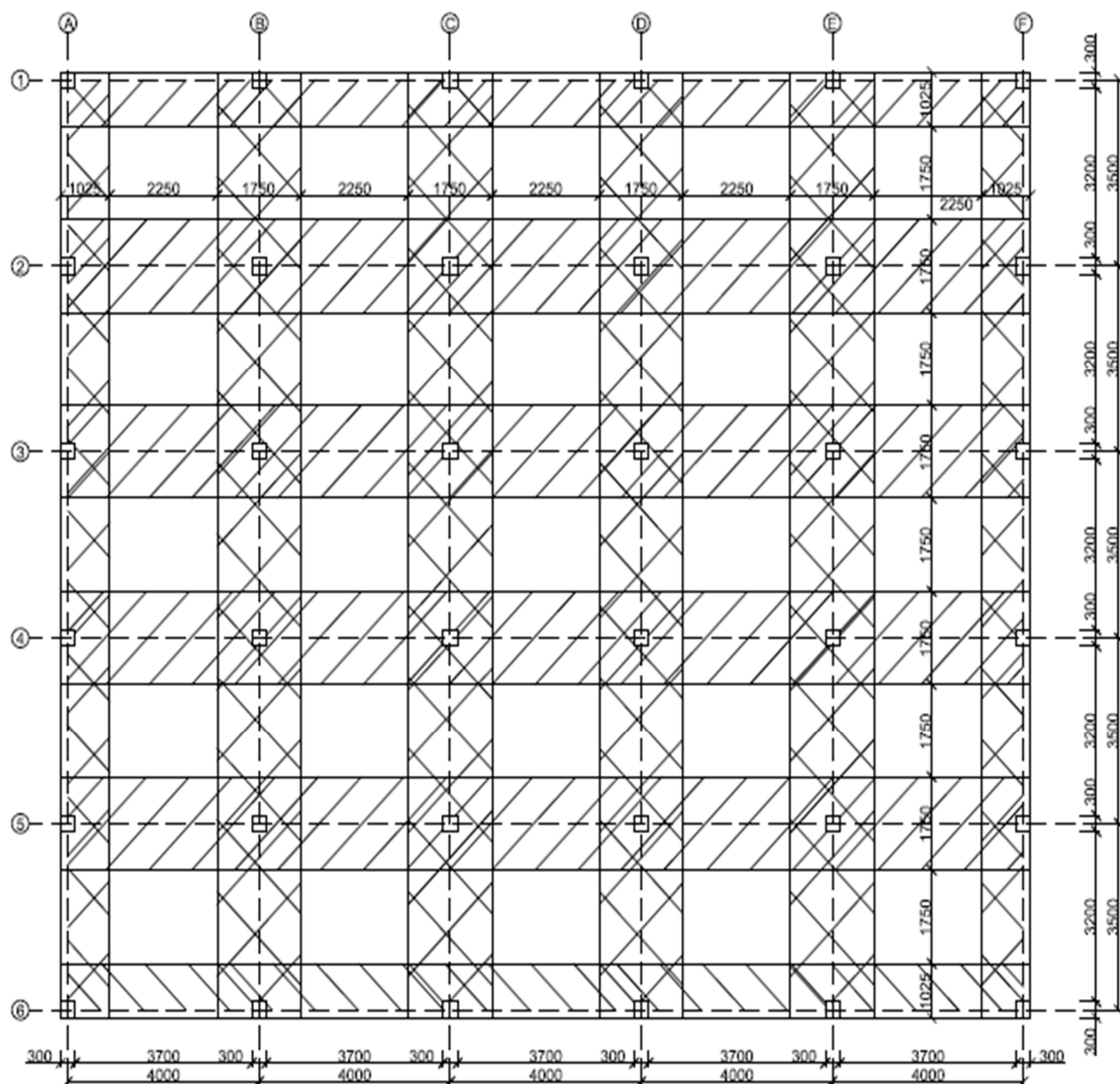
$$0,52 * M_{Y,tot} = 0,52 * 109,83 = 57,11 \text{ kNm}$$

e) První vnitřní podpora

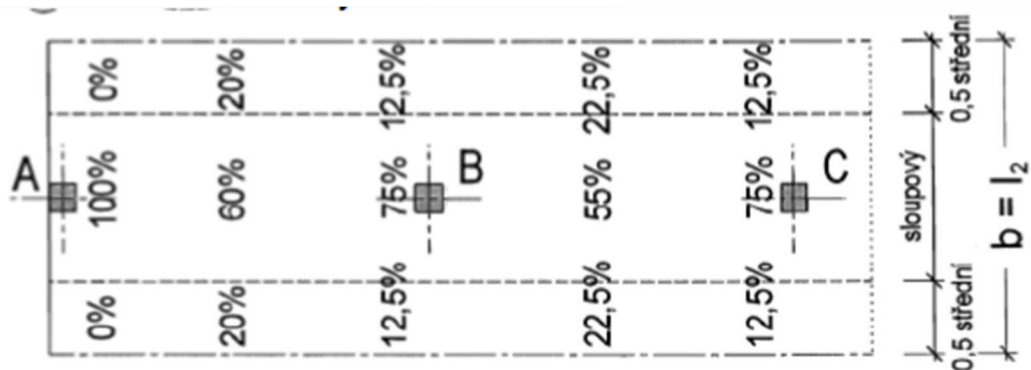
$$-0,7 * M_{Y,tot} = -0,7 * 109,83 = -76,88 \text{ kNm}$$



- 6) Rozdělení desky na sloupové a mezisloupové pruhy
 šířka sloupového pruhu je čtvrtina kratšího rozpětí přilehlého pole



- 7) Rozdělení momentů na sloupové a střední pruhy- deska bez okrajového trámu



SOUČTOVÉ MOMENTY VE SMĚRU Y

Pruh	Průřez	ω	M	$\omega \cdot M$	Šířka	$\omega \cdot M / \bar{S}$
			KNm	KNm	m	KNm/m
Sloupový	1→2	1	-28,56	-28,56	1,75	-16,320
Sloupový	1,2	0,6	57,11	34,266	1,75	19,581
Sloupový	1→2	0,75	-76,88	-57,66	1,75	-32,949
Sloupový	2→3	0,75	-71,39	-53,5425	1,75	-30,596
Sloupový	2,3	0,55	38,44	21,142	1,75	12,081
Sloupový	3→2	0,75	-71,39	-53,5425	1,75	-30,596
Sloupový	3→4	0,75	-71,39	-53,5425	1,75	-30,596
Sloupový	3,4	0,55	38,44	21,142	1,75	12,081
Sloupový	4→3	0,75	-71,39	-53,5425	1,75	-30,596
Sloupový	4→5	0,75	-71,39	-53,5425	1,75	-30,596
Sloupový	4,5	0,55	38,44	21,142	1,75	12,081
Sloupový	5→4	0,75	-71,39	-53,5425	1,75	-30,596
Sloupový	5→6	0,75	-76,88	-57,66	1,75	-32,949
Sloupový	5,6	0,6	57,11	34,266	1,75	19,581
Sloupový	6→5	1	-28,56	-28,56	1,75	-16,320
Střední	1→2	0,65	-28,56	-18,564	2,25	-8,251
Střední	1,2	0,4	57,11	22,844	2,25	10,153
Střední	1→2	0,25	-76,88	-19,22	2,25	-8,542
Střední	2→3	0,25	-71,39	-17,8475	2,25	-7,932
Střední	2,3	0,45	38,44	17,298	2,25	7,688
Střední	3→2	0,25	-71,39	-17,8475	2,25	-7,932
Střední	3→4	0,25	-71,39	-17,8475	2,25	-7,932
Střední	3,4	0,45	38,44	17,298	2,25	7,688
Střední	4→3	0,25	-71,39	-17,8475	2,25	-7,932
Střední	4→5	0,25	-71,39	-17,8475	2,25	-7,932
Střední	4,5	0,45	38,44	17,298	2,25	7,688

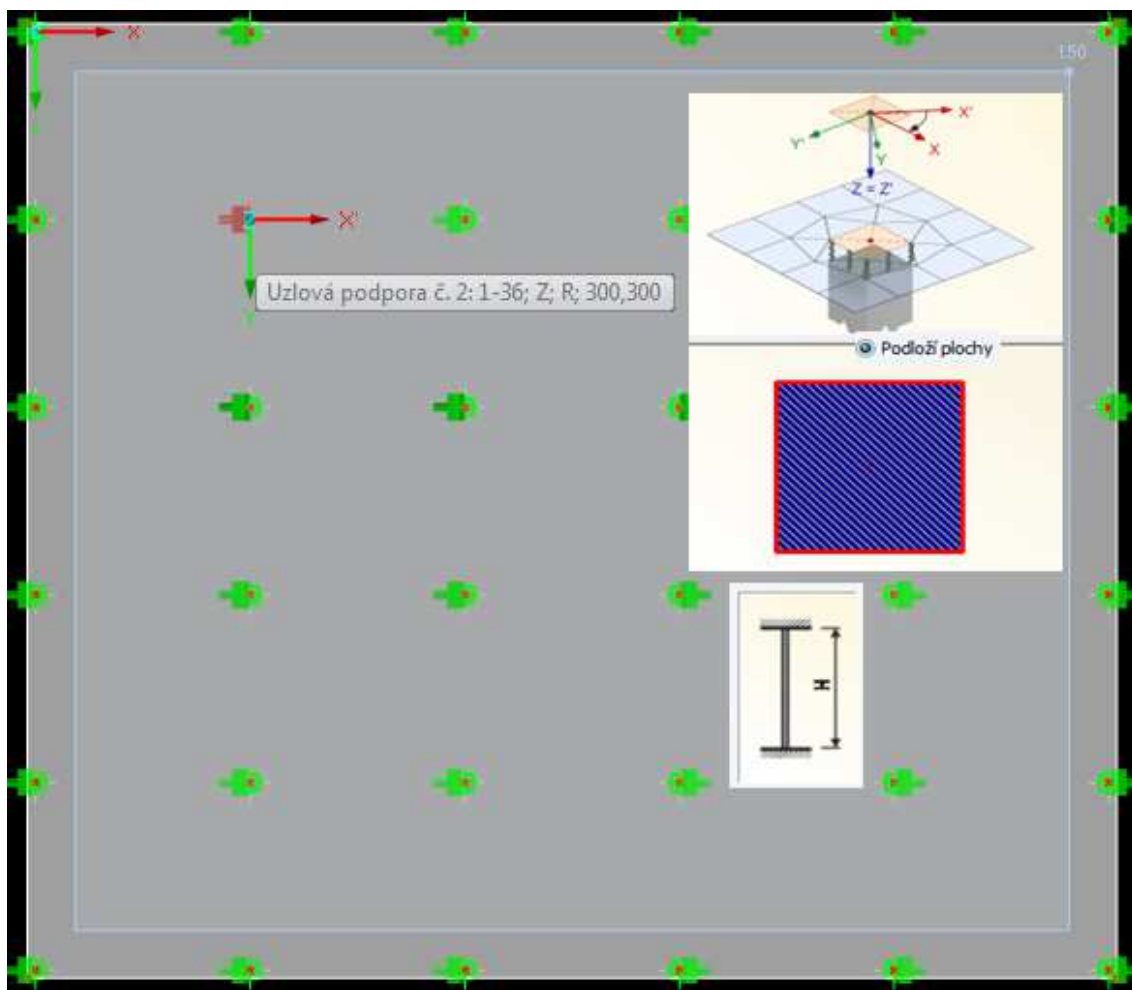
Střední	5→4	0,25	-71,39	-17,8475	2,25	-7,932
Střední	5→6	0,25	-76,88	-19,22	2,25	-8,542
Střední	5,6	0,4	57,11	22,844	2,25	10,153
Střední	6→5	0,65	-28,56	-18,564	2,25	-8,251

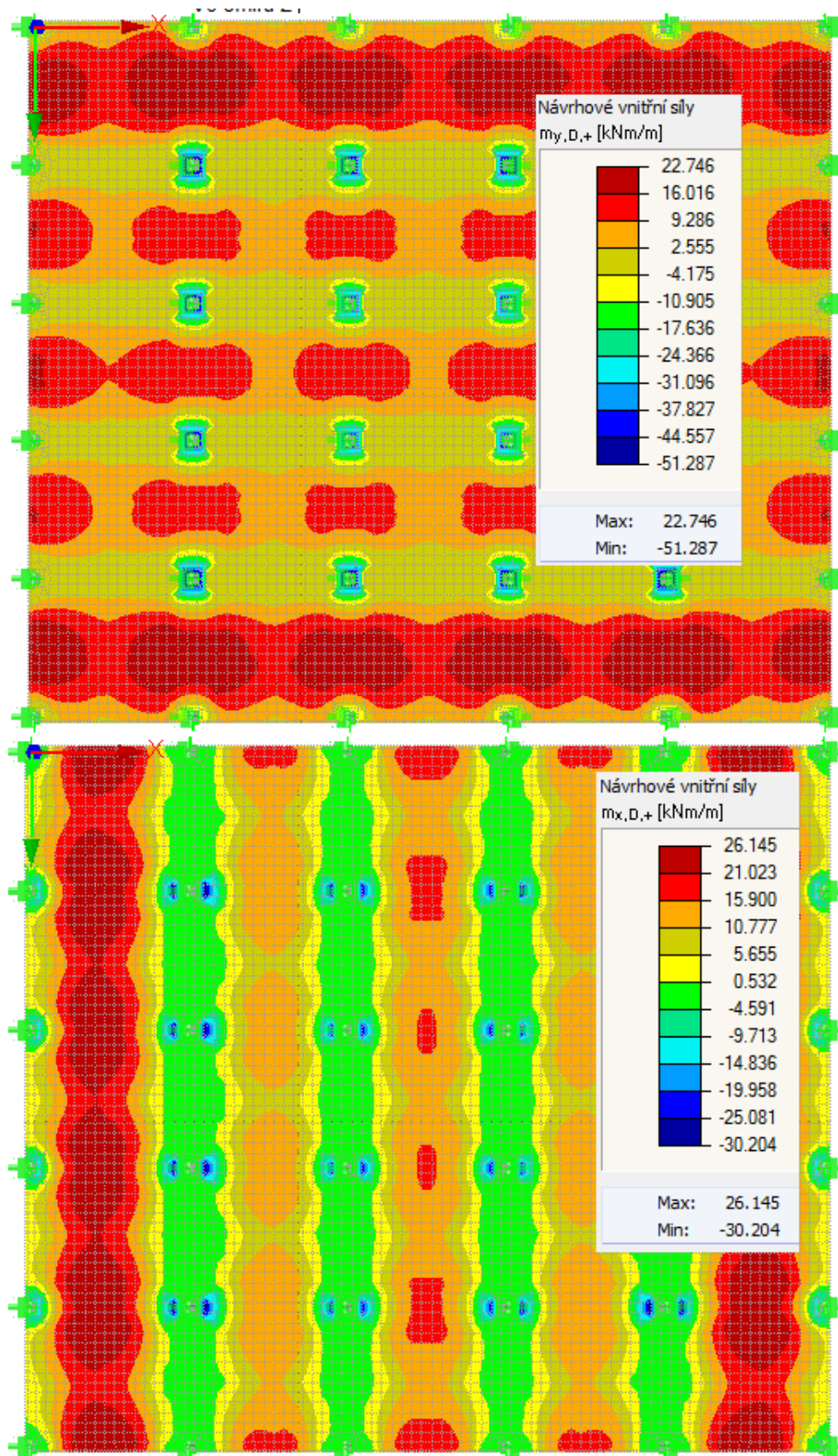
SOUČTOVÉ MOMENTY VE SMĚRU X						
Pruh	Průřez	ω	M	$\omega \cdot M$	Šířka	$\omega \cdot M / \bar{S}$
			KNm	KNm	m	KNm/m
Sloupový	A→B	1	-31,41	-31,41	1,75	-17,949
Sloupový	A,B	0,6	66,82	40,092	1,75	22,910
Sloupový	B→A	0,75	-89,95	-67,4625	1,75	-38,550
Sloupový	B→C	0,75	-83,5	-62,625	1,75	-35,786
Sloupový	B,C	0,55	45	24,75	1,75	14,143
Sloupový	C→B	0,75	-83,5	-62,625	1,75	-35,786
Sloupový	C→D	0,75	-83,5	-62,625	1,75	-35,786
Sloupový	C,D	0,55	45	24,75	1,75	14,143
Sloupový	D→C	0,75	-83,5	-62,625	1,75	-35,786
Sloupový	D→E	0,75	-83,5	-62,625	1,75	-35,786
Sloupový	D,E	0,55	45	24,75	1,75	14,143
Sloupový	E→D	0,75	-83,5	-62,625	1,75	-35,786
Sloupový	E→F	0,75	-89,95	-67,4625	1,75	-38,550
Sloupový	E,F	0,6	66,82	40,092	1,75	22,910
Sloupový	F→E	1	-33,41	-33,41	1,75	-19,091
Střední	A→B	0,65	-31,41	-20,4165	1,75	-11,667
Střední	A,B	0,4	66,82	26,728	1,75	15,273
Střední	B→A	0,25	-89,95	-22,4875	1,75	-12,850
Střední	B→C	0,25	-83,5	-20,875	1,75	-11,929
Střední	B,C	0,45	45	20,25	1,75	11,571
Střední	C→B	0,25	-83,5	-20,875	1,75	-11,929
Střední	C→D	0,25	-83,5	-20,875	1,75	-11,929
Střední	C,D	0,45	45	20,25	1,75	11,571
Střední	D→C	0,25	-83,5	-20,875	1,75	-11,929
Střední	D→E	0,25	-83,5	-20,875	1,75	-11,929

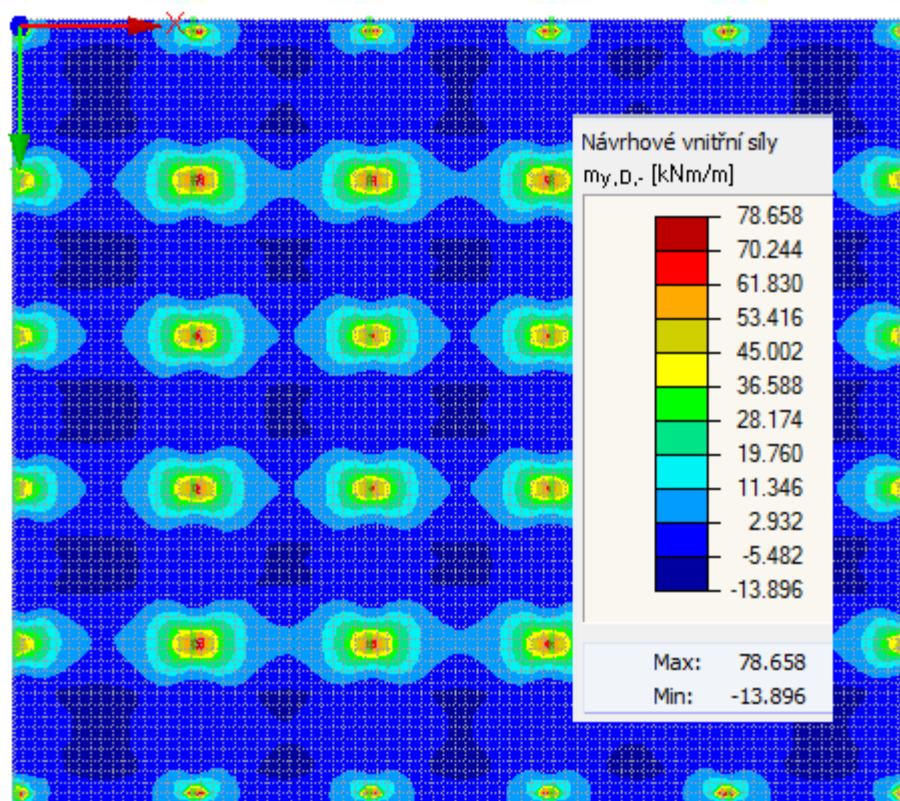
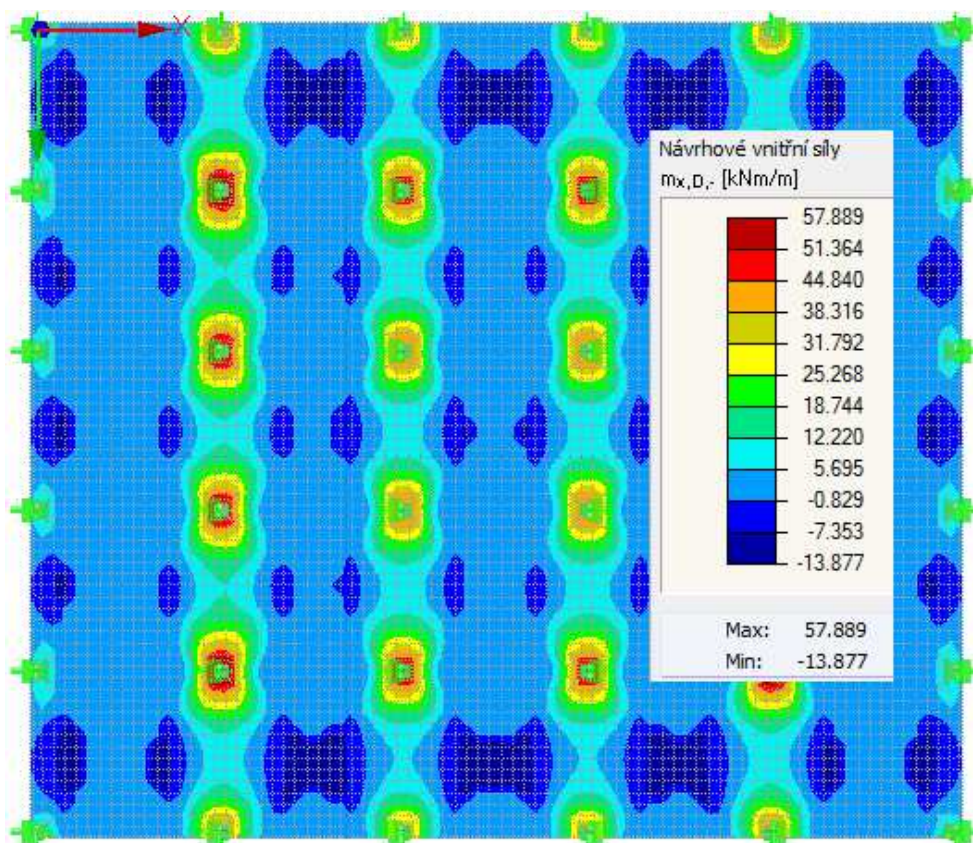
Střední	D,E	0,45	45	20,25	1,75	11,571
Střední	E→D	0,25	-83,5	-20,875	1,75	-11,929
Střední	E→F	0,25	-89,95	-22,4875	1,75	-12,850
Střední	E,F	0,4	66,82	26,728	1,75	15,273
Střední	F→E	0,65	-33,41	-21,7165	1,75	-12,409

7. Srovnání výsledků na jednoduchém modelu lokálně podepřené desky Výpočet metodou konečných prvků

Výpočet metodou konečných prvků – výstup z programu RFEM
geometrie deska 5x5 polí







směr y	Metoda					rozdíl metod
	MSM				MKP	
Pruh	Průřez	ω	Šířka	$\omega \cdot M / \bar{S}$		
			m	$\bar{K}Nm/m$	$\bar{K}Nm/m$	%
Sloupový	1→2	1	1,75	-16,320	-9,11	44,18
Sloupový	1,2	0,6	1,75	19,581	19,434	0,75
Sloupový	1→2	0,75	1,75	-32,949	-34,642	4,89
Sloupový	2→3	0,75	1,75	-30,596	-35,291	13,30
Sloupový	2,3	0,55	1,75	12,081	11,739	2,83
Sloupový	3→2	0,75	1,75	-30,596	-30,667	0,23
Sloupový	3→4	0,75	1,75	-30,596	-30,228	1,20
Sloupový	3,4	0,55	1,75	12,081	13,095	7,74
směr y	Metoda					rozdíl metod
	MSM				MKP	
Pruh	Průřez	ω	Šířka	$\omega \cdot M / \bar{S}$		
			m	$\bar{K}Nm/m$	$\bar{K}Nm/m$	%
Střední	1→2	0,65	2,25	-8,251	1,401	83,02
Střední	1,2	0,4	2,25	10,153	15,901	36,15
Střední	1→2	0,25	2,25	-8,542	-7,598	11,05
Střední	2→3	0,25	2,25	-7,932	-8,069	1,70
Střední	2,3	0,45	2,25	7,688	8,296	7,33
Střední	3→2	0,25	2,25	-7,932	-6,069	23,49
Střední	3→4	0,25	2,25	-7,932	-5,926	25,29
Střední	3,4	0,45	2,25	7,688	9,811	21,64

směr x	Metoda					rozdíl metod
	MSM				MKP	
Pruh	Průřez	ω	Šířka	$\omega \cdot M/\bar{S}$		
			m	KNm/m	KNm/m	%
Sloupový	A→B	1	1,75	-17,949	-9,424	47,49
Sloupový	A,B	0,6	1,75	22,910	23,39	2,05
Sloupový	B→A	0,75	1,75	-38,550	-39,584	2,61
Sloupový	B→C	0,75	1,75	-35,786	-39,591	9,61
Sloupový	B,C	0,55	1,75	14,143	13,949	1,37
Sloupový	C→B	0,75	1,75	-35,786	-33,73	5,74
Sloupový	C→D	0,75	1,75	-35,786	-33,53	6,30
Sloupový	C,D	0,55	1,75	14,143	15,979	11,49
směr x	Metoda					rozdíl metod
	MSM				MKP	
Pruh	Průřez	ω	Šířka	$\omega \cdot M/\bar{S}$		
			m	KNm/m	KNm/m	%
Střední	A→B	0,65	1,75	-11,667	3,707	68,23
Střední	A,B	0,4	1,75	15,273	20,839	26,71
Střední	B→A	0,25	1,75	-12,850	-14,315	10,23
Střední	B→C	0,25	1,75	-11,929	-14,715	18,94
Střední	B,C	0,45	1,75	11,571	11,356	1,86
Střední	C→B	0,25	1,75	-11,929	-11,154	6,49
Střední	C→D	0,25	1,75	-11,929	-10,926	8,40
Střední	C→D	0,45	2,75	11,571	13,494	14,25

8. OBSAH PRÁCE

1.5.. Popis zadání

Podkladem pro návrh byli dvě architektonické studie druhého a třetího nadzemního podlaží s přibližným dispozičním řešením a se základními vnějšími rozměry a dále pak řez se základními výškami podlaží. Podlaží ležící na řešené desce slouží pro výzkumné a výukové účely v oblasti medicíny.



Zadání půdorys 2. NP



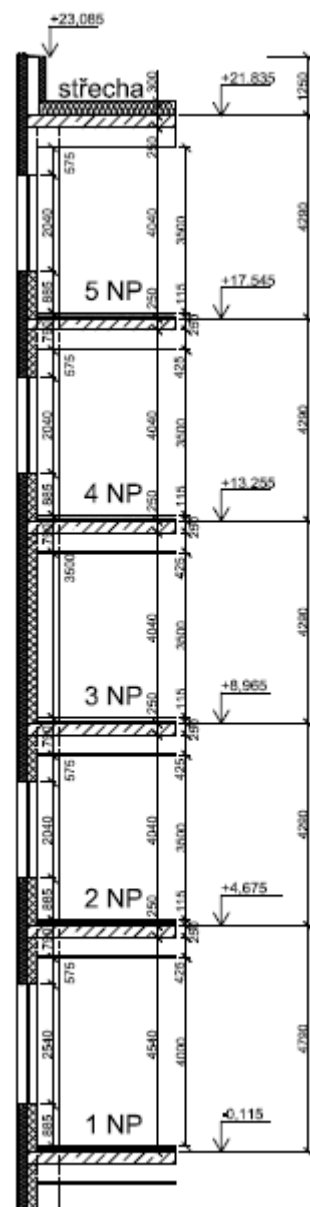
Zadání řez

1.6.. Popis návrhu objektu

Vnější půdorysné rozměry a rozmístění stěn, sloupů a jader jsem se snažil dodržet s přihlédnutím na možné zateplení fasády objektu. Konstrukční a světlé výšky se oproti architektonickému návrhu řezu liší z důvodu vynechání prostoru pro instalaci vzduchotechniky, návrhu skladby podlahy a zachování světlé výšky 4 m v prvním nadzemním podlaží a 3,5 m od druhého nadzemního podlaží výše. Půdorysný rozměr řešené části objektu o nejdelších půdorysných rozměrech 44,2 m a 38,1 m Tvoří dvě osově souměrné obdélníkové desky o rozměrech 44,2 m a 13,5 m s otvorem pro instalace a schodištěm umístěným přibližně v při kraji delší hrany objektu, které jsou shodné pro všechny podlaží od 2. NP výše, Tyto dvě desky navzájem spojuje uprostřed umístěná menší deska, která slouží zejména jako spojení dispozic obou velkých desek, nachází se tu výtahová šachta propojující všechny podlaží. Pro návrh velikosti průřezu sloupů byla zvolena část objektu počínající horním lícem nosné betonové desky v prvním nadzemním podlaží výše, sloupy v nižších podlažích mohou být jiného průřezu.

1.7..Popis nosné konstrukce navrženého objektu

Nosnou konstrukci horní stavby tvoří monolitický železobetonový skelet sestávající se z lokálně podepřených desek, které jsou podporovány železobetonovými sloupy a stěnami, Deska je navržena konstantní tloušťky 250 mm ve všech podlažích. Konstrukční výška podlaží od horního desky v 1.NP po horní líc ve 2NP je 4,790 m a ve vyšších podlažích 4,290 m. Čtvercové sloupy jsou navrženy všechny stejných rozměrů 500x500 mm se vzdáleností střednic sloupů od 5,6 až 12 m. Stěny ve štítech budovy a části stěny vnitřního stěnového jádra pokračující do dalších podlaží jsou tloušťky 300 mm. Stěna ztužujícího jádra, které zároveň podporuje konstrukci schodiště je tloušťky 250 mm, toto jádro prochází skrz všechny podlaží. Stěny výtahové šachty jsou tloušťky 200 mm a taktéž prochází všemi podlažími. Stěny jsou navrženy, tak aby, co nejvíce bránili namáhání sloupů ohybem a kroucením od vodorovných sil, sloupy jsou tedy převážně namáhány svislým zatížením. Při okraji desky ve střední části objektu s největším rozpětím desky 12 m je navržen trám, který má za úkol snížit namáhání a pruhyb desky. Trám je připojen do sloupů a je orientovaný směrem nad desku, takže slouží zároveň jako atika.



ŘEZ navrženou konstrukcí

1.8.. Použité materiály

Beton C25/30 XC1

$\gamma_c = 1,5$
 $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$
 $f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c = 25 / 1,5 = 16,67 \text{ MPa}$
 $f_{ctm} = 2,6 \text{ MPa}$
 $f_{fctk,0,05} = 1,8 \text{ MPa}$
 $E_{cm} = 30,5 \text{ GPa}$
 $\epsilon_{cu3} = 3,5 \text{ ‰}$

Ocel B500B

$\gamma_s = 1,15$
 $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
 $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 500 / 1,15 = 434,78 \text{ MPa}$
 $E_s = 200 \text{ GPa}$
 $\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s = 434,78 / 200000 = 2,17 \text{ ‰}$

1.9.. Zatížení

Stálé zatížení

Na desku bude působit zatížení vlastní tíhou konstrukce, tíha skladby podlah a podhledu a v některých částech tíha střešního pláště. Obvodové zdivo je vynášeno deskami jednotlivých pater a pro zjednodušení je uvažováno jako liniové zatížení s průměrnou hodnotou průřezu s oknem a plného průřezu podle jeho velikost je určena poměrným zastoupení otvorů.

Vlastní tíha desky	6,25 kN/m ²
Skladba podlahy	2,452 kN/m ²
Skladba střechy	0,53 kN/m ²
Zatížení obvodovým pláštěm	4,26-4,81 kN/m

Proměnné zatížení

Užitné zatížení, kat. B	3 kN/m ²
Užitné zatížení od příček	1,2 kN/m ²
Sníh	0,8 kN/m ²
Užitné na střechu, kat. H	0,75 kN/m ²

Užitné zatížení bylo zvoleno s ohledem na dispoziční a provozní řešení podlaží pro výzkumné a výukové účely. Pro zatížení sněhem na plochou střechu byla uvažována nadmořská výška do 1000 m. n. m. sněhová oblast II. Střecha bude uvažována bez provozu. K užitému zatížení se přidá hodnota od přemístitelných příček, kterou lze za daných podmínek daných normou uvažovat jako plošné zatížení.

1.10.. Kombinace zatížení

Pro kombinace zatěžovacích stavů a následné získání obálky složené z maximálních a minimálních hodnot jsou použity kombinační rovnice 6.10a a 6.10 b.

6.10a

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

6.10b

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

1.11.. Tvorba modelu konstrukce

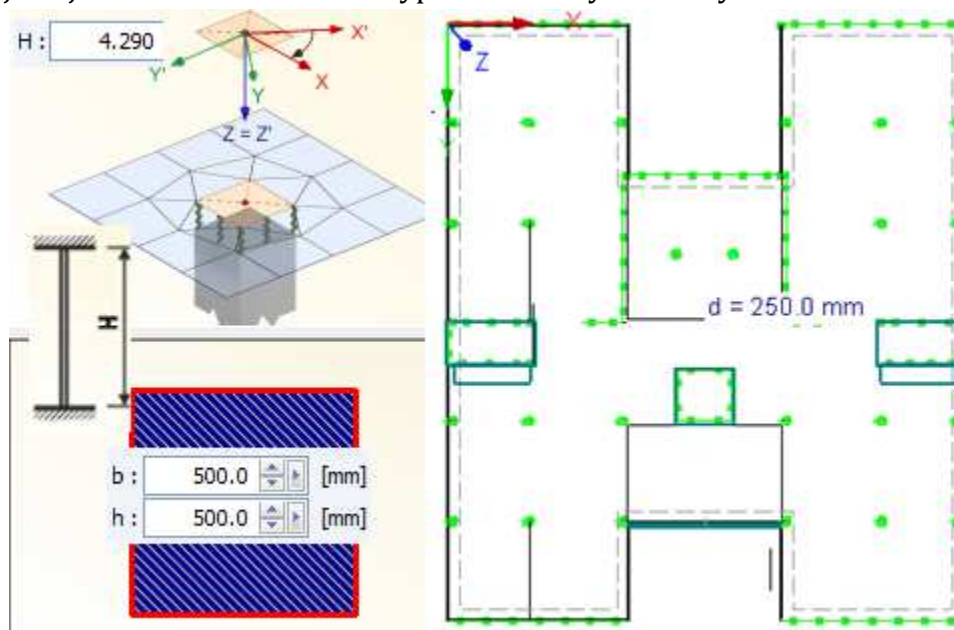
Model desky je vytvořen v programu pro výpočet metodou konečných prvků RFEM . Vlastní model desky v rovině „xy“ je tvořen deskou tloušťky 250 mm podepřenou podporou typu sloup v rovině „z“, který je spojen s deskou jako podloží plochy která odpovídá průřezové ploše sloupu průřezu a tím zohlední reálný rozměr sloupu.

monolitické stěny pokračující do dalších podlaží jsou modelovány jako liniové vetknutí a monolitické stěny, které nepokračují jako liniová kloubová podpora. Velikost sítě konečných prvků je zvolena vzhledem k rozměrům řešené konstrukce po 300 mm.

Model je zatížen vlastní tíhou, kterou program automaticky vyhodnotí na základě zvoleného materiálu a dále pak šachy jednotlivých zatěžovacích stavů z proměnných zatížení nebo plné proměnné zatížení. Na modelu je uvažováno jak plošné zatížení např. skladba podlahy, tak liniové zatížení např. zatížení od obvodových stěn.

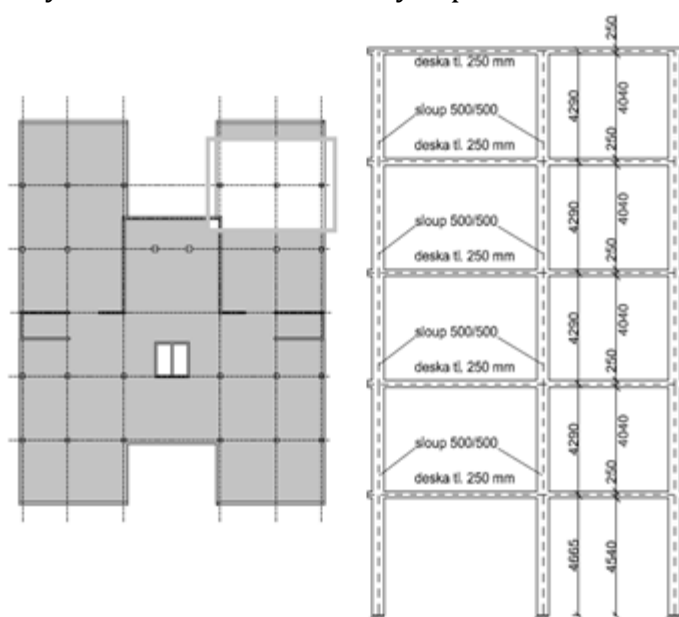
Výpočet je proběhl podle teorie prvního řádu, geometricky lineární výpočet. Model pro kontrolu získaných výsledků je tvořen jako 2D rám o 5 patrech v rovině xz složený z deskové příčle a tuze připojených sloupů. Jedná se o výsek rámu zatížený ekvivalentním zatížením jako deska.

Model pro porovnání výsledků řešených metodou konečných prvků a metodou součtových rámců je tvořen jako model desky 5x5 polí v rovině xy a zatížen stejně jako je uvažováno v ručním výpočtu metody součtových momentů



1.12.. Metoda náhradních rámců

Metoda náhradních rámců je řešena na výseku rámu z navrhované desky a výsledné ohybové momenty jsou rozděleny do sloupových a středních pruhů. Momenty na pruzích jsou násobeny příslušnými rozdělovacími součiniteli ω a následně poděleny šířkou jednotlivých pruhů v metrech pro získání dimenzačních veličin na jeden metr. Tyto výsledné hodnoty jsou porovnány s hodnotami z modelu desky řešené metodou konečných prvků



1.13.. Návrh výztuže na ohyb

Jako základní síť pro vykrytí ohybových momentu je zvolena u obou povrchů desky a v obou směrech $\Phi 10$ po 180, vzhledem k převažujícímu většímu rozpětí polí ve směru y je výztuž ve směru y kladena jako první s krytím 25 mm. 20mm je nutné krytí výztuže a přídavek 5 mm pro navrženou smykovou výztuž. Výztuž ve směru x bude ležet na výztuži ve směru y a bude mít krytí 35 mm. Pro dovyztužení oblastí, kde již základní síť nestačí budou použity u obou povrchů a v obou směrech 3 sady doplňujících výztuží. Základní síť $A_{st} = 4,36 \cdot 10^{-4} m^2$

1) $\Phi 10$ po 360 (jeden prut do středu každé druhé mezery základní sítě)

$$A_s = A_{s,Y} + A_{s,p} = (4,36 + 2,18) \cdot 10^{-4} = 6,54 \cdot 10^{-4} m^2$$

2) $\Phi 10$ po 180 (jeden prut do středu každé mezery základní sítě)

$$A_s = A_{s,Y} + A_{s,p} = (4,36 + 4,36) \cdot 10^{-4} = 8,72 \cdot 10^{-4} m^2$$

3) $2 \times \Phi 10$ do každé mezery (základní + dopl. = $\Phi 10/60$)

$$A_s = A_{s,Y} + A_{s,p} = (4,36 + 8,72) \cdot 10^{-4} = 13,08 \cdot 10^{-4} m^2$$

1.14.. Návrh výztuže na řetězové zřícení

Výztuž na řetězové zřícení byla navržena dle ČSN 73 1201 na sílu z maximální podporové reakce rozdělené do dvou směrů X a Y v poměrech rozpětí příslušných polí. Výztuž na řetězové zřícení bude umístěna ve 3. a 4. vrstvě spodní výztuže. Jsou navrženy 4 $\Phi 18$ Výztuž musí být stykována ve dvou různých řezech ve střední třetině rozpětí, osy styků musí být od sebe vzdáleny minimálně o $0,65 \cdot l_0$. Minimálně dva profily musí procházet armokošem sloupů a všechna výztuž musí být umístěna v oblasti plochy sloupu rozšířené o $0,5 \cdot t_l$. Desky na každou stranu od líce sloupu.

1.15.. Návrh výztuže na protlačení

Výztuž na protlačení byla zvolena v podobě smykových lišt firmy Jordahl. Návrh byl proveden pomocí softwaru Jordahl. Ručně bylo spočteno protlačení na jeden vnitřní sloup s maximální silou v protlačení. Návrh smykových lišt byl proveden pro každý sloup zvlášť. V některých případech vyztužení smykovými lištami nelze provést a je potřeba doplnit výztuž do třetí vrstvy při horním okraji pro roh stěny číslo 2 4 $\Phi 20$

1.16.. Návrh trámu

Železobetonový trám bude navržen ve střední části objektu při okraji desky s největším rozpětím 12 m. Aby vyhověl na konečný průhyb včetně smršťování musí být jeho šířka 250 mm a výška 1300 mm vyztužen bude při spodním okraji spojitě vyztužen třemi pruty průměru 20 mm, které je vhodné stykovat co nejbližší u podpor,

1.17.. Posouzení na mezní stav použitelnosti- průhyb

Mezní stavy použitelnosti jsou posuzovány dle kapitoly 7 normy ČSN EN 1992-1-1. Cílem posouzení mezních stavů použitelnosti je ověřit, zda bude konstrukce během své životnosti schopna plnit funkci pro kterou byla navržena.

Při okraji desky ve střední části objektu s největším rozpětím desky 12 m je navržen trám, který má za úkol snížit namáhání a průhyb desky. Trám je součástí desky je připojen do sloupů a je orientovaný směrem nad desku, takže slouží zároveň jako atika. Světlé rozpětí trámu je $l_s = 11,5\text{ m}$.

Mezní stav použitelnosti byl posouzen právě pro tento trám. Nejprve byl navrhnout trám o šířce 250 mm a výšce 900 mm vyztužen 3 Φ 18 při dolním taženém povrchu a horní výztuž také 3 Φ 18 (horní výztuž je při výpočtu průhybu zanedbána). Lineární průhyb pro tento trám z RFEM vyšel pro zatížení vlastní tíhou a ostatním stálým zatížením v charakteristické kombinaci 4 mm a pro dlouhodobý průhyb s kvazistálou kombinací 4,3 mm.

Trám se porušil trhlinami ihned po odbednění a vyhověl na krátkodobý průhyb od vlastní tíhy a ostatního stálého zatížení. Limitní průhyb pro krátkodobé zatížení se bere jako hodnota $l_s/500 = 11500/500 = 23\text{ mm}$ a průhyb trámu vyšel 11,48 mm avšak pro tento trám nevyhověl dlouhodobý průhyb, pro který se uvažuje limitní hodnota jako $l_s/250 = 11500/250 = 46\text{ mm}$ a celkový průhyb bez dotvarování vyšel 76,83 mm.

Proto byl navrhnout trám o stejné šířce ale byla zvětšena jeho výška na 1,3 m. Vyztužení trámu jsou 3 Φ 20 při spodním okraji (horní výztuž 3 Φ 18 byla při výpočtu zanedbána). Zde vyšel lineární průhyb 2,6 mm pro obě kombinace. V trámu opět vnikly trhliny ihned po odbednění a krátkodobý průhyb vyšel 9,04 mm. Dlouhodobý průhyb včetně smršťování vyšel 44,3 mm. Pro dlouhodobý průhyb byly použity charakteristiky porušeného průřezu, protože vnikly trhliny ihned po odbednění

9. ZÁVĚR

Výstupem bakalářské práce je návrh lokálně podepřené stropní desky, její posouzení na první mezní stav únosnosti a druhý mezní stav použitelnosti. Pro dimenzování byli použity výsledky získané metodou konečných prvků na 2D modelu. Kontrolované výsledky s metodou náhradních rámu se až na výsledky vyloučené z důvodu rozdílnosti způsobu výpočtu příliš neodlišovali a byli použity pro návrh ohybové výztuže desky a výztuže na protlačení

10. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

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 73 1201: *Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.

LITERATURA (včetně elektronické):

- [5] ŠTĚPÁNEK, Petr, Ivailo TERZIJSKI, Ivana LANÍKOVÁ, Josef PANÁČEK a Petr ŠIMŮNEK. *BL01 Prvky betonových konstrukcí: Výukové texty, příklady a pomůcky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2015.

- [6] ZICH, Miloš. *Příklady posouzení betonových prvků dle Eurokódů*. Praha: Verlag Dashofer, 2010. ISBN 978-80-86897-38-7.
- [7] BAŽANT, Zdeněk. *Betonové konstrukce I: Modul CS4 Betonové konstrukce plošné - část 2*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2004.
- [8] TIPKA, Martin a Josef NOVÁK. *Analýza metod výpočtu železobetonových lokálně podepřených desek* [online]. České vysoké učení technické v Praze, 2011, , 57[cit.2019-05-24]. Dostupné z: http://people.fsv.cvut.cz/~tipkamar/granty_soubory/FRVS_2011/analyza_lok_pod_desek.pdf
- [9] ŠVAŘÍČKOVÁ, Ivana. *Ing. Ivana Švaříčková, Ph.D.: Pomůcky* [online]. [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.fce.vutbr.cz/BZK/svarickova.i/default.htm>
- [10] JORDAHL:JORDAHL [online]. Langenfeld (D), 2017 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <http://www.halfen.de>