

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ**

BL04

VODOHOSPODÁŘSKÉ BETONOVÉ KONSTRUKCE

MODUL CW5

**Doc. Ing. Miloš Zich, Ph.D.
Ing. Jiří Strnad, Ph.D.
Ing. Bohuslav Slánský**

**STUDIJNÍ OPORY
PRO STUDIJNÍ PROGRAMY S PREZENČNÍ FORMOU STUDIA**

Brno, červen 2014



**evropský
sociální
fond v ČR**



EVROPSKÁ UNIE



**MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY**



**OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost**

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**Středoevropské centrum pro vytváření a realizaci inovovaných
technicko-ekonomických studijních programů
Registrační číslo CZ.1.07/2.2.00/28.0301**

Autoři: doc.Ing. Miloš Zich, Ph.D., Ing. Jiří Strnad, Ph.D.,
Ing Bohuslav Slánský

Vydavatel: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební,
Veveří 95, 602 00 Brno

Tisk: Ing. Vladislav Pokorný - LITERA Brno
Tábor 43a, 612 00 Brno

ISBN: 978-80-214-5031-8

Předmluva

Cílem projektu registrační číslo: CZ.1.07/2.2.00/28.0301 s názvem „*Středoevropské centrum pro vytváření a realizaci inovovaných technicko-ekonomických studijních programů*“ je posílení kvality vysokoškolského studia ve všech jeho stupních po věcné i formální stránce, což povede k lepšímu uplatnění absolventů tohoto studia na trhu práce a kvalitnější přípravě ke studiu v navazujících stupních studia. Jedná se hlavně o takovou podporu vývoje terciárního vzdělávání, která zajistí absolventům vysokoškolského studia lepší konkurenceschopnost ve srovnání s jinými absolventy obdobných fakult, a to jak v tuzemském, tak v evropském kontextu. Inovace vycházejí ze znalostí ekonomiky a z potřeb trhu práce. Zároveň je kladen důraz na posílení jazykových znalostí. Dalším cílem je prohloubení vnitřní diferenciací a kvalitativního rozvoje studijních programů vyučovaných na Fakultě stavební VUT v Brně a díky modulovému uspořádání studia umožnění studentům kdykoliv pokračovat v dalším studiu. Důležité je i posílení spolupráce se zahraničními univerzitami, odbornými pracovišti a organizacemi zaměstnavatelů, zejména při materiálním i odborném zabezpečení a realizaci praktické výuky, čímž dojde k propojení praxe s akademickým prostředím.

V průběhu realizace projektu, v období let 2012–2014, bylo zorganizováno několik vzdělávacích akcí zahrnujících semináře a workshopy, 13 odborných exkurzí a nespočet realizovaných přednášek a cvičení pro více než 4500 studentů technických oborů. V rámci exkurzí byly navštíveny významné lokality, na kterých bylo možné spatřit nové trendy ve stavebnictví. Samotný realizační tým projektu navštívil řadu významných evropských univerzit a specializovaných pracovišť se zaměřením na výuku technických oborů za účelem navázání vzájemných kontaktů a předání aktuálních poznatků z oboru, které byly použity pro vytvoření materiálů výuky.

Tento inovovaný text je určen především studentům vysokých škol v bakalářských a navazujících magisterských, příp. i v doktorských studijních programech a také širší odborné veřejnosti, která se zabývá řešenou problematikou.

Věříme, že publikace přispěje nejen ke zlepšení informovanosti v rámci technických oborů, ale bude také praktickým návodem, který umožní nalézt odpovědi při řešení reálných problémů v praxi.

Autoři oceňují práci Ing. Jana Nováčka na grafických předlohách. Přejí uživatelům textu mnoho úspěchů v práci a studiu a prosí o omluvu případných nedopatření v textu.

Řešitelský tým projektu

OBSAH

1 Úvod.....	9
1.1 Cíle.....	9
1.2 Požadované znalosti.....	9
1.3 Doba potřebná ke studiu.....	9
1.4 Klíčová slova.....	9
1.5 Metodický návod na práci s textem.....	9
2 Rámové konstrukce haly.....	10
2.1 Zadání příkladu.....	10
2.2 Použité materiály.....	10
2.3 Zatížení.....	11
2.4 Vnitřní síly.....	12
2.5 Kombinace.....	19
2.6 Posouzení vnitřního sloupu.....	20
3 Křížem vyztužená spojitá stropní deska.....	25
3.1 Zadání příkladu.....	25
3.2 Materiálové parametry.....	25
3.3 Zatížení.....	26
3.4 Metoda náhradních nosníků (var. 1).....	28
3.4.1 Posouzení tuhosti trámů.....	30
3.4.2 Rozdělení zatížení do směrů.....	32
3.4.3 Výpočet vnitřních sil.....	34
3.4.4 Návrh a posouzení výztuže desky.....	41
3.5 Zjednodušené metody řešení (var. 2).....	42
3.6 Prutové řešení MKP.....	45
3.7 MKP – desková úloha.....	47
3.7.1 Zatížení.....	47
3.7.2 Výpočet vnitřních sil.....	49
3.7.3 Návrh výztuže desky.....	53
3.8 Poznámky k průhybům desek.....	56
4 Příklady montovaných konstrukcí.....	59
5 Závěr.....	76

1 Úvod

1.1 Cíle

V překládaném modulu CW 5 „Vodohospodářské konstrukce“ je uvedena sbírka základních úloh pro řešení betonových konstrukcí, které mohou být běžnou součástí vodohospodářských konstrukcí. Vyloženy budou základní způsoby výpočtů prutových rámových konstrukcí, desek. Modul je určen pro posluchače bakalářského studijního programu stavební inženýrství obor vodní hospodářství a předmět BL04 Vodohospodářské betonové konstrukce. Jsou uváděny dva základní příklady: rámová betonová konstrukce haly a spojitá deska. Vždy se uvádí alternativní způsoby řešení těchto konstrukcí. Modul je doplněn příklady realizovaných montovaných konstrukcí, způsoby jejich výpočtů a detaily provedení.

1.2 Požadované znalosti

Modul CW5 navazuje na „Prvky betonových konstrukcí“, moduly CM 1 až CM 5. Pokud student nemá dostatečné znalosti předchozí látky, bude se jen těžko orientovat ve vyložené problematice. Dále prohlubuje znalosti získané z modulů CW1 až CW4 předmětu BL04 pro kombinovanou formu studia.

Vzhledem k tomu, že při výpočtech betonových konstrukcí jsou zapotřebí i znalosti stavební mechaniky, pružnosti a pevnosti, je nutné se orientovat i v těchto předmětech.

Při výpočtech se použijí i znalosti z matematiky, deskriptivní geometrie, fyziky apod. Jsou zapotřebí běžné znalosti, získané studiem na střední škole.

1.3 Doba potřebná ke studiu

Modul obsahuje látku zhruba za tři až čtyři týdny semestru. Doba pro nastudování jednotlivých oddílů je různá, závisí především na průpravě studenta v předchozím studiu na této fakultě. Všeobecně řečeno, potřebná doba pro nastudování obnáší cca 20 – 30 hodin.

1.4 Klíčová slova

Desky, stěny, beton, statika, mezní stav únosnosti, haly, montované konstrukce, desky.

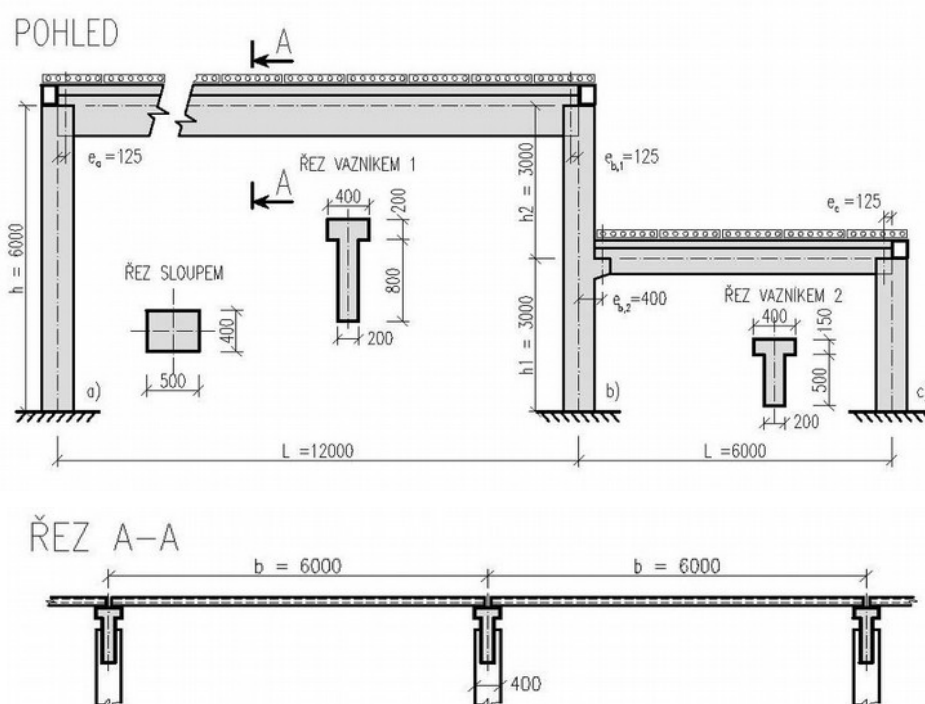
1.5 Metodický návod na práci s textem

Text modulu je třeba studovat postupně, počítat příklady – tedy aplikovat teoretické znalosti na praktické řešení konstrukce. Modul obsahuje jednotlivé samostatné příklady. Pro pochopení je třeba si kreslit jednotlivé obrázky konstrukcí, vyztužení apod. Teoretické předpoklady je možné najít v předchozích modulech CW1 až CW4.

2 Rámové konstrukce haly

2.1 Zadání příkladu

Stanovte zatížení a vnitřní síly na sloupech dvoulodní haly dle zadání na Obr. 2.1 a proveďte posouzení vnitřního sloupu pomocí interakčního diagramu. Hala je zatížena tlakem větru zleva $w'_D = 1,0 \text{ kN/m}^2$ a sáním na závětrné straně $w'_E = 0,666 \text{ kN/m}^2$. Dále se uvažuje zatížení sněhem $s_k = 0,96 \text{ kN/m}^2$ a tíha střešního pláště: dutinové panely $2,6 \text{ kN/m}^2$, tepelná izolace $0,3 \text{ kN/m}^2$ a hydroizolace $0,1 \text{ kN/m}^2$. Ve výpočtu zohledněte i vlastní tíhu vazníků a sloupů. Zanedbejte přitížení obvodovými ztužidly. Obvodový plášť je samonosný, kotvený do sloupů (pro přenos vodorovných sil).



Obr. 2.1 Skladba příčné vazby montované haly o dvou polích

2.2 Použité materiály

Beton C30/37: charakteristická pevnost betonu v tlaku

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

návrhová pevnost betonu v tlaku

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20,0 \text{ MPa}$$

Ocel B500B: charakteristická pevnost oceli v tlaku

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

návrhová pevnost oceli v tlaku

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,8 \text{ MPa}$$

2.3 Zatížení

1.ZS - Vlastní tíha, tíha střešního pláště

Tíha sloupů průřezu 0,4/0,5 m

$$g_{0,k} = b_s \cdot h_s \cdot \gamma_c = 0,4 \cdot 0,5 \cdot 25 = 5,0 \text{ kN/m}$$

Celková tíha sloupu a), b)

$$G_{0,k,a,b)} = g_{0,k} \cdot h = 5,0 \cdot 6,0 = 30,0 \text{ kN}$$

Celková tíha sloupu c)

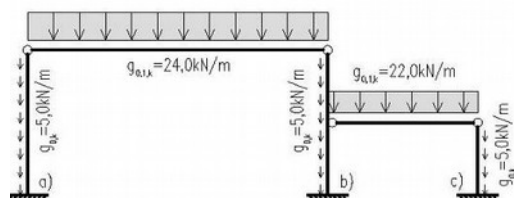
$$G_{0,k,c)} = g_{0,k} \cdot h_l = 5,0 \cdot 3,0 = 15,0 \text{ kN}$$

Tab. 2.1 Zatížení působící na průvlak č.1

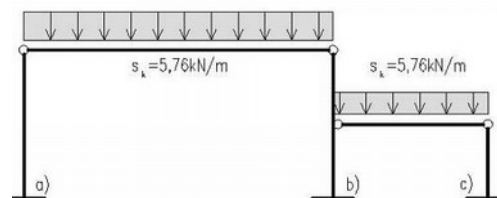
PRŮVLAK č. 1		zatěžovací šířka b [m]	zatížení $g_{0,1,k}$ [kN/m]
tíha průvlaku	$A_c \times \gamma_c = 0,24 \times 25 =$		6,00
dutinové panely	2,6	6	15,60
tep. izolace	0,3	6	1,80
hydroizolace	0,1	6	0,60
CELKEM			24,00

Tab. 2.2 Zatížení působící na průvlak č.2

PRŮVLAK č. 2		zatěžovací šířka b [m]	zatížení $g_{0,1,k}$ [kN/m]
tíha průvlaku	$A_c \times \gamma_c = 0,16 \times 25 =$		4,00
dutinové panely	2,6	6	15,60
tep. izolace	0,3	6	1,80
hydroizolace	0,1	6	0,60
CELKEM			22,00



Obr. 2.2 Stálé zatížení



Obr. 2.3 Zatížení sněhem

2.ZS – Sníh

Pro výpočet bylo stanoveno zatížení sněhem pro II. sněhovou oblast, rovnou střechu a objekt uvažovaný v chráněné krajině v charakteristické hodnotě

$$s'_k = 0,96 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení působící na 1 bm průvlaku

$$s_k = b \cdot s'_k = 6,0 \cdot 0,96 = 5,76 \text{ kN/m}$$

3.ZS – vítr zleva

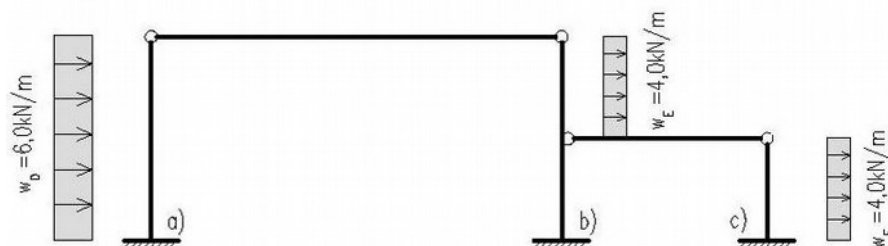
Ve výpočtu je uvažován pouze vítr zleva, vítr zprava není v rámci zjednodušení tohoto studijního textu blíže analyzován. V reálném případě hal je ho ale nutné řešit také.

Tlak větru na návětrné straně D

$$w_D = b \cdot w'_D = 6,0 \cdot 1,0 = 6,0 \text{ kN/m}$$

Tlak větru na závětrné straně E

$$w_E = b \cdot w'_E = 6,0 \cdot 0,666 = 4,0 \text{ kN/m}$$



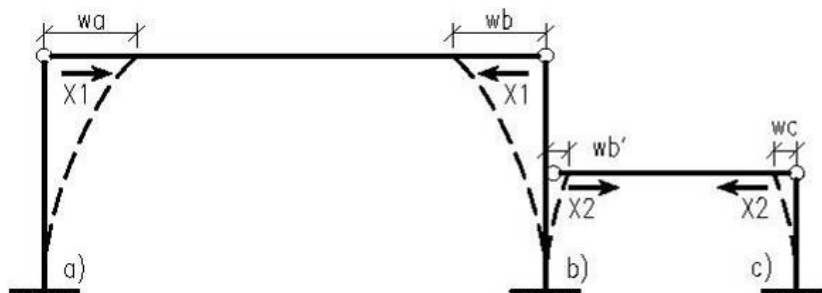
Obr. 2.4 Zatížení větrem

2.4 Vnitřní síly

Výpočet vnitřních sil bude proveden v charakteristických hodnotách, kombinovat se budou až konkrétní hodnoty M, V, N. Řešení bude provedeno silovou metodou.

1.ZS - Vlastní tíha, tíha střešního pláště

Za neznámé se zvolí normálové síly ve vaznících č.1 a č.2, sestaví se geometrické podmínky rovnováhy vyplývající z rovnosti vodorovných posunů ve zhlaví sloupů.



Obr. 2.5 Volba neznámých veličin

$$w_a = w_b$$

$$w_b' = w_c$$

Sloupy se zatíží reakcí od vazníků, normálovými silami a ohybovými momenty, dle detailů uložení. Následně se dosadí do podmínek rovnováhy deformace od dílčích sil.

$$R_a = \frac{l}{2} \cdot g_{0,l,k} \cdot L_{a,b} = \frac{l}{2} \cdot 24 \cdot 12 = 144 \text{ kN}$$

$$R_b = R_a = 144 \text{ kN}$$

$$R_b' = \frac{l}{2} \cdot g_{0,l,k} \cdot L_{b,c} = \frac{l}{2} \cdot 22 \cdot 6 = 66 \text{ kN}$$

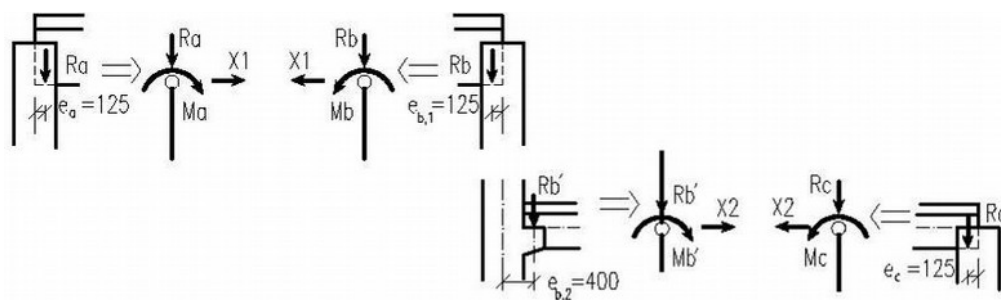
$$R_c = R_b' = 66 \text{ kN}$$

$$M_a = e_a \cdot R_a = 0,125 \cdot 144 = 18 \text{ kNm}$$

$$M_b = M_a = 18 \text{ kNm}$$

$$M_b' = e_{b,2} \cdot R_b' = 0,4 \cdot 66 = 26,4 \text{ kNm}$$

$$M_c = e_c \cdot R_c = 0,125 \cdot 66 = 8,25 \text{ kNm}$$



Obr. 2.6 Působící síly v uložení vazníků na sloupy

1. rovnice

$$w_{X1,a} + w_{Ma} = -w_{X1,b} - w_{Mb} + w_{Mb'} + w_{X2}$$

$$X_1 \cdot \frac{h^3}{3 \cdot EI} + M_a \cdot \frac{h^2}{2 \cdot EI} = -X_1 \cdot \frac{h^3}{3 \cdot EI} - M_b \cdot \frac{h^2}{2 \cdot EI} + M_b' \cdot \frac{h_1 \cdot (h + h_2)}{2 \cdot EI} + X_2 \cdot \frac{h_1^2 \cdot (3h - h_1)}{6 \cdot EI}$$

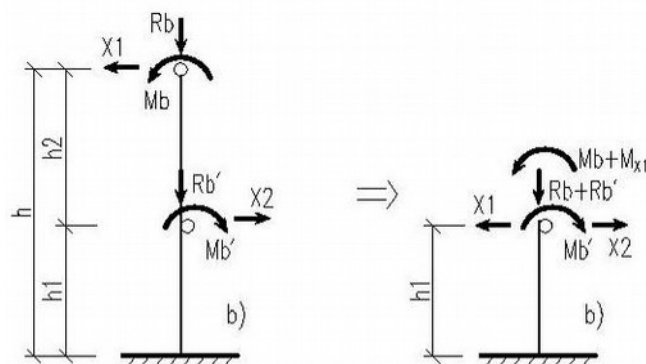
Jednotlivé vztahy pro průhyb konzol lze nalézt např. v [12], [27].

Po úpravě dostáváme, při shodné tuhosti všech sloupů, rovnici o 2 neznámých:

$$X_1 \cdot \frac{2}{3} \cdot h^3 - X_2 \cdot \frac{5}{6} \cdot h_1^3 + M_a \cdot h^2 - M_b' \cdot \frac{3}{2} \cdot h_1^2 = 0, \quad h_1 = h_2$$

$$X_1 \cdot \frac{2}{3} \cdot 6^3 - X_2 \cdot \frac{5}{6} \cdot 3^3 + 18 \cdot 6^2 - 26,4 \cdot \frac{3}{2} \cdot 3^2 = 0$$

$$144 \cdot X_1 - 22,5 \cdot X_2 + 291,6 = 0$$



Neznámá veličina X_1 se posune do úrovně ve výšce h_1 s přídatným momentem M_{X1}

$$M_{X1} = X_1 \cdot h_2$$

Moment M_b a tlaková síla R_b se posouvají beze změny. Deformační podmínka vychází z rovnosti posunů v úrovni vazníku č.2

Obr. 2.7 Převod sil na sloupu b) do jednoho styčnicku.

Před sestavením deformační podmínky v druhém poli se převede veškeré zatížení z uložení horního vazníku do úrovně vazníku spodního, viz Obr. 2.7:

2. rovnice

$$-w_{X1} - w_{MX1} - w_{Mb} + w_{Mb'} + w_{X2} = -w_{Mc} - w_{X2}$$

$$-X_1 \cdot \frac{h_1^3}{3 \cdot EI} - X_1 \cdot h_2 \cdot \frac{h_1^2}{2 \cdot EI} - M_b \cdot \frac{h_1^2}{2 \cdot EI} + M_{b'} \cdot \frac{h_1^2}{2 \cdot EI} + X_2 \cdot \frac{h_1^3}{3 \cdot EI} = -M_c \cdot \frac{h_1^2}{2 \cdot EI} - X_2 \cdot \frac{h_1^3}{3 \cdot EI}$$

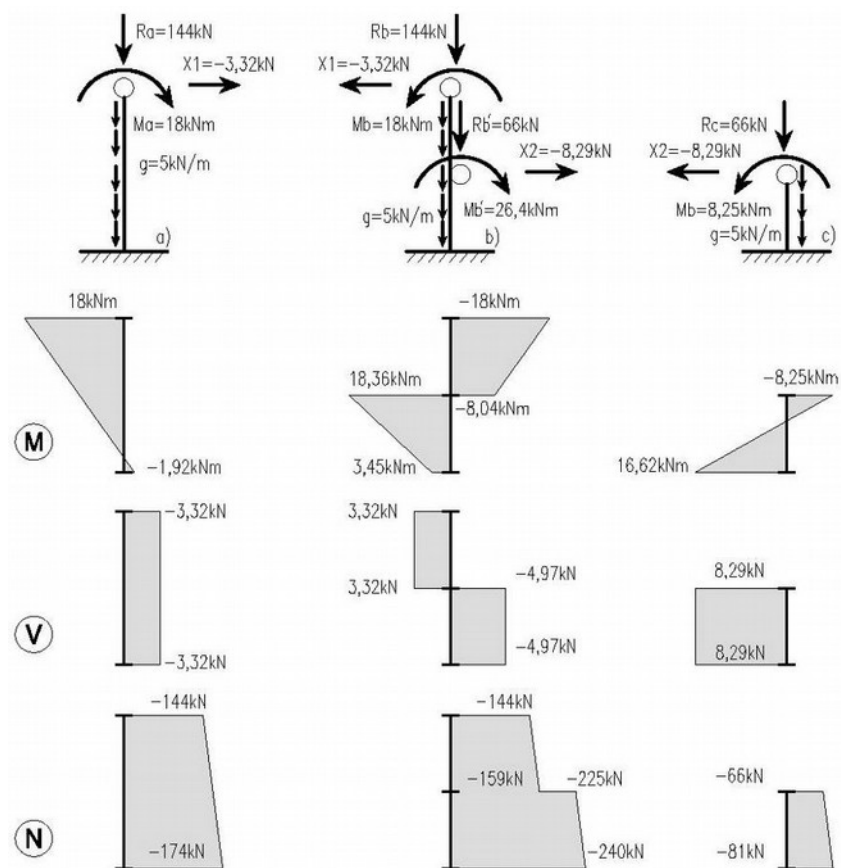
$$-X_1 \cdot \frac{5}{6} \cdot h_1^3 + X_2 \cdot \frac{2}{3} \cdot h_1^3 - M_b \cdot \frac{h_1^2}{2} + M_{b'} \cdot \frac{h_1^2}{2} + M_c \cdot \frac{h_1^2}{2} = 0$$

$$-X_1 \cdot \frac{5}{6} \cdot 3^3 + X_2 \cdot \frac{2}{3} \cdot 3^3 - 18 \cdot \frac{3^2}{2} + 26,4 \cdot \frac{3^2}{2} + 8,25 \cdot \frac{3^2}{2} = 0$$

$$-22,5 \cdot X_1 + 18 \cdot X_2 + 74,925 = 0$$

Vyřešením dvou rovnic o dvou neznámých dostáváme velikosti vodorovných sil ve vaznících:

$$X_1 = -3,32 \text{ kN}; \quad X_2 = -8,29 \text{ kN}$$



Obr. 2.8 Průběhy vnitřních sil na sloupech od 1.ZS

Po stanovení neznámých se již snadno provede výpočet vnitřních sil na jednotlivých sloupech (staticky určitých konzolách). Průběhy sil jsou vykresleny na Obr. 2.8. Záporné znaménko v obrázku značí opačný směr působení oproti směru šipky.

2.ZS – Sníh

Výpočet pro zatížení sněhem je obdobný jako u stálého zatížení. Ve výpočtu není uvažováno s navátým sněhem. Podrobnější stanovení zatížení sněhem je uvedeno např. v [26].

Zvoleny jsou opět dle Obr. 2.5 za neznámé veličiny X_1 a X_2 a sestaví se geometrické podmínky rovnováhy $w_a = w_b$ a $w_b' = w_c$. Dle Obr. 2.6 se stanoví reakce od vazníků a ohybové momenty v uložení na sloupy.

$$R_a = \frac{l}{2} \cdot s_k \cdot L_{a,b} = \frac{l}{2} \cdot 5,76 \cdot 12 = 34,56 \text{ kN} \quad , \quad R_b = R_a = 34,56 \text{ kN}$$

$$R_b' = \frac{l}{2} \cdot s_k \cdot L_{b,c} = \frac{l}{2} \cdot 5,76 \cdot 6 = 17,28 \text{ kN} \quad , \quad R_c = R_b' = 17,28 \text{ kN}$$

$$M_a = e_a \cdot R_a = 0,125 \cdot 34,56 = 4,32 \text{ kNm} \quad M_b = M_a = 4,32 \text{ kNm}$$

$$M_b' = e_{b,2} \cdot R_b' = 0,4 \cdot 17,28 = 6,91 \text{ kNm}$$

$$M_c = e_c \cdot R_c = 0,125 \cdot 17,28 = 2,16 \text{ kNm}$$

1. rovnice:

$$w_{X1,a} + w_{Ma} = -w_{X1,b} - w_{Mb} + w_{Mb'} + w_{X2}$$

$$X_1 \cdot \frac{2}{3} \cdot h^3 - X_2 \cdot \frac{5}{6} \cdot h_1^3 + M_a \cdot h^2 - M_b' \cdot \frac{3}{2} \cdot h_1^2 = 0, \quad h_1 = h_2$$

$$X_1 \cdot \frac{2}{3} \cdot 6^3 - X_2 \cdot \frac{5}{6} \cdot 3^3 + 4,32 \cdot 6^2 - 6,91 \cdot \frac{3}{2} \cdot 3^2 = 0$$

$$144 \cdot X_1 - 22,5 \cdot X_2 + 62,21 = 0$$

2. rovnice:

$$-w_{X1} - w_{MX1} - w_{Mb} + w_{Mb'} + w_{X2} = -w_{Mc} - w_{X2}$$

$$-X_1 \cdot \frac{5}{6} \cdot h_1^3 + X_2 \cdot \frac{2}{3} \cdot h_1^3 - M_b \cdot \frac{h_1^2}{2} + M_b' \cdot \frac{h_1^2}{2} + M_c \cdot \frac{h_1^2}{2} = 0$$

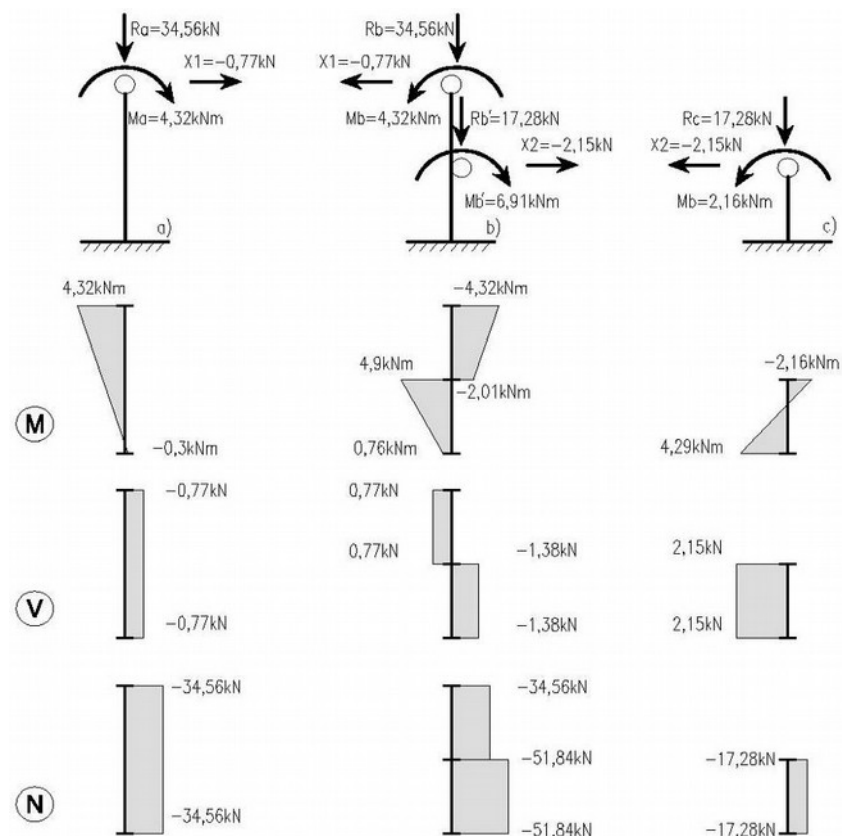
$$-X_1 \cdot \frac{5}{6} \cdot 3^3 + X_2 \cdot \frac{2}{3} \cdot 3^3 - 4,32 \cdot \frac{3^2}{2} + 6,91 \cdot \frac{3^2}{2} + 2,16 \cdot \frac{3^2}{2} = 0$$

$$-22,5 \cdot X_1 + 18 \cdot X_2 + 21,38 = 0$$

Po vyřešení uvedených rovnic jsou již známy velikosti neznámých sil.

$$X_1 = -0,77 \text{ kN}; \quad X_2 = -2,15 \text{ kN}$$

Na schématu na Obr. 2.9 jsou vykresleny dopočtené průběhy vnitřních sil na sloupech (záporné znaménko značí opačný směr působení oproti směru šipky).



Obr. 2.9 Průběhy vnitřních sil na sloupech od 2.ZS

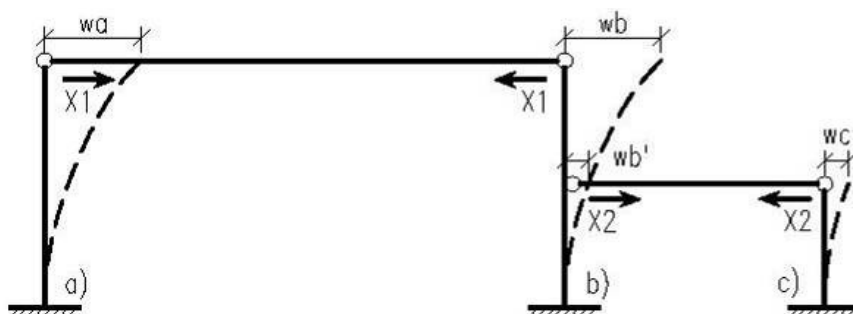
3.ZS – vítr zleva

Stejně jako u předchozích ZS se stanoví neznámé síly X_1 a X_2 a definují se deformační podmínky:

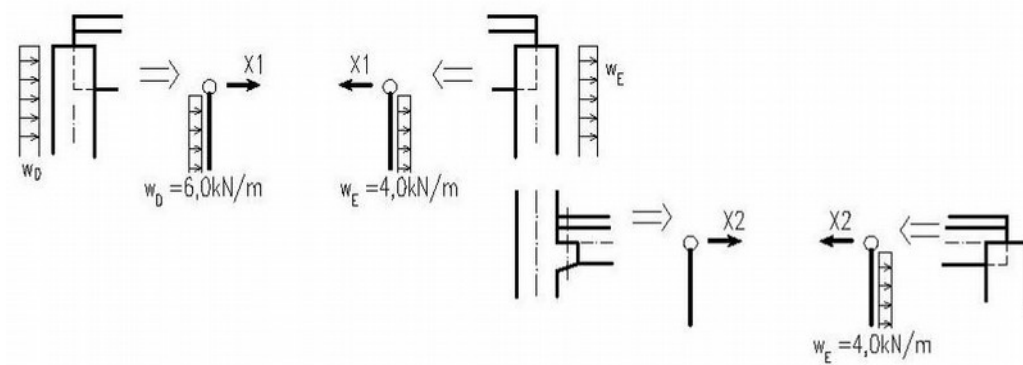
$$w_a = w_b$$

$$w_b' = w_c$$

Na sloupy se aplikuje zatížení tlakem větru a neznámé dle uvedeného grafického znázornění, Obr. 2.11.



Obr. 2.10 Volba neznámých veličin a orientace posunů



Obr. 2.11 Působící síly od větru v uložení vazníků na sloupy

1. rovnice:

$$w_{X1,a} + w_{wD} = -w_{X1,b} + w_{wE} + w_{X2}$$

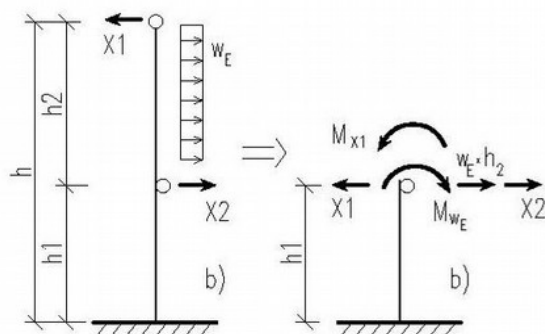
$$\begin{aligned} X_1 \cdot \frac{h^3}{3 \cdot EI} + w_D \cdot \frac{h^4}{8 \cdot EI} = \\ = -X_1 \cdot \frac{h^3}{3 \cdot EI} + w_E \cdot \frac{3 \cdot h^4 - 4 \cdot h_1^3 \cdot h + h_1^4}{24 \cdot EI} + X_2 \cdot \frac{h_1^2 \cdot (3 \cdot h - h_1)}{6 \cdot EI} \end{aligned}$$

Kde h_2 je délka úseku sloupu b), na kterém působí sání větru. Jedná se tedy o úsek sloupu nad vazníkem č.2. Převedením všech členů na levou stranu a matematickými úpravami dostáváme vztah:

$$X_1 \cdot \frac{2 \cdot h^3}{3} - X_2 \cdot \frac{5 \cdot h^3}{48} + w_D \cdot \frac{h^4}{8} - w_E \cdot \frac{41 \cdot h^4}{384} = 0$$

$$X_1 \cdot \frac{2 \cdot 6^3}{3} - X_2 \cdot \frac{5 \cdot 6^3}{48} + 6 \cdot \frac{6^4}{8} - 4 \cdot \frac{41 \cdot 6^4}{384} = 0$$

$$288 \cdot X_1 - 45 \cdot X_2 + 837 = 0$$



$$M_{X1} = X_1 \cdot h_2$$

Sání větru se převádí na výslednou sílu a ohybový moment od tohoto sání ke styčníku b' .

$$M_{wE} = \frac{1}{2} \cdot w_E \cdot h_2^2$$

Obr. 2.12 Převod sil na sloupu b) do jednoho styčníku.

2. rovnice:

$$-w_{X1,b'} - w_{MX1,b'} + w_{wE,h',b'} + w_{MwE,b'} + w_{X2} = -w_{X2,c} + w_{wE,c}$$

$$-X_1 \cdot \frac{h_l^3}{3 \cdot EI} - X_1 \cdot h_2 \cdot \frac{h_l^2}{2 \cdot EI} + w_E \cdot h_2 \cdot \frac{h_l^3}{3 \cdot EI} + \frac{1}{2} w_E \cdot h_2^2 \cdot \frac{h_l^2}{2 \cdot EI} + X_2 \cdot \frac{h_l^3}{3 \cdot EI} =$$

$$= -X_2 \cdot \frac{h_l^3}{3 \cdot EI} + w_E \cdot \frac{h_l^4}{8 \cdot EI}$$

$$-X_1 \cdot \frac{5 \cdot h_l^3}{6} + X_2 \cdot \frac{2 \cdot h_l^3}{3} + w_E \cdot \frac{11 \cdot h_l^4}{24} = 0$$

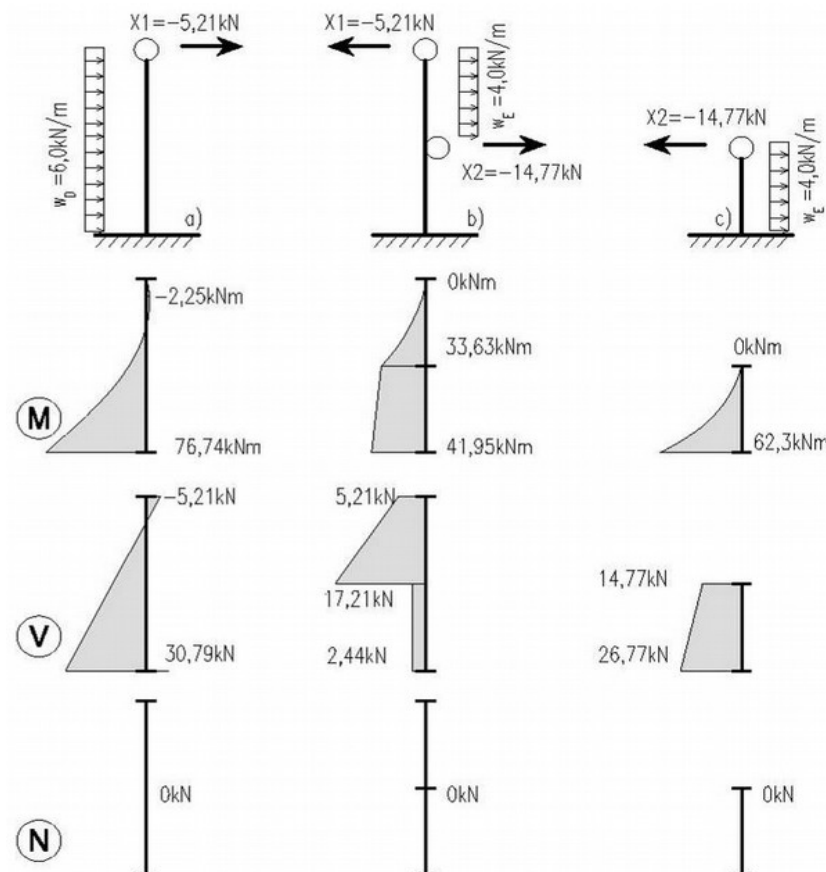
$$-X_1 \cdot \frac{5 \cdot 3^3}{6} + X_2 \cdot \frac{2 \cdot 3^3}{3} + 4 \cdot \frac{11 \cdot 3^4}{24} = 0$$

$$-45 \cdot X_1 + 36 \cdot X_2 + 297 = 0$$

Vyřešením uvedených rovnic dostáváme hodnoty neznámých sil:

$$X_1 = -5,21 \text{ kN}; \quad X_2 = -14,77 \text{ kN}$$

Průběhy vnitřních sil na sloupech od 3.ZS jsou uvedeny na Obr. 2.13.

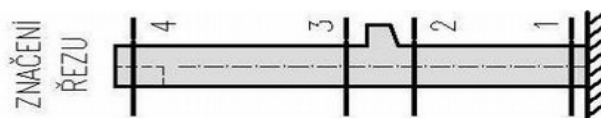


Obr. 2.13 Průběhy vnitřních sil na sloupech od 3.ZS

2.5 Kombinace

Pro výpočet kombinací byly použity rovnice 6.10a) a 6.10b). Ve sloupcích jsou uvedeny vnitřní síly M, V, N s indexem udávajícím polohu sledovaného řezu.

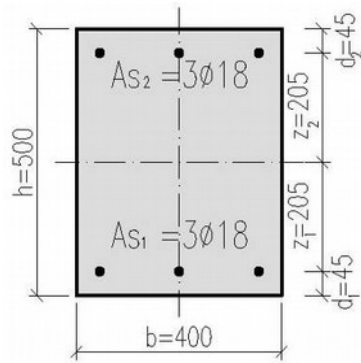
	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	$\gamma_{G, sup}$	$\gamma_{G, inf}$	$\gamma_{G, sup}$	$\gamma_{G, inf}$	ψ_{sath}	ψ_{sath}	ψ_{sath}	
1 ZS	3.45	18.4	-8.04	-18	-4.97	-4.97	3.32	3.32	-246	-228	-162	-144	1.35	1	1.35	1	0.5	0.5	0.5	max M1
2 ZS	0.756	8.928	-2.016	-4.32	-1.38	-1.38	0.77	0.77	-51.84	-51.84	-34.56	-34.56	1	1	1	1	0.6	0.6	0.6	min M1
3 ZS	41	33.6	33.6	0	2.44	2.44	17.21	5.21	0	0	0	0	1.5	1.5	1.5	1.5	0.85	0.85	0.85	
C1	42.1				-5.5				-371.0											max M1
C2	66.0				-3.1				-321.2											min M1
C3	3.5				-5.0				-246.0											max V1
C4	5.2				-7.7				-371.0											min V1
C5	5.1				-7.8				-360.0											max N1
C6	65.0				-1.3				-246.0											min N1
C7	5.2				-7.7				-371.0											max M2
C8	5.1				-7.8				-360.0											min M2
C9	3.5				-5.0				-246.0											max V2
C10		61.8				-5.5				-346.7										min V2
C11		78.2				-3.1				-300.5										max N2
C12		18.4				-5.0				-228.0										min N2
C13		61.8				-5.5				-346.7										max M3
C14		78.2				-3.1				-300.5										min M3
C15		68.8				-1.3				-228.0										max V3
C16		31.5				-7.7				-346.7										min V3
C17		34.5				-7.8				-339.4										max N3
C18		18.4				-5.0				-228.0										min N3
C19			-12.4				5.1				-244.6									max M4
C20			-12.2				5.0				-237.7									min M4
C21			42.4				29.1				-162.0									max V4
C22			17.9				20.5				-244.6									min V4
C23			39.7				30.2				-211.8									max N4
C24			-8.0				3.3				-162.0									min N4
C25			-12.4				5.1				-244.6									max M4
C26			-12.2				5.0				-237.7									min M4
C27			-8.0				3.3				-162.0									max V4
C28				-27.5				5.1				-220.3								min V4
C29				-27.1				5.0				-217.1								max N4
C30				-18.0				3.3				-144.0								min N4
C31				-27.5				9.7				-220.3								max M4
C32				-23.9				12.2				-191.2								min M4
C33				-18.0				3.3				-144.0								max V4
C34				-27.5				5.1				-220.3								min V4
C35				-27.1				5.0				-217.1								max N4
C36				-18.0				3.3				-144.0								min N4



Obr. 2.14 Kombinační tabulka a označení významných řezů na sloupu

2.6 Posouzení vnitřního sloupu

V dalším výpočtu bude ověřena únosnost vnitřního sloupu *b)* v jednom řezu. Pro posouzení byl vybrán řez č. 2 v místě krátké konzoly. Navržena byla výztuž 2 x 3Ø18 dle Obr. 2.15. Způsob výpočtu je včetně grafického vysvětlení podrobně uveden v [26]. Zde je výpočet proveden ve zkrácené verzi.



Obr. 2.15 Geometrie posuzovaného řezu

$$A_{s1} = A_{s2} = 7,63 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_c = 0,2 \text{ m}^2$$

$$d = h - d_2 = 0,455 \text{ m} = d'$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,8}{200} = 2,174 \text{ ‰}, \quad E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 + 2,174} = 0,617,$$

$$x_{bal,1} = \xi_{bal,1} d = 0,617 \cdot 0,455 = 0,281 \text{ m},$$

$$\xi_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 - 2,174} = 2,640,$$

$$x_{bal,2} = \xi_{bal,2} d_2 = 2,640 \cdot 0,045 = 0,119 \text{ m},$$

$$F_{s1} = F_{s2} = A_{s1} \cdot f_{yd}$$

$$= 7,63 \cdot 10^{-4} \cdot 434,8 \cdot 10^3 = 331,7 \text{ kN},$$

Interakční diagram

Bod 0:

$$N_{Rd0} = -(b h f_{cd} + \Sigma A_s \sigma_s) = -(0,4 \cdot 0,5 \cdot 20,0 \cdot 10^3 + 2 \cdot 7,63 \cdot 10^{-4} \cdot 400,0 \cdot 10^3)$$

$$N_{Rd0} = -4610,4 \text{ kN},$$

$$M_{Rd0} = (A_{s2} z_2 - A_{s1} z_1) \sigma_s = (7,63 \cdot 10^{-4} \cdot 0,205 - 7,63 \cdot 10^{-4} \cdot 0,205) \cdot 400,0 \cdot 10^3$$

$$M_{Rd0} = 0,0 \text{ kNm},$$

$$\sigma_s = \varepsilon_{s2} \cdot E_s = 0,02 \cdot 200 \cdot 10^3 = 400,0 \text{ MPa} < f_{yd} = 434,8 \text{ MPa}.$$

Bod 1:

$$\varepsilon_{s1} = 0, \quad F_{s1} = 0 \text{ kN}, \quad x = d, \quad x > \xi_{bal,2} \cdot d_2 \Rightarrow \sigma_{s2} = f_{yd},$$

$$N_{Rd1} = -(\lambda b d f_{cd} + F_{s2}) = -(0,8 \cdot 0,4 \cdot 0,455 \cdot 20,0 \cdot 10^3 + 331,7) = -3243,7 \text{ kN},$$

$$\begin{aligned} M_{Rd1} &= \lambda b d f_{cd} (h - \lambda d) / 2 + F_{s2} z_2 = \\ &= 0,8 \cdot 0,4 \cdot 0,455 \cdot 20,0 \cdot 10^3 \cdot (0,5 - 0,8 \cdot 0,455) / 2 + \\ &+ 331,7 \cdot 0,205 = 266,0 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$x = d = 0,455 \text{ m} \geq x_{bal,2} = 0,119 \text{ m} \Rightarrow \sigma_{s2} = f_{yd} \quad \dots \text{vyhovuje}$$

Bod 2:

$$x = x_{bal,1}, \quad x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d \geq x_{bal,2} = \xi_{bal,2} \cdot d_2 \Rightarrow \sigma_{s1} = \sigma_{s2} = f_{yd},$$

$$N_{Rd,bal} = -(\lambda \xi_{bal,1} d b f_{cd} + F_{s2} - F_{s1}) = -(0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,455 \cdot 0,4 \cdot 20,0 \cdot 10^3 + 0,0)$$

$$N_{Rd,bal} = -1769,7 \text{ kN},$$

$$\begin{aligned} M_{Rd,bal} &= \lambda \xi_{bal,1} d b f_{cd} (h - \lambda \xi_{bal,1} d) / 2 + F_{s1} z_1 + F_{s2} z_2 = 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,455 \cdot 0,4 \cdot \\ &\cdot 20,0 \cdot 10^3 \cdot (0,5 - 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,455) / 2 + 331,7 \cdot 0,205 + 331,7 \cdot 0,205 \end{aligned}$$

$$M_{Rd,bal} = 383,4 \text{ kNm},$$

$$\xi_{bal,1} \cdot d = 0,281 \text{ m} \Rightarrow \sigma_{s1} = f_{yd} \quad \dots \text{vyhovuje}$$

$$\xi_{bal,2} \cdot d_2 = 0,119 \text{ m} \Rightarrow \sigma_{s2} = f_{yd} \quad \dots \text{vyhovuje}$$

Bod 3: Jedná se o namáhání prostým ohybem. Ve výpočtu je možné zohlednit tlačnou výztuž, vede to však na kvadratickou rovnici. Proto je možné tuto výztuž zanedbat, výpočet se tak zjednoduší na prostý ohyb s taženou výztuží.

$$x = \frac{A_{s1} \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{7,63 \cdot 10^{-4} \cdot 434,8}{0,4 \cdot 0,8 \cdot 20,0} = 0,0518 \text{ m}.$$

$$N_{Rd3} = 0 \text{ kN},$$

$$\begin{aligned} M_{Rd3} &= A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot (d - \frac{1}{2} \lambda \cdot x) = \\ &= 7,63 \cdot 10^{-4} \cdot 434,8 \cdot 10^3 \cdot (0,455 - \frac{1}{2} \cdot 0,8 \cdot 0,0518) \end{aligned}$$

$$M_{Rd3} = 144,1 \text{ kNm},$$

Bod 4:

$$\varepsilon_{s2} = 0, \quad F_{s2} = 0 \text{ kN},$$

$$N_{Rdt,bal} = F_{s1} = 331,7 \text{ kN},$$

$$M_{Rdt,bal} = F_{s1} z_1 = 331,7 \cdot 0,205 = 68,0 \text{ kNm}.$$

Bod 5:

$$\sigma_{s1} = \sigma_{s2} = f_{yd},$$

$$N_{Rdt5} = F_{s1} + F_{s2} = 331,7 + 331,7 = 663,4 \text{ kN},$$

$$M_{Rdt5} = F_{s1} z_1 - F_{s2} z_2 = 331,7 \cdot 0,205 - 331,7 \cdot 0,205 = 0,0 \text{ kNm}.$$

Omezení tlakového namáhání:

$$e_0 = \max\left\{\frac{h}{30}; 20\text{mm}\right\} = \max\left\{\frac{500}{30}; 20\right\} = \max\{16,6; 20\} = 20\text{mm}$$

Jedná se o symetricky vyztužený průřez, proto platí rovnost bodů $1'=1$, $2'=2$, $3'=3$, $4'=4$.

Vliv imperfekcí:

Účinná délka sloupu

$$l_0 = 2 \cdot h = 2 \cdot 6 = 12\text{m}$$

Výstřednost

$$e_i = \frac{l_0}{400} = \frac{12}{400} = 0,030\text{m}$$

Vliv 2. řádu:

Rozhodující kritérium pro zohlednění II. řádu:

, kde

$$\lambda \leq \lambda_{lim} \quad \lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{l_0}{\sqrt{\frac{I}{A}}} = \frac{l_0}{\sqrt{\frac{h^2}{12}}} = \frac{12}{\sqrt{\frac{0,5^2}{12}}} = 83,1$$

Limitní štíhlost je při uvažování koeficientů

$$A = 0,7; B = 1,1; C = 0,7 \quad \text{a}$$

poměrné normálové síly

rovna

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{371}{0,4 \cdot 0,5 \cdot 20 \cdot 10^3} = 0,0928$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 0,7}{\sqrt{0,0928}} = 35,4$$

Protože není kritérium splněno, je nutno stanovit přídatnou výstřednost e_2 .

Mechanický stupeň vyztužení:

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{2 \cdot 7,63 \cdot 10^{-4} \cdot 434,8}{0,4 \cdot 0,5 \cdot 20} = 0,166$$

Součinitel normálové. síly:

$$K_r = \frac{n_u - n}{n_u - n_{bal}} = \frac{1,166 - 0,0928}{1,166 - 0,4} = 1,4 < 1,0 = 1,0$$

kde

$$n_u = 1 + \omega = 1 + 0,166 = 1,166 \quad a \quad n_a = 0,4$$

Součinitel zohledňující dotvarování

$$K_\varphi = 1 + \beta \cdot \varphi_{ef} \geq 1,0, \text{ kde}$$

$$\beta = 0,35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda}{150} = 0,35 + \frac{30}{200} - \frac{83,1}{150} = -0,05$$

Pro záporné β vyjde hodnota součinitele menší než 1, proto se uvažuje

$$K_\varphi = 1,0$$

Počáteční křivost sloupu:

$$\frac{l}{r_0} = \frac{\varepsilon_{yd}}{0,45 \cdot d} = \frac{0,002174}{0,45 \cdot 0,455} = 0,0106$$

Výpočtová křivost sloupu:

$$\frac{l}{r} = \frac{l}{r_0} \cdot K_r \cdot K_\varphi = 0,0106 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,0106$$

Výstřednost:

$$e_2 = \frac{l}{r} \cdot \frac{l_0^2}{c} = 0,0106 \cdot \frac{12^2}{10} = 0,153 \text{ mm} \quad , \text{ kde } c = 10$$

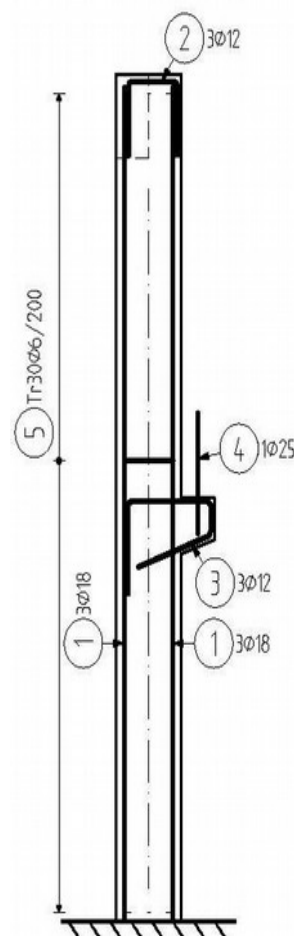
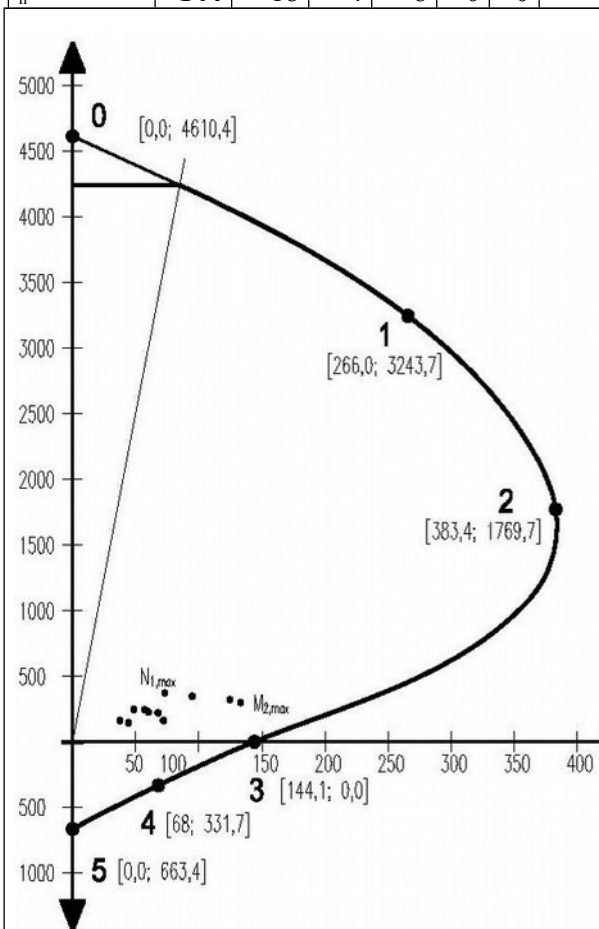
Výsledný ohybový moment:

$$M_{Ed}' = N_{Ed} \cdot (e_l + e_i + e_2) \quad e_l = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}}$$

Pomocí interakčního diagramu budou posouzeny nebezpečné kombinace M_{Ed} , N_{Ed} , zohledňující vliv imperfekcí a štíhlosti (2. řádu), přičemž každá kombinace může mít odlišné hodnoty výstřednosti e_2 , jež je funkcí n . V tomto konkrétním případě vychází vzhledem k omezujícím hodnotám koeficientů K_r a K_φ a vzhledem ke štíhlosti sloupu λ , značně překračující limitní hodnotu λ_{lim} , velikost výstřednosti e_2 totožná u všech kombinací. V Tab. 2.3 jsou uvedeny nebezpečné kombinace, přičemž tlakové normálové síly mají kladné znaménko a výsledný ohybový moment M_{Ed}' je vzhledem k symetrii vyztuženého průřezu uveden v absolutních hodnotách:

Tab. 2.3 Přehled nebezpečných kombinací

	N_{Ed}	M_{Ed}	n	λ_{lim}	K_r	K_φ	$1/r$	e_1	e_i	e_2	M_{Ed}'
$M_{1,max}$	321. 2	66	0.0 8	38. 0	1. 0	1. 0	0.010 6	0.20 5	0.03 0	0.15 3	124.7
$M_{1,min}, N_{1,mi}$ n	246	3.5	0.0 6	43. 5	1. 0	1. 0	0.010 6	0.01 4	0.03 0	0.15 3	48.5
$N_{1,max}$	371	5.2	0.0 9	35. 4	1. 0	1. 0	0.010 6	0.01 4	0.03 0	0.15 3	73.1
$M_{2,max}$	300. 5	78.2	0.0 8	39. 3	1. 0	1. 0	0.010 6	0.26 0	0.03 0	0.15 3	133.2
$M_{2,min}, N_{2,mi}$ n	228	18.4	0.0 6	45. 2	1. 0	1. 0	0.010 6	0.08 1	0.03 0	0.15 3	60.1
$N_{2,max}$	346. 7	31.5	0.0 9	36. 6	1. 0	1. 0	0.010 6	0.09 1	0.03 0	0.15 3	94.9
$M_{3,max}, N_{3,ma}$ x	244. 6	- 12.4	0.0 6	43. 6	1. 0	1. 0	0.010 6	0.05 1	0.03 0	0.15 3	57.1
$M_{3,min}$	162	42.4	0.0 4	53. 6	1. 0	1. 0	0.010 6	0.26 2	0.03 0	0.15 3	72.0
$N_{3,min}$	162	-8	0.0 4	53. 6	1. 0	1. 0	0.010 6	0.04 9	0.03 0	0.15 3	37.6
$M_{4,max}, N_{4,ma}$ x	220. 3	- 27.5	0.0 6	45. 9	1. 0	1. 0	0.010 6	0.12 5	0.03 0	0.15 3	67.8
$M_{4,min}, N_{4,mi}$ n	144	-18	0.0 4	56. 8	1. 0	1. 0	0.010 6	0.12 5	0.03 0	0.15 3	44.3



Obr. 2.16 Interakční diagram symetricky

Obr. 2.17 Schéma vyztužení

<i>vyztuženého sloupu se zanesením nebezpečných kombinací</i>	<i>sloupu</i>
---	---------------

Na Obr. 2 .16 je uvedeno dimenzování sloupu a na Obr. 2 .17 je uvedeno základní schéma vyztužení sloupu. Pro vyztužení sloupu platí konstrukční zásady vyztužování, viz [26].

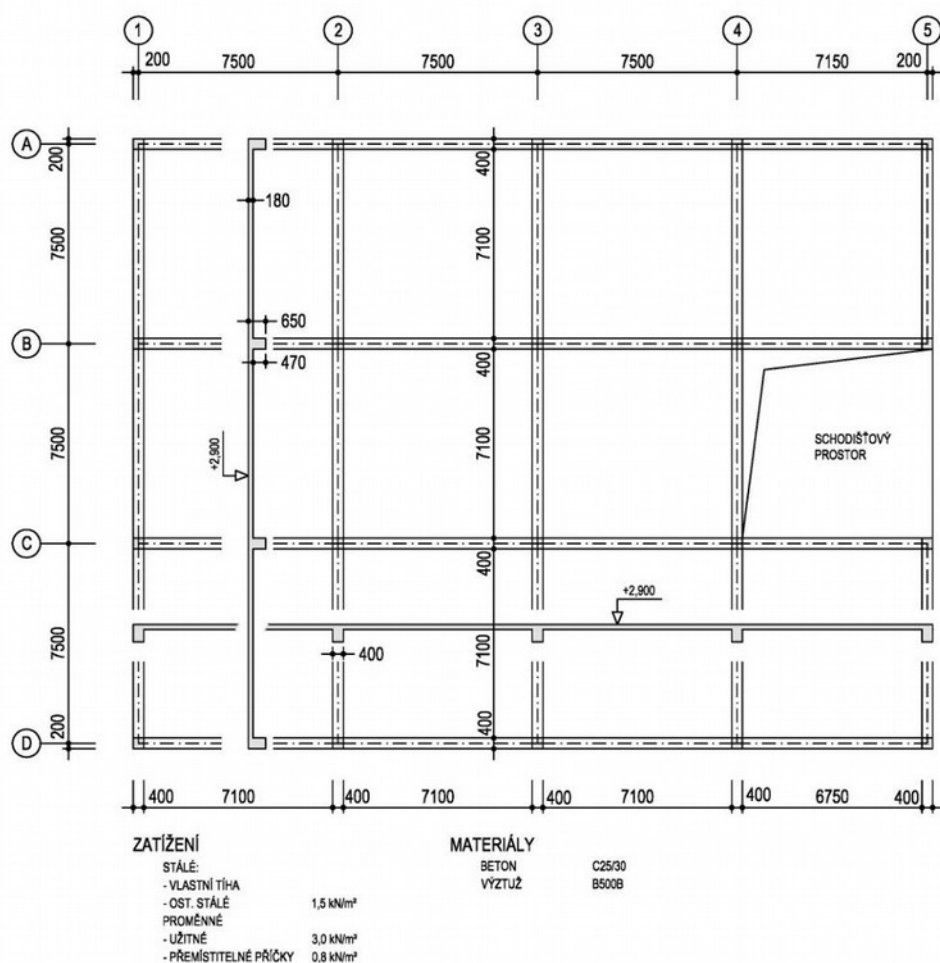
3 Křížem vyztužená spojitá stropní deska

3.1 Zadání příkladu

Posud'te křížem armovanou železobetonovou stropní desku o 4 x 3 polích, Obr. 3.18. Posud'te poddajnost trámů. Stanovte vnitřní síly pro dimenzování desky. Proveďte návrh vyztužení.

Výpočet proveďte v následujících variantách:

- 1) výpočet zjednodušenými metodami (*metodou náhradních nosníků*),
- 2) desková úloha - výpočet *metodou konečných prvků* (MKP) s liniovým podepřením v místě průvlaků.



Obr. 3.18 Tvar deskové konstrukce

3.2 Materiálové parametry

Beton C25/30:

charakteristická pevnost betonu v tlaku:

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

návrhová pevnost betonu v tlaku:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25}{1,5} = 16,7 \text{ MPa}$$

střední pevnost betonu v tahu:

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

modul pružnosti

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

Ocel B500B:

charakteristická pevnost výztuže v tahu:

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

návrhová pevnost výztuže v tahu:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,8 \text{ MPa}$$

modul pružnosti

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

3.3 Zatížení

Dle zadání máme uvažovat následující zatížení:

Stálé:

Vlastní tíha stropní desky (odhad $t = 0,18 \text{ m}$) $g_{0,k} = 4,5 \text{ kN/m}^2$

Ostatní stálé $g_{1,k} = 1,5 \text{ kN/m}^2$

Proměnné:

Užitné $q_{1,k} = 3,0 \text{ kN/m}^2$

Přemístitelné příčky $q_{2,k} = 0,8 \text{ kN/m}^2$

Vynásobením příslušným součinitelem zatížení získáme návrhové hodnoty:

Vlastní tíha $\gamma_G = 1,35$ $g_{0,d} = 6,08 \text{ kN/m}^2$

Ostatní stálé $\gamma_G = 1,35$ $g_{1,d} = 2,03 \text{ kN/m}^2$

Užitné $\gamma_Q = 1,5$ $q_{1,d} = 4,5 \text{ kN/m}^2$

Přemístitelné příčky $\gamma_Q = 1,5$ $q_{2,d} = 1,2 \text{ kN/m}^2$

Jde o budovu kategorie B – kancelářské plochy (dle tab. 6.1 v [6]). Podle této kategorie určíme příslušné kombinační součinitele ψ (dle tab. A1.1 v [5]).

Pro kombinační hodnotu proměnného zatížení

$$\psi_0 = 0,7$$

Pro častou hodnotu proměnného zatížení

$$\psi_1 = 0,5$$

Pro kvazi-stálou hodnotu proměnného zatížení

$$\psi_2 = 0,3$$

Nyní dle rovnic 6.10a a 6.10b [5] stanovíme rozhodující kombinaci zatížení pro mezní stav únosnosti. Pro úplnost uvádíme i vztah dle rovnice 6.10 [5], který je ale méně hospodárný:

Dle 6.10:

$$\begin{aligned} \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} = \\ = 6,08 + 2,03 + 0 + 4,5 + 0,7 \cdot 1,2 = 13,45 \text{ kN/m}^2. \end{aligned}$$

Dle 6.10a:

$$\begin{aligned} \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} = \\ = 6,08 + 2,03 + 0 + 0,7 \cdot 4,5 + 0,7 \cdot 1,2 = 12,10 \text{ kN/m}^2. \end{aligned}$$

Dle 6.10b:

$$\begin{aligned} \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} = \\ = 0,85 \cdot 6,08 + 0,85 \cdot 2,03 + 0 + 4,5 + 0,7 \cdot 1,2 = 12,23 \text{ kN/m}^2. \end{aligned}$$

Z těchto výrazů 6.10a a 6.10b máme vybrat tu méně příznivou, pro tento případ tedy hodnotu dle výrazu 6.10b:

$$\overline{f_d} = 12,23 \text{ kN/m}^2$$

Dále je třeba určit kombinace zatížení pro mezní stavy použitelnosti.

Charakteristická kombinace:

$$\begin{aligned} \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} = \\ = 4,5 + 1,5 + 0 + 3 + 0,7 \cdot 0,8 = 9,56 \text{ kN/m}^2. \end{aligned}$$

Častá kombinace:

$$\begin{aligned} \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} = \\ = 4,5 + 1,5 + 0 + 0,7 \cdot 3 + 0,5 \cdot 0,8 = 8,50 \text{ kN/m}^2. \end{aligned}$$

Kvazi-stálá kombinace:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} = 4,5 + 1,5 + 0 + 0,3 \cdot 3 + 0,3 \cdot 0,8 = 7,14 \text{ kN/m}^2.$$

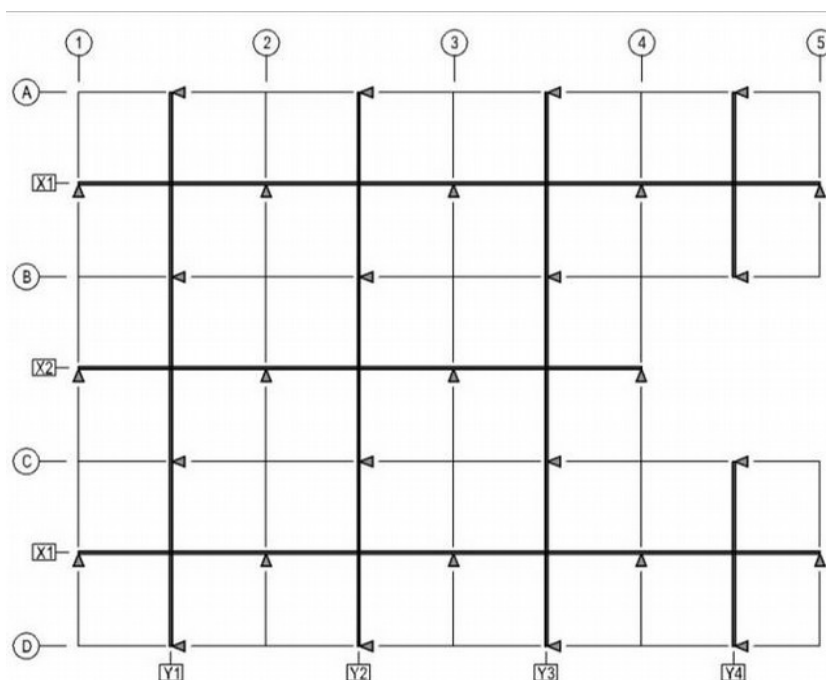
Poznámka:

Při uvažování jednoho typu proměnného zatížení (sečtení zatížení od příček se zatížením užitným) je výsledná hodnota zatížení v MSÚ $f_d=12,59\text{kN/m}^2$ a v MSP pro charakteristickou kombinaci $f_k=9,8\text{kN/m}^2$. U ostatních kombinací jsou hodnoty stejné. Tyto hodnoty dále uvažujeme v některých zjednodušujících výpočtech.

3.4 Metoda náhradních nosníků (var. 1)

V případě, že je deska podepřená stěnami nebo průvlaky o dostatečné tuhosti, je pro řešení vnitřních sil v desce možno použít metodu náhradních nosníků. Podstata metody náhradních nosníků spočívá v nahrazení deskové úlohy nosníkovým řešením, [24], [27]. Vytvoří se dva na sebe kolmé náhradní nosníky o stejné šířce (tuhosti). Obvykle je volena šířka desky 1 m. Proveďte se rozdělení celkového zatížení (v kN/m^2) na jednotlivé nosníky. Rozdělení zatížení se stanoví z rovnosti průhybů nosníků obou směrů. Pro takto zatížené nosníky se stanoví vnitřní síly jako u běžné jednosměrně pnuté desky. Dle skutečného uložení okrajů desek (možnost zvedání rohů) se zváží redukce momentů v poli v důsledku vzniku krouticích momentů.

V našem případě vytvoříme tři spojitě nosníky ve směru x (X1 dvakrát a X2). Ve směru y budou tři spojitě nosníky (Y1, Y2, Y3) a jeden nosník prostý (Y4), viz Obr. 3.19.



Obr. 3.19 Schéma náhradních nosníků v desce

Pro každé deskové pole jsou stanoveny okrajové podmínky (podepření). Po obvodě půdorysu je uvažováno s prostým podepřením. V místě průvlaků je poté spojitá podpora nahrazena vetknutím. Pro celkem 11 deskových polí tak dostáváme celkem čtyři různé typy deskového podepření, Chyba: zdroj odkazu nenalezen.

Pro návrh tloušťky desky se uvažuje rozpětí delších polí

$$L_x = L_y = 7,5m.$$

Pro předběžný návrh tloušťky desky po obvodě prostě podepřené se používá vztah:

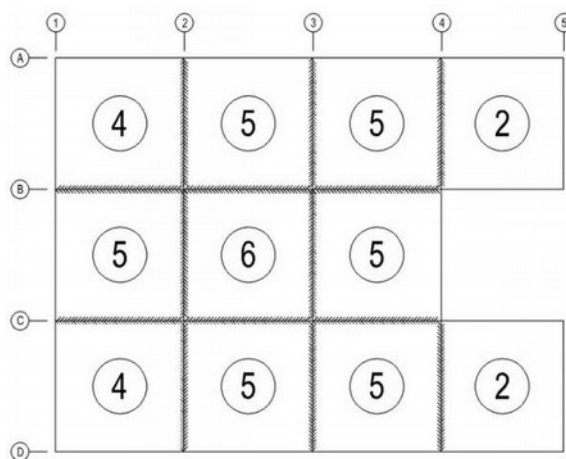
$$h_s = \frac{l}{75}(L_x + L_y) = \frac{l}{75}(7,5 + 7,5) = 0,200m.$$

Pro předběžný návrh tloušťky desky po obvodě vetknuté se používá vztah:

$$h_s = \frac{l}{105}(L_x + L_y) = \frac{l}{105}(7,5 + 7,5) = 0,142m.$$

Tloušťku desky je tedy možné uvažovat mezi 0,140 až 0,200 m. Přihlédneme k větší spojitosti jednotlivých desek a uvažujeme tloušťku desky

$$h_s = 0,180m.$$



Obr. 3.20 Typy podepření jednotlivých desek

Výška jednotlivých průvlaků (spojité a prosté nosníky) je navržena dle předběžného vztahu [26] Je

$$h_s = \left(\frac{l}{12} \div \frac{l}{10}\right)L = \left(\frac{l}{12} \div \frac{l}{10}\right)7,5 = 0,625 \div 0,75m.$$

zvolena konstantní výška všech průvlaků

$$h_s = 0,65m.$$

Dále je vhodné tloušťku desky ověřit také z hlediska **omezení průhybu**, [7]. Splňují-li desky níže uvedený vztah, není obvykle nutné určovat průhyby výpočtem.

K tomu lze použít vztah 7.16a v [7]:

$$\frac{l}{d} = \frac{310}{\sigma_s} K \left[11 + 1,5 \sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_o}{\rho} + 3,2 \sqrt{f_{ck}} \left(\frac{\rho_o}{\rho} - 1 \right)^{3/2} \right], \text{ kde se koeficient } K \text{ určí}$$

z tab. 7.4 [7] (1,3 pro krajní a 1,5 pro střední pole spojitého nosníku); ρ_o je referenční stupeň vyztužení a σ_s je tahové napětí ve

$$\rho_o = 10^{-3} \cdot \sqrt{f_{ck}} = 5 \cdot 10^{-3}$$

výztuži při návrhovém zatížení pro MSP. Lze předpokládat, že bude rovno přibližně polovině f_{yk} (jelikož se předpokládá, že kvazi-stálá kombinace dosahuje přibližně 50% návrhového zatížení v MSÚ, $\sigma_s=250\text{MPa}$). Stupeň vyztužení odhadneme jako $\rho=0,003$. Po dosazení dostáváme:

$$\frac{l}{d} = 51,9 \Rightarrow d = \frac{7,5}{51,9} = 0,14\text{m}$$

Výše uvedený vztah však platí pro desky o rozpětí do 7 m. Pro desky větších rozpětí má být vztah násoben poměrem $l_{eff}/7 = 7,5/7 = 1,071$. Dostáváme tak $d = 0,14 \cdot 1,071 = 0,15\text{m}$.

Přičteme-li odhad polohy výztuže od dolního okraje $d_l = 0,03\text{m}$, získáme $h = 0,18\text{m}$. Původní návrh tloušťky desky tedy vyhovuje.

Ověření tloušťky desky dle předpisu **ACI Code** čl. 9.5.3.3[29] (alt. [28]). Pro návrh tloušťky desky platí:

$$h = \frac{l_n(0,8 + f_y / 1400)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)}, \text{ platí pro } 0,2 < \alpha_{fm} \leq 2,0$$

$$h = \frac{l_n(0,8 + f_y / 1400)}{36 + 9\beta}, \text{ platí pro } \alpha_{fm} > 2,0$$

kde je:

L_n – světlé rozpětí v delším směru,

α_{fm} – průměrná hodnota součinitele ztužení pro všechny deskové trámy (je větší jak 2),

β – poměr delšího světlého rozpětí a kratšího světlého rozpětí,

f_y – mez kluzu.

Po dosazení:

$$h = \frac{7,1(0,8 + 500 / 1400)}{36 + 9 \cdot 1} = \frac{7,1}{38,88} = 0,183\text{m}.$$

Původní návrh tloušťky desky tedy také vyhovuje.

3.4.1 Posouzení tuhosti trámů

Dále je nutné určit, zda průvlaky jsou dostatečně tuhé na to, abychom je mohli uvažovat jako liniové podpory. Využít lze postup uvedený v [25].

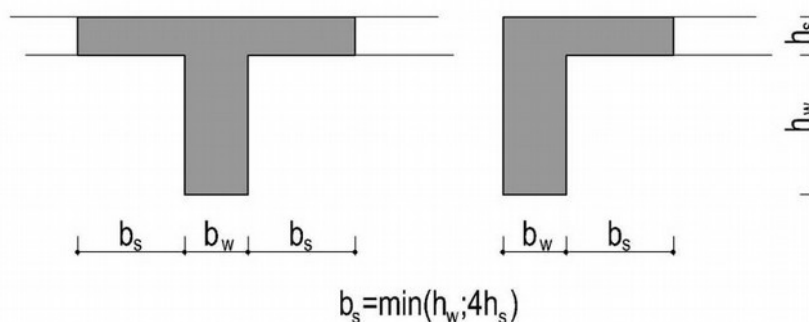
Dle čl. čl. 8.2.13 až 8.2.16 normy [25] je třeba ověřit poměr

$$\alpha_1 \cdot \frac{l_1}{l_2} \geq 2 \quad , \text{ kde platí } \alpha = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_s}$$

Zde dosadíme:

- I_b – moment setrvačnosti účinného průřezu ztužujícího trámu (dle čl. 3.15 [25]) ležícího v rovině předpokládaného ohybu,
- I_s – moment setrvačnosti desky o šířce dané polovinou rozpětí polí pro vnitřní trám; respektive o šířce poloviny světlého rozpětí plus šířka trámu pro krajní trám;
- $E_{cb} = E_{cs}$ – moduly pružnosti trámu a desky (v našem případě jsou oba stejné).

Účinný průřez má tvar dle Obr. 3.21. Je zde nutné dodržovat názvosloví a nezaměňovat účinný průřez s efektivním průřezem – tedy spolupůsobící šířkou.



Obr. 3.21 Účinný průřez

Pro náš případ:

$$h_w = 470\text{mm}, h_s = 180\text{mm}, b_w = 400\text{mm}$$

$$b_s = h_w = 470\text{mm} \leq 4 \cdot h_s = 720\text{mm}$$

Pro vnitřní průvlak potom platí:

$$b = 2 \cdot 7,5 / 2 = 7,5\text{m}$$

$$b_h = 0,4 + 2 \cdot 0,47 = 1,34\text{m}$$

$$I_s = b \cdot h_s^3 / 12 = 7,5 \cdot 0,18^3 / 12 = 0,003645\text{m}^4$$

$$I_{b,d} = b_h \cdot h_s^3 / 12 = 1,34 \cdot 0,18^3 / 12 = 0,00065124 m^4$$

$$A_{b,d} = 1,34 \cdot 0,18 = 0,2412 m^2$$

$$I_{b,t} = b_w \cdot h_w^3 / 12 = 0,4 \cdot 0,47^3 / 12 = 0,0034608 m^4$$

$$A_{b,t} = 0,4 \cdot 0,47 = 0,188 m^2$$

$$A_b = 1,34 \cdot 0,18 + 0,4 \cdot 0,47 = 0,4292 m^2$$

$$c_g = \frac{(0,47 + 0,09) \cdot 0,2412 + 0,5 \cdot 0,47 \cdot 0,188}{0,4292} = 0,418 m$$

$$\begin{aligned} I_b &= I_{b,d} + A_{b,d} \cdot |c_g - c_{g,bd}|^2 + I_{b,t} + A_{b,t} \cdot |c_g - c_{g,bt}|^2 = \\ &= 0,00065124 + 0,2412 \cdot (0,418 - (0,47 + 0,09))^2 + 0,0034608 + \\ &+ 0,188 \cdot (0,418 - 0,47 \cdot 0,5)^2 = 0,015271 m^4, \end{aligned}$$

$$\alpha_1 = 0,015271 / 0,003645 = 4,19$$

→ vyhovuje.

$$\alpha_1 \frac{l_1}{l_2} = 4,19 \cdot 7,5 / 7,5 = 4,19 \geq 2$$

Pro krajní průvlak:

$$b = 0,4 + 3,55 = 3,95 m$$

$$b_h = 0,4 + 0,47 = 0,87 m$$

$$I_s = b \cdot h_s^3 / 12 = 3,95 \cdot 0,18^3 / 12 = 0,0019197 m^4$$

$$I_{b,d} = b_h \cdot h_s^3 / 12 = 0,87 \cdot 0,18^3 / 12 = 0,00042282 m^4$$

$$A_{b,d} = 0,87 \cdot 0,18 = 0,1566 m^2$$

$$I_{b,t} = b_w \cdot h_w^3 / 12 = 0,4 \cdot 0,47^3 / 12 = 0,0034608 m^4$$

$$A_{b,t} = 0,4 \cdot 0,47 = 0,188 m^2$$

$$A_b = 0,87 \cdot 0,18 + 0,4 \cdot 0,47 = 0,3446 m^2$$

$$c_g = \frac{(0,47 + 0,09) \cdot 0,1566 + 0,5 \cdot 0,47 \cdot 0,188}{0,3446} = 0,382 m$$

$$\begin{aligned} I_b &= I_{b,d} + A_{b,d} \cdot |c_g - c_{g,bd}|^2 + I_{b,t} + A_{b,t} \cdot |c_g - c_{g,bt}|^2 = \\ &= 0,00042282 + 0,1566 \cdot (0,382 - (0,47 + 0,09))^2 + 0,0034608 + \\ &+ 0,188 \cdot (0,382 - 0,47 \cdot 0,5)^2 = 0,012908 m^4, \end{aligned}$$

$$\alpha_l = 0,012908 / 0,0019197 = 6,72$$

→ bezpečně vyhovuje.

$$\alpha_l \frac{l_1}{l_2} = 6,72 \cdot 7,15 / 7,5 = 6,41 \geq 2$$

Je tedy možné průvlaky považovat za dostatečně tuhé. Ve výpočtu je proto lze nahradit tuhými liniovými podporami.

3.4.2 Rozdělení zatížení do směrů

Pro rozdělení zatížení do jednotlivých směrů platí vztahy:

$$f = f_x + f_y, \quad f_x = C_x \cdot f, \quad f_y = (1 - C_x) \cdot f.$$

Kde je f celkové nerozložené zatížení [kN/m^2] a C_x je součinitel rozdělení zatížení, stanovený z rovnosti průhybů jednotlivých desek.

Například pro bod A (Obr. 3.23), umístěný v levém dolním deskovém poli lze uvažovat uložení desky jako jednostranně vetknutý nosník. Průhyb v tomto bodě se rovná:

$$w_x = w_y = \frac{2 \cdot f \cdot l^4}{384 \cdot EI}$$

Jelikož je deska čtvercová i zatížení bude rozděleno rovnoměrně do obou směrů.

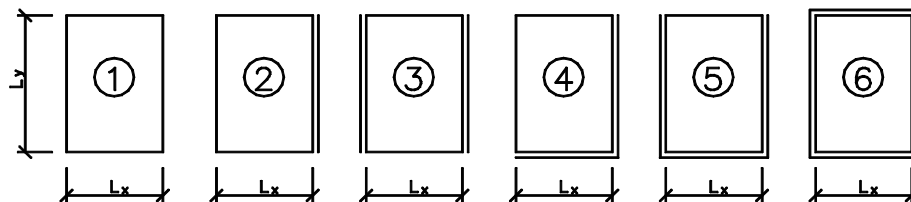
Pro bod G, který je umístěn v pravém deskovém poli, je ale už deska obdélníková a její uložení je jiné pro směr x a směr y . Musíme tedy použít vztahy pro určení koeficientu rozdělení zatížení:

$$2 \cdot C_x \cdot L_x^4 = 5 \cdot (1 - C_x) \cdot L_y^4,$$

$$C_x = \frac{5 \cdot L_y^4}{2 \cdot L_x^4 + 5 \cdot L_y^4} = \frac{5 \cdot 7,5^4}{2 \cdot 7,15^4 + 5 \cdot 7,5^4} = 0,7517.$$

Součinitele C_x je též možno určit pro libovolná podepření desek dle Obr. 3.22. Pro náš případ potřebujeme určit koeficient pro desky typu 2, 4, 5 a 6 (viz Chyba: zdroj odkazu nenalezen).

Takto je možné určit součinitele roznosu zatížení pro všechny desková pole. Výpočet pro ostatní body je uveden v Tab. 3.4.



$$C_{x,1} = \frac{1}{\lambda + 1}, \quad C_{x,2} = \frac{1}{\frac{2}{5}\lambda + 1}, \quad C_{x,3} = \frac{1}{\frac{1}{5}\lambda + 1}, \quad C_{x,4} = \frac{1}{\lambda + 1}$$

$$C_{x,5} = \frac{1}{\frac{1}{2}\lambda + 1}, \quad C_{x,6} = \frac{1}{\lambda + 1}, \quad \lambda = \frac{L_x^4}{L_y^4}$$

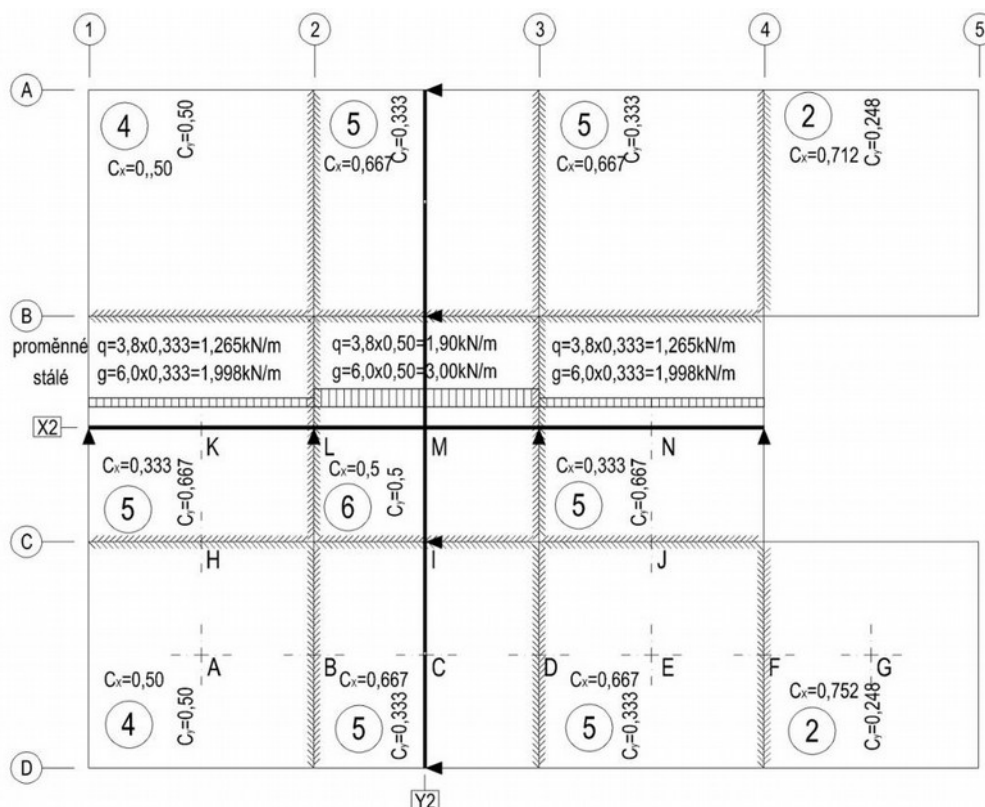
Jednoduchá čára – prostý okraj (prosté podepření)

Dvojitá čára – vetknutý okraj (nebo spojitost)

Obr. 3.22 Součinitel rozdělení zatížení $C_{x,i}$ pro základní způsoby uložení jednoho deskového pole

Tab. 3.4 Rozdělení zatížení do směrů

Hvězdička u bodů K a N (typ desky) označuje nutnost otočit osy. Oproti schématu na Obr. 3.22 je totiž deska otočena o $+90^\circ$, respektive o -90° .



Obr. 3.23 Koeficienty C_x a C_y pro jednotlivá desková pole

3.4.3 Výpočet vnitřních sil

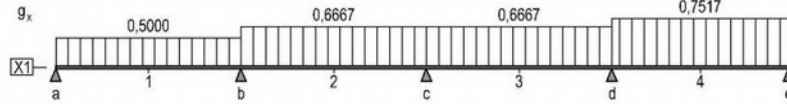
K výpočtu vnitřních sil v této variantě použijeme statické tabulky [12] (str. 353 – 367), které nám umožní snadno určit podporové momenty na spojitém nosníku a poté stanovíme i momenty v poli. Nosníky budeme uvažovat dle Obr. 3.19.

Vnitřní síly určíme pro jednotkové plošné zatížení 1 kN/m^2 . Náhradní nosníky zatížíme již rozděleným zatížením do směrů x a y . Jejich hodnota odpovídá hodnotě součinitele C_x (resp. $C_y = 1 - C_x$). Tím určíme příčinky pro jednotlivé momenty (kladné i záporné) a tyto příspěvky pak vynásobíme skutečným zatížením. Tyto příčinkové momenty od jednotkového plošného zatížení označíme jako $\bar{M}_i$.

Ve [12] jsou hodnoty koeficientů uvedeny pro spojitě zatížení. Při určování podporových momentů použijeme průměr zatížení z levé a pravé strany. Podobně budeme postupovat i pro stanovení délky pro nosník X1 (poslední pole je kratší než ostatní).

Stálé zatížení:

Směr x :



$$\dot{M}_b = -0,1071 \cdot gl^2 = -0,1071 \cdot 0,5 \cdot (0,5 + 0,6667) \cdot 7,5^2 = -3,5143,$$

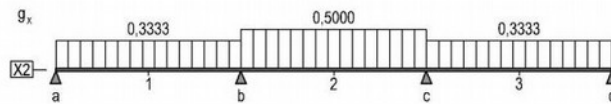
$$\dot{M}_c = -0,0714 \cdot gl^2 = -0,0714 \cdot 0,6667 \cdot 7,5^2 = -2,6777,$$

$$\dot{M}_d = -0,1071 \cdot gl^2 = -0,1071 \cdot 0,5 \cdot (0,6667 + 0,7517) \cdot [(7,5 + 7,15) / 2]^2 = -4,0754,$$

$$\dot{M}_{\max,1} = 0,0772 \cdot gl^2 = 0,0772 \cdot 0,5 \cdot 7,5^2 = 2,1713,$$

$$\dot{M}_{\max,2} = \dot{M}_{\max,3} = 0,0593 \cdot gl^2 = 0,0593 \cdot 0,667 \cdot 7,5^2 = 2,2239,$$

$$\dot{M}_{\max,4} = 0,0772 \cdot gl^2 = 0,0772 \cdot 0,7517 \cdot 7,15^2 = 2,9667.$$

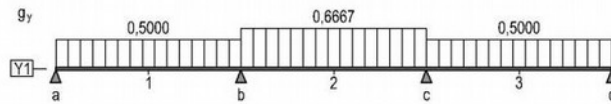


$$\dot{M}_b = \dot{M}_c = -0,1000 \cdot gl^2 = -0,1 \cdot 0,5 \cdot (0,3333 + 0,5) \cdot 7,5^2 = -2,3437,$$

$$\dot{M}_{\max,1} = \dot{M}_{\max,3} = 0,0800 \cdot gl^2 = 0,08 \cdot 0,3333 \cdot 7,5^2 = 1,4999,$$

$$\dot{M}_{\max,2} = 0,0250 \cdot gl^2 = 0,025 \cdot 0,5 \cdot 7,5^2 = 0,7031.$$

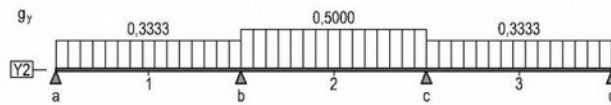
Směr y:



$$\dot{M}_b = \dot{M}_c = -0,1000 \cdot gl^2 = -0,1 \cdot 0,5 \cdot (0,5 + 0,6667) \cdot 7,5^2 = -3,2813,$$

$$\dot{M}_{\max,1} = \dot{M}_{\max,3} = 0,0800 \cdot gl^2 = 0,08 \cdot 0,5 \cdot 7,5^2 = 2,2500,$$

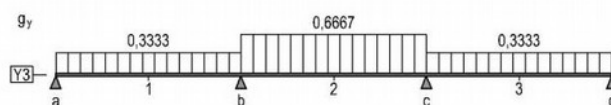
$$\dot{M}_{\max,2} = 0,0250 \cdot gl^2 = 0,0250 \cdot 0,6667 \cdot 7,5^2 = 0,9375.$$



$$\dot{M}_b = \dot{M}_c = -0,1000 \cdot gl^2 = -0,1 \cdot 0,5 \cdot (0,3333 + 0,5) \cdot 7,5^2 = -2,3437,$$

$$\dot{M}_{\max,1} = \dot{M}_{\max,3} = 0,0800 \cdot gl^2 = 0,08 \cdot 0,3333 \cdot 7,5^2 = 1,4999,$$

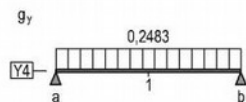
$$\dot{M}_{\max,2} = 0,0250 \cdot gl^2 = 0,025 \cdot 0,5 \cdot 7,5^2 = 0,7031.$$



$$\dot{M}_b = \dot{M}_c = -0,1000 \cdot gl^2 = -0,1 \cdot 0,5 \cdot (0,3333 + 0,6667) \cdot 7,5^2 = -2,8125,$$

$$\dot{M}_{\max, 1} = \dot{M}_{\max, 3} = 0,0800 \cdot gl^2 = 0,08 \cdot 0,3333 \cdot 7,5^2 = 1,4999,$$

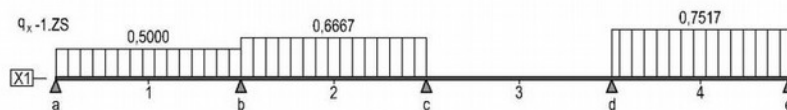
$$\dot{M}_{\max, 2} = 0,0250 \cdot gl^2 = 0,025 \cdot 0,6667 \cdot 7,5^2 = 0,9375.$$



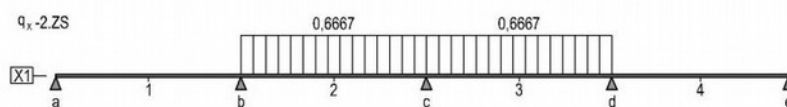
$$\dot{M}_{\max, 1} = 0,1250 \cdot gl^2 = 0,125 \cdot 0,2483 \cdot 7,5^2 = 1,7459.$$

Proměnné zatížení:

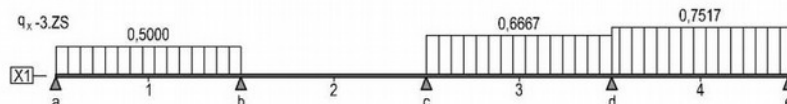
Nosník XI:



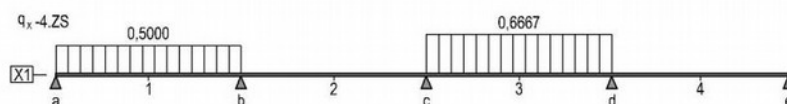
$$\dot{M}_b = -0,1205 \cdot ql^2 = -0,1205 \cdot 0,5 \cdot (0,5 + 0,6667) \cdot [0,3333 \cdot (7,5 + 7,5 + 7,15)]^2 = -3,8312.$$



$$\dot{M}_c = -0,1071 \cdot ql^2 = -0,1071 \cdot 0,6667 \cdot 7,5^2 = -4,0165.$$

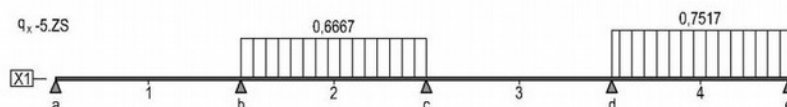


$$\dot{M}_d = -0,1205 \cdot ql^2 = -0,1205 \cdot 0,5 \cdot (0,6667 + 0,7517) \cdot [0,3333 \cdot (7,5 + 7,5 + 7,15)]^2 = -4,6577.$$



$$\dot{M}_{\max, 1} = 0,0996 \cdot ql^2 = 0,0996 \cdot 0,5 \cdot (0,5 + 0,6667) \cdot 7,5^2 = 3,2682,$$

$$\dot{M}_{\max, 3} = 0,0805 \cdot ql^2 = 0,0805 \cdot 0,5 \cdot (0,5 + 0,6667) \cdot 7,5^2 = 2,6415.$$



$$\dot{M}_{\max, 2} = 0,0805 \cdot ql^2 = 0,0805 \cdot 0,5 \cdot (0,6667 + 0,7517) \cdot$$

$$\cdot [0,5 \cdot (7,5 + 7,15)]^2 = 3,0632,$$

$$\dot{M}_{\max, 4} = 0,0996 \cdot ql^2 = 0,0905 \cdot 0,5 \cdot (0,6667 + 0,7517) \cdot$$

$$\cdot [0,5 \cdot (7,5 + 7,15)]^2 = 3,7900.$$

Podobně lze nyní pomocí [12] stanovit příspěvky pro momenty od proměnného zatížení i pro ostatní náhradní nosníky. Zde již uvádíme pouze tabulky výsledných příčinků pro všechny nosníky. Příčinkové hodnoty je nyní třeba vynásobit velikostí plošných zatížení a bezpečnostními a kombinačními součiniteli. Jak již bylo vysvětleno dříve, budeme uvažovat hodnoty dle výrazu 6.10b [5]. Je možné též stanovit také kvazi-stálou kombinaci pro MSP využívanou pro výpočet průhybu desky.

Tab. 3.5 Momenty na náhradním nosníku X1

Tab. 3.6 Momenty na náhradním nosníku X2

Tab. 3.7 Momenty na náhradním nosníku Y1

Tab. 3.8 Momenty na náhradním nosníku Y2

Tab. 3.9 Momenty na náhradním nosníku Y4

Tab. 3.10 Momenty na náhradním nosníku Y3

Takto určené momenty jsou určené pro desku, kde není zabráněno zvedání rohů. To se však v našem případě neplatí (přetížení okrajových částí desky). Tímto vznikají v desce přídavné krouticí momenty $m_{xy}=m_{yx}$. U obdélníkových desek bez výraznějších otvorů a při rovnoměrné intenzitě plošného zatížení lze využít těchto krouticích momentů k redukci kladných momentů v desce. Způsobů jak provést tuto redukci je několik. Lze použít například postup dle Marcuse zmíněný v [16], kde se využívá součinitele κ , jež je dán vztahem:

$$\kappa = \frac{5}{6} \cdot \frac{L_x^2 \cdot L_y^2}{L_x^4 + L_y^4}$$

Tento součinitel se poté použije pro redukci deskových momentů dle Tab. 3 . 11, kde M_i je moment určený bez vlivu kroucení, $i=\{x, y\}$ a m_i je moment s vlivem kroucení.

Tab. 3.11 Použití součinitele κ podle typu uložení desky

Prosté podepření na obou koncích	$m_i = M_i \cdot (1 - \kappa)$
Na jednom konci prosté podepření, na druhém vetknutí	$m_i = M_i \cdot (1 - \frac{2}{3}\kappa)$
Na obou koncích vetknutí	$m_i = M_i \cdot (1 - \frac{1}{3}\kappa)$

Pomocí tohoto postupu tedy opravíme momenty v poli a tak získáme hodnoty momentů pro návrh výztuže, viz Tab. 3 . 12. Zde jsou již momenty seřazeny dle bodů, pro něž bude proveden návrh výztuže (rozmístění bodů dle Obr. 3 . 23).

Tab. 3.12 Redukce kladných momentů pro MSÚ

[illegible]

Tab. 3.13 Redukce kladných momentů pro MSP

[illegible]

Nyní lze přistoupit k návrhu a posouzení výztuže desky.

3.4.4 Návrh a posouzení výztuže desky

Jak lze vidět z Tab. 3.12, větší momenty jsou ve směru x (jak v poli, tak nad podporami). Proto bude výztuž ve směru x uložena blíže povrchu. Návrh i posouzení je provedeno v následujících tabulkách. Návrh výztuže je proveden

pro obdélníkový průřez jednostranně vyztužený. Způsob dimenzování je podrobněji vysvětlen například v [26], případně v základním kurzu pro předmět BL01. Zde je využito tabulkového procesoru (Excel).

Tab. 3.14 Návrh výztuže desky – dolní povrch, směr x

$$A_{s,\min} = \max\left(0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d; 0,0014 \cdot b_t \cdot d;$$

$$0,0018 \cdot \frac{f_{yk}}{500} \cdot b_t \cdot d) = 281 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,\max} = 0,04 \cdot A_c = 7200 \text{ mm}^2$$

Tab. 3.15 Návrh výztuže desky – dolní povrch, směr y

Tab. 3.16 Návrh výztuže desky – horní povrch, směr x

$$A_{s,\min} = \max(0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d; 0,0014 \cdot b_t \cdot d;$$

$$0,0018 \cdot \frac{f_{yk}}{500} \cdot b_t \cdot d) = 277 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,\max} = 0,04 \cdot A_c = 7200 \text{ mm}^2$$

Tab. 3.17 Návrh výztuže desky – horní povrch, směr y

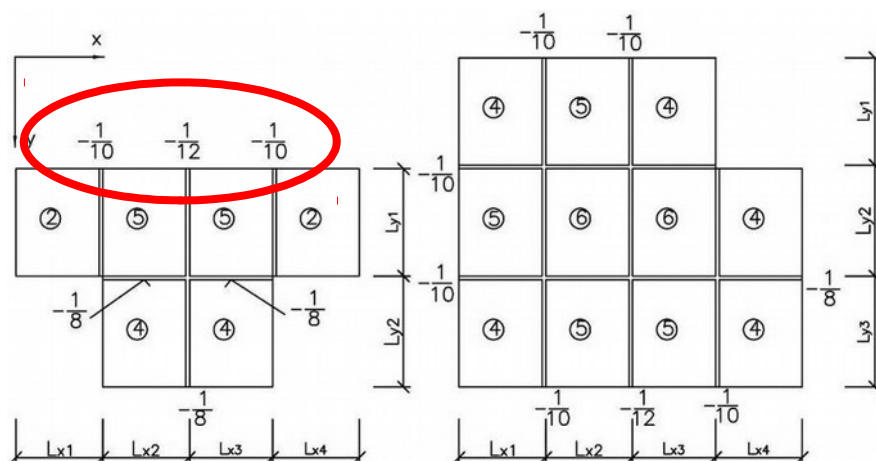
$$A_{s,\min} = \max(0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d; 0,0014 \cdot b_t \cdot d;$$

$$0,0018 \cdot \frac{f_{yk}}{500} \cdot b_t \cdot d) = 256 \text{ mm}^2$$

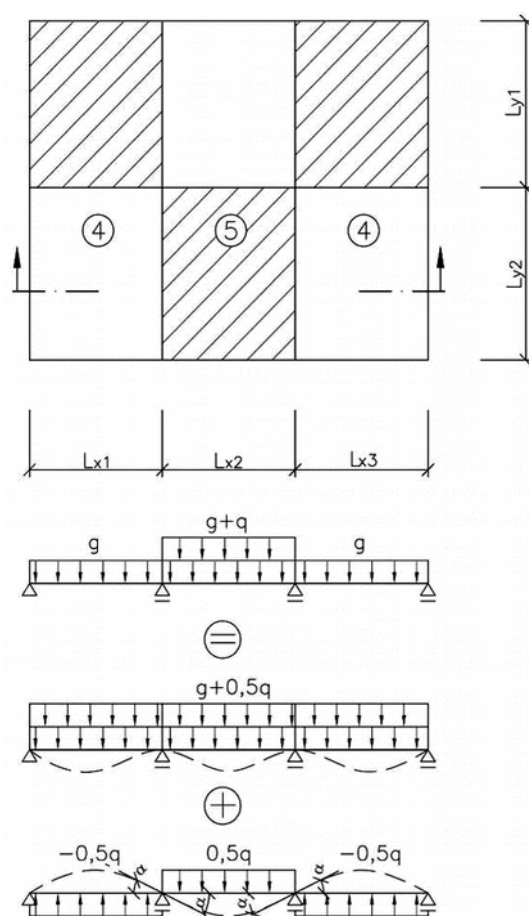
$$A_{s,\max} = 0,04 \cdot A_c = 7200 \text{ mm}^2$$

3.5 Zjednodušené metody řešení (var. 2)

Zjednodušený způsob výpočtu ohybových momentů v deskách pro desky po obvodě podepřené je možné provést za předpokladu stejných rozpětí deskových polí (odlišující se o max. 20 % největšího z rozpětí v daném směru. Podrobněji, viz modul CW4 [27] nebo [24]. Podporové momenty se stanoví dle Obr. 3.19 s využitím základních vztahů ze stavební mechaniky pro spojitě nosníky.



Obr. 3.24 Výpočet podporových momentů



Obr. 3.25 Výpočet kladných momentů

Kladné momenty je třeba řešit s vlivem šachovnicově umístěného proměnného zatížení. Způsob výpočtu je uveden na Obr. 3.25 a dále podrobněji viz modul CW4 [27] nebo [24].

Nosník X2 – spojitý nosník o třech polích

Pole 6 – záporný moment (bod L)

Zatížení z obou polí je zprůměrováno (rovnice 6.10b):

$$p_{dx} = g_k \frac{(C_{x5} + C_{x6})}{2} \gamma_f \cdot \xi + q_k \frac{(C_{x5} + C_{x6})}{2} \gamma_f =$$

$$= 6,0 \frac{(0,5 + 0,333)}{2} 1,35 \cdot 0,85 + 3,8 \frac{(0,5 + 0,333)}{2} 1,5 = 5,24 \text{ kN/m}.$$

Návrhový nad podporový moment:

$$m_{xp} = -\frac{l}{10} p_{dx} L_x^2 = -\frac{l}{10} \cdot 5,24 \cdot 7,5^2 = -29,48 \text{ kNm}.$$

Pole 6 – kladný moment (bod M)- uvažováno nahodilé zatížení pouze v poli 6 (rovnice 6.10b):

$$g + 0,5 \cdot q = g_k \gamma_f \cdot \xi + 0,5 \cdot q_k \gamma_f =$$

$$6,0 \cdot 1,35 \cdot 0,85 + 0,5 \cdot 3,8 \cdot 1,5 = 9,74 \text{ kN/m}$$

$$0,5 \cdot q = 0,5 \cdot q_k \gamma_f = 0,5 \cdot 3,8 \cdot 1,5 = 2,85 \text{ kN/m}.$$

Redukční součinitel pro moment v poli:

$$\kappa = \frac{5}{6} \frac{L_x^2 L_y^2}{L_x^4 + L_y^4} = \frac{5}{12}.$$

Návrhový moment podporový moment:

$$m_x = \left[\frac{C_{x,6}}{24} \left(1 - \frac{\kappa_6}{3} \right) (g + 0,5 q) + \frac{C_{x,l}}{8} (1 - \kappa_l) 0,5 q \right] L_{x2}^2 =$$

$$\left[\frac{0,5}{24} \left(1 - \frac{5}{12} \cdot \frac{1}{3} \right) 9,74 + \frac{0,5}{8} \left(1 - \frac{5}{12} \right) 2,85 \right] 7,5^2 = 15,67 \text{ kNm}.$$

Ověření součtu kladného a záporného momentu:

$$M_x = \frac{l}{8} f_d \cdot C_6 \cdot L_{x2}^2 = \frac{l}{8} 12,59 \cdot 0,5 \cdot 7,5^2 = 44,26 \text{ kNm} \approx$$

$$\approx 15,67 + 29,48 = 45,15 \text{ kNm}.$$

Pole 5 – kladný moment (bod K)- uvažováno nahodilé zatížení pouze v poli 5 (rovnice 6.10b).

Návrhový moment s uvažováním vlivu krouticích momentů:

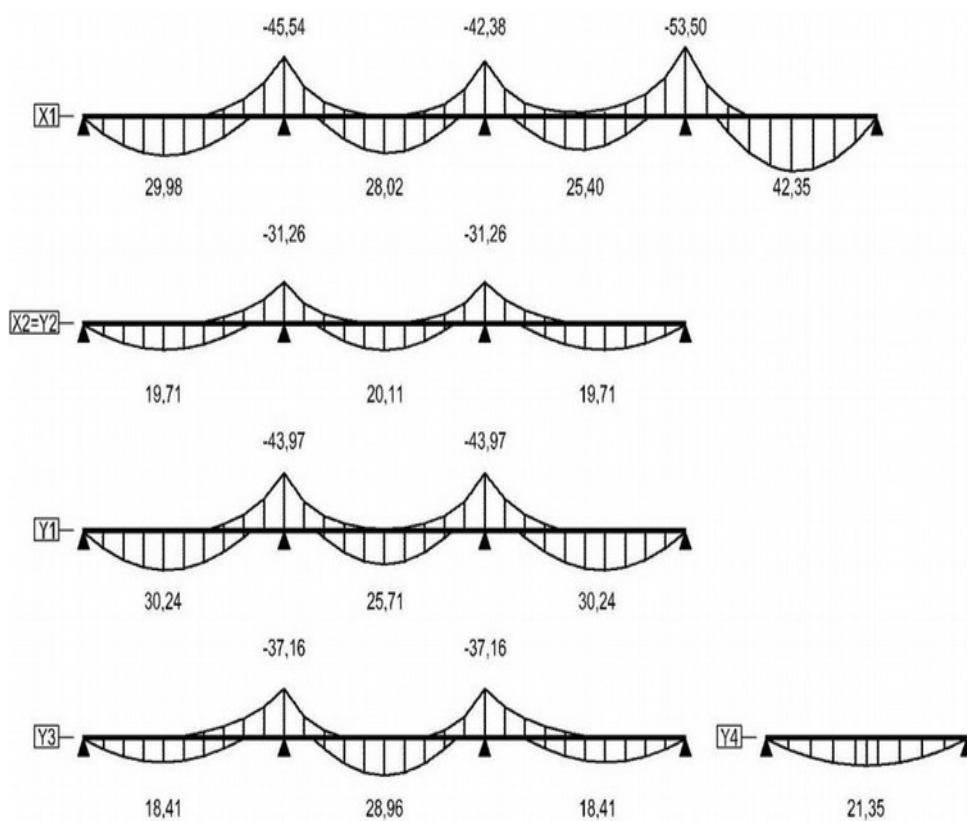
$$m_x = \left[\frac{9(C_{x,5})}{128} \left(1 - \frac{2\kappa_5}{3} \right) (g + 0,5 q) + \frac{C_{x,l}}{8} (1 - \kappa_l) 0,5 q \right] L_{x,l}^2 =$$

$$\left[\frac{9,0,333}{128} \left(1 - \frac{5}{12} \cdot \frac{2}{3} \right) 9,74 + \frac{0,5}{8} \left(1 - \frac{5}{12} \right) 2,85 \right] 7,5^2 = 15,11 \text{ kNm},$$

Tab. 3.18 Použití součinitele κ podle typu uložení desky

[illegible]

Řešení náhradních nosníků z kapitoly 3.4 je možné provést i metodou konečných prvků s využitím některého s dostupných výpočtových programů. Na Obr. 3.26 Jsou uvedeny průběhy momentů stanovené v programu SCIA [23]. V řešení jsou zohledněna šachovnicová zatížení. Na rozdíl od předchozích řešení není proměnné zatížení z přilehlých polí zprůměrováno. Porovnejte samostatně řešení pomocí programu a statických tabulek, dejte pozor na vliv redukce kladných momentů.



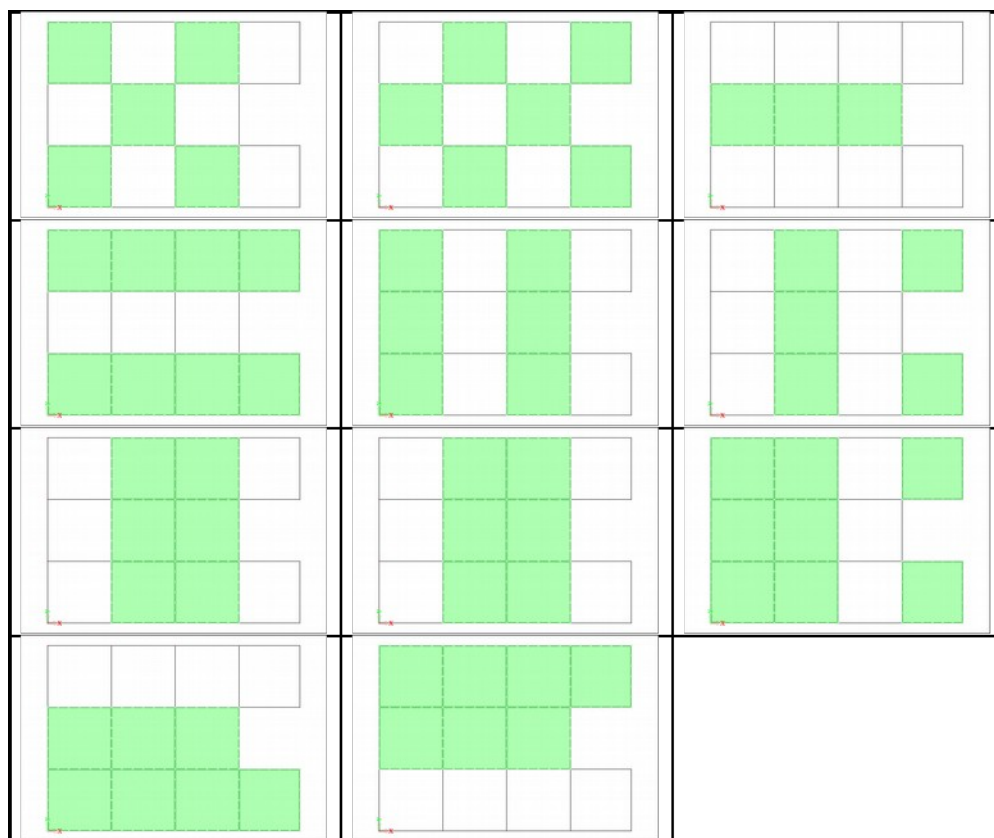
Obr. 3.26 Výsledky z prutového modelu - program [23] (momenty jsou bez redukce momentů v poli a nad podporou).

3.7 MKP – desková úloha

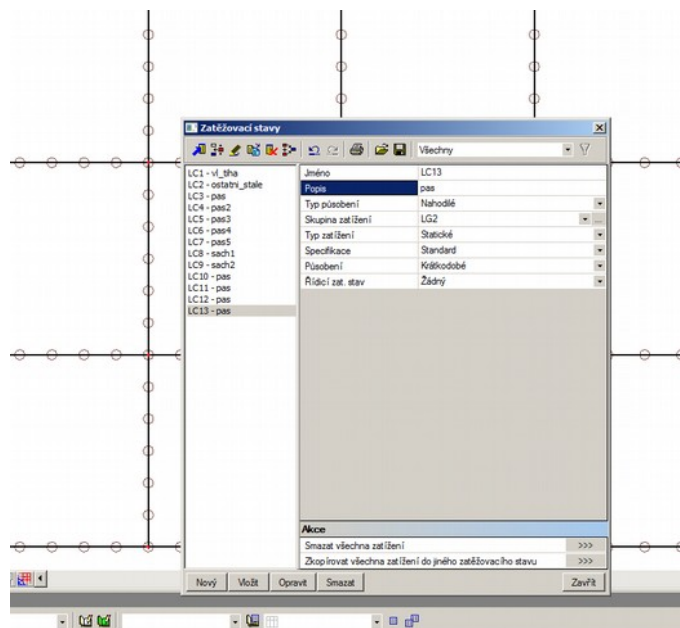
Konstrukce je řešena deskovým výpočetním modelem, který je podporován tuhými liniovými podporami v místě průvlaků. Výpočet je proveden v programu Scia Engineer, [23]. Jedná se lineární model s tuhými liniovými podporami. Rohy desek jsou tuze upnuty – nemohou se zvedat. Deska je rozdělena na jednotlivé konečné prvky. Pro získání následujících výsledků byl zvolen průměrný prvek o velikosti 250 mm. Jde o tenkou desku, z toho důvodu byla použita Kirchhoffova desková teorie.

3.7.1 Zatížení

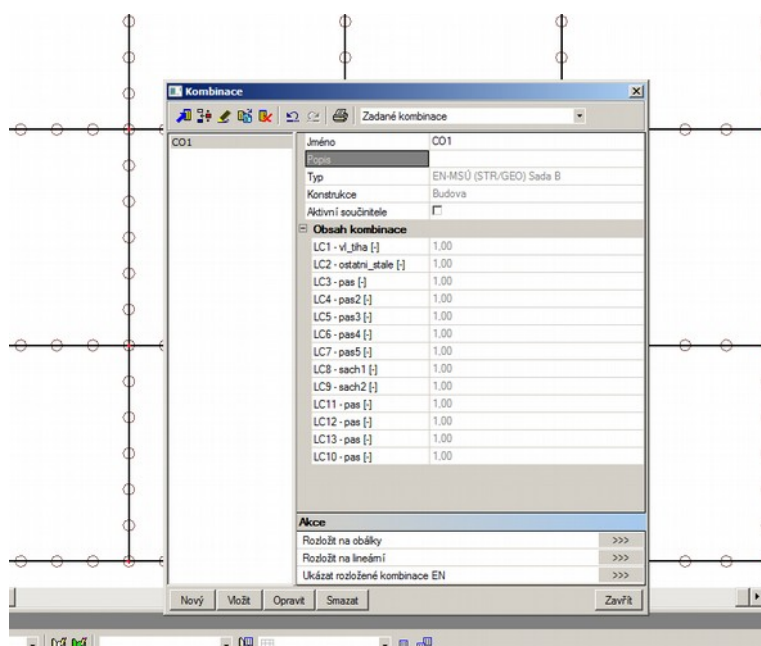
Při řešení je třeba uvažovat zatížení jak stálá, tak proměnná v zadaných charakteristických hodnotách. Zatímco stálá zatížení budou uvažována na celé konstrukci, proměnná zatížení je třeba rozmístit tak, abychom zjistili maximální možné účinky od zatížení. Proto bylo vytvořeno několik zatěžovacích stavů. Rozmístění proměnného zatížení v jednotlivých zatěžovacích stavech lze vidět na Obr. 3.27.



Obr. 3.27 Schéma umístění proměnného zatížení na desku



Obr. 3.28 Zadání zatěžovacích stavů



Obr. 3.29 Zadání kombinace pro MSÚ

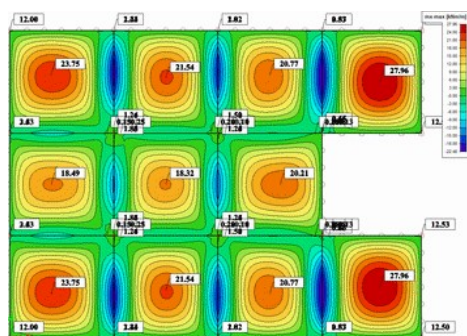
Celkem bylo vytvořeno 13 zatěžovacích stavů (1x vlastní tíha, 1x ostatní stálé a 11x proměnná zatížení), viz Obr. 3.28.

Po aplikaci zatížení je nezbytně nutné správně nadefinovat jednotlivé kombinace zatížení. V použitém programu lze zadat proměnná zatížení v jedné skupině LG2 jako „výběrovou“. Poté je možno využít předdefinované kombinace MSÚ pro normy EN, Obr. 3.29. Je tak vytvořena obálka vnitřních sil pro nejméně příznivé kombinace zatížení. Kombinaci je možné rozložit na

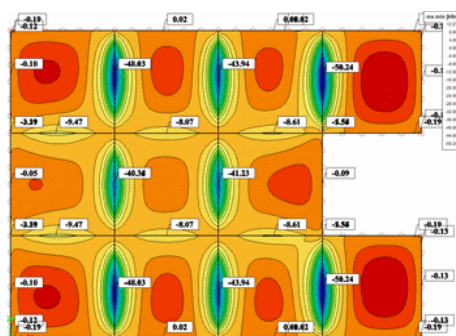
lineární a ověřit způsob vytvoření jednotlivých kombinací. V našem případě po rozložení kombinace EN na lineární vzniká 52 jednotlivých kombinací.

3.7.2 Výpočet vnitřních sil

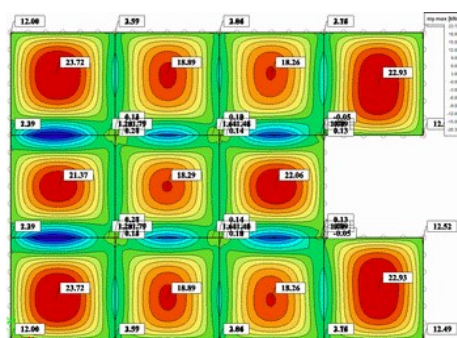
Nyní je třeba vyčíslit obálku vnitřních sil (deskových ohybových momentů). Na Obr. 3.30 až Obr. 3.35 jsou uvedeny průběhy základních veličin ohybových momentů m_x , m_y a krouticích momentů m_{xy} . Jedná se vždy o měrné veličiny vztažené na jednotku délky (jednotky kNm/m)



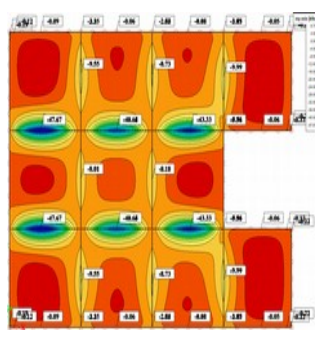
Obr. 3.30 Momenty m_x - maximum



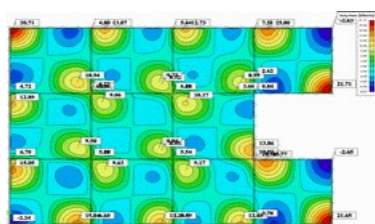
Obr. 3.31 Momenty m_x - minimum



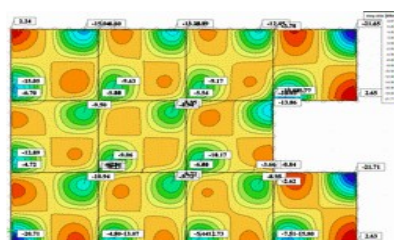
Obr. 3.32 Momenty m_y - maximum



Obr. 3.33 Momenty m_y - minimum



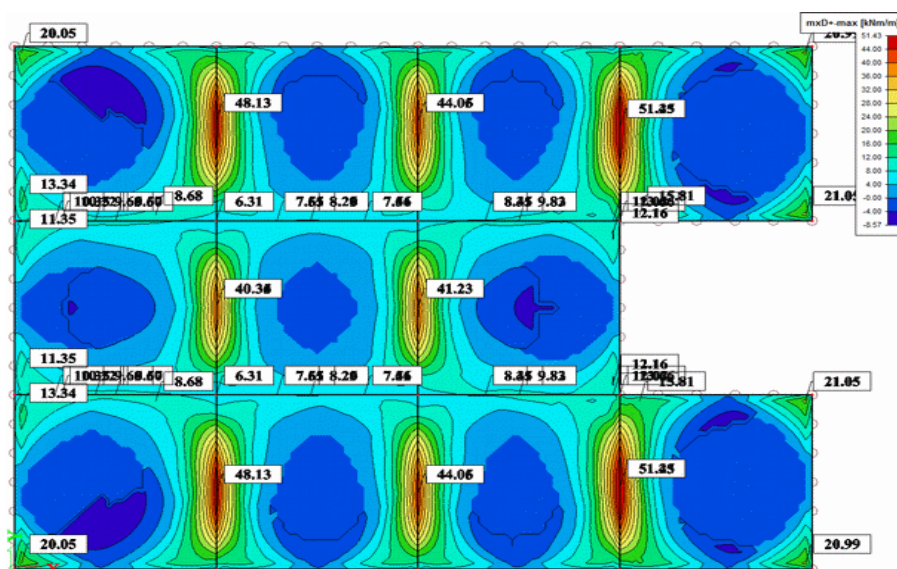
Obr. 3.34 Momenty m_{xy} - maximum



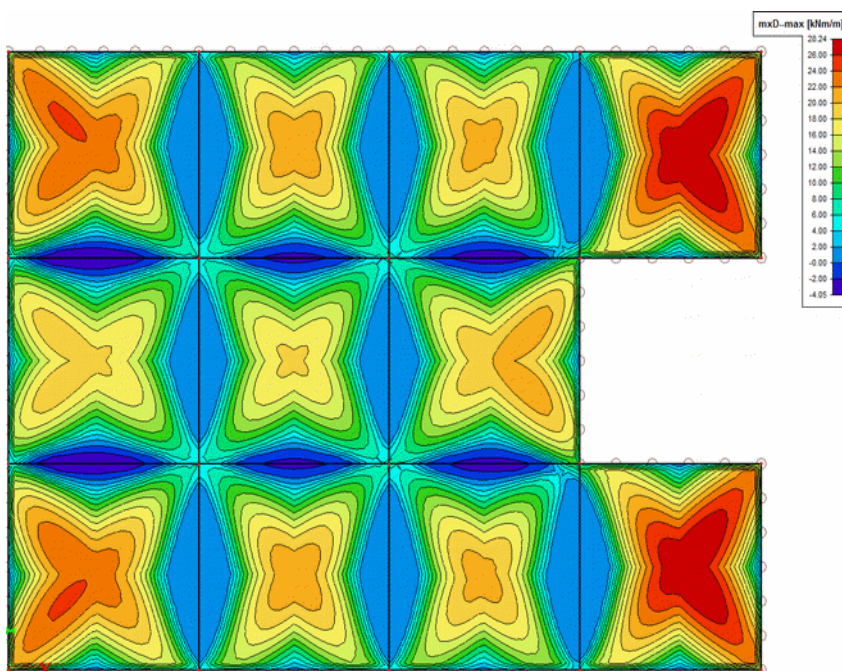
Obr. 3.35 Momenty m_{xy} - minimum

Dále lze pro s výhodou použít tzv. dimenzační veličiny. Ty v sobě mají zahrnut i vliv krouticího momentu m_{xy} . Vykreslení těchto momentů pro rozhodující kombinaci lze vidět v následujících 2D plošných zobrazeních, a to vždy pro dva směry (X a Y) a dva povrchy desky (horní a dolní), Obr. 3.36 až Obr. 3.39. Pro přehlednost jsou výsledky zobrazeny také v rozhodujících řezech na

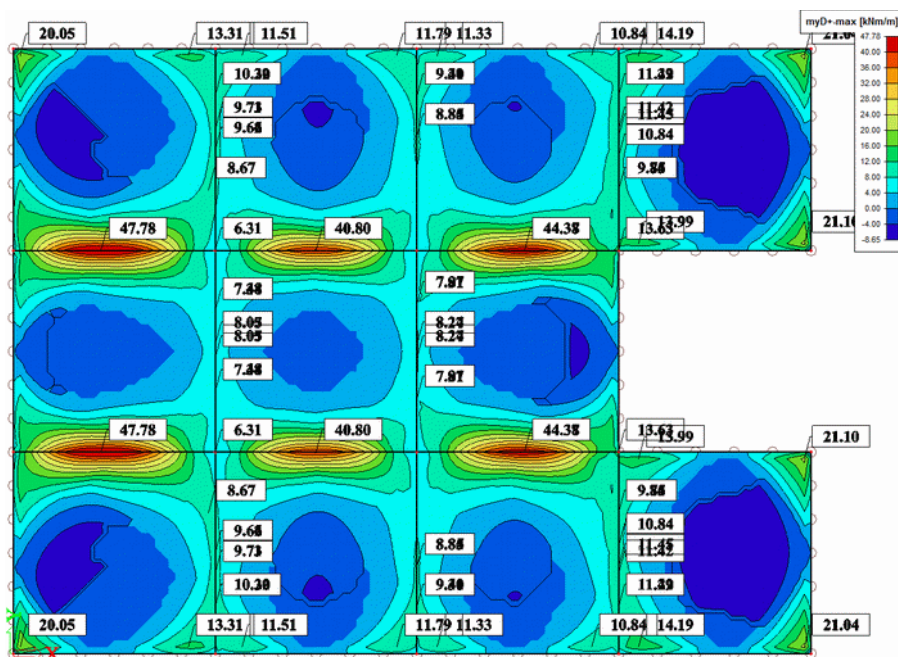
desce, Obr. 3.40 až Obr. 3.43. Ještě je třeba zmínit, že záporné hodnoty dimenzačních veličin v těchto vykresleních nemají fyzikální význam a proto nejsou uvažovány. Výsledky jsou uvedeny již v návrhových hodnotách.



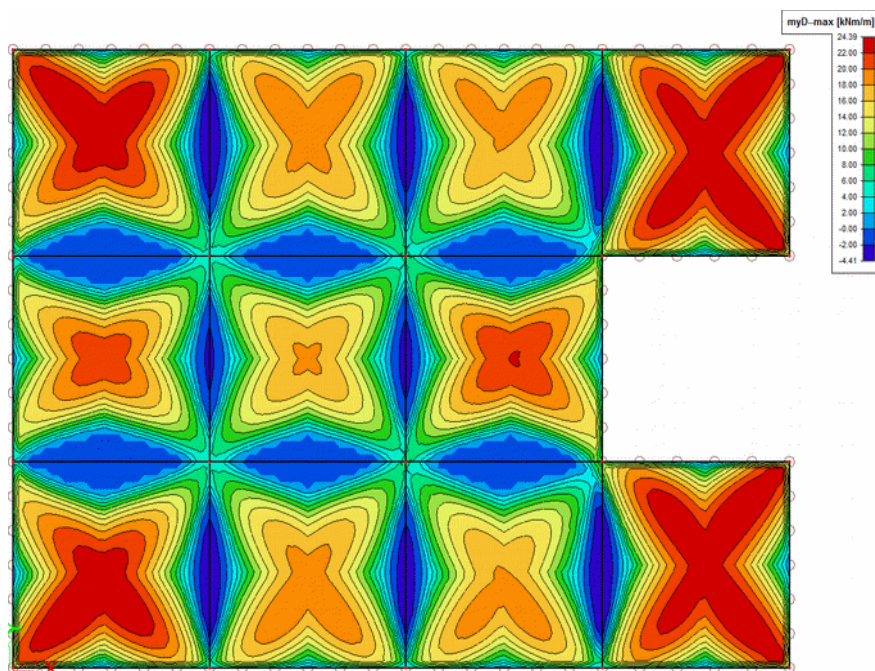
Obr. 3.36 Dimenzační moment $m_{x, dim+}$



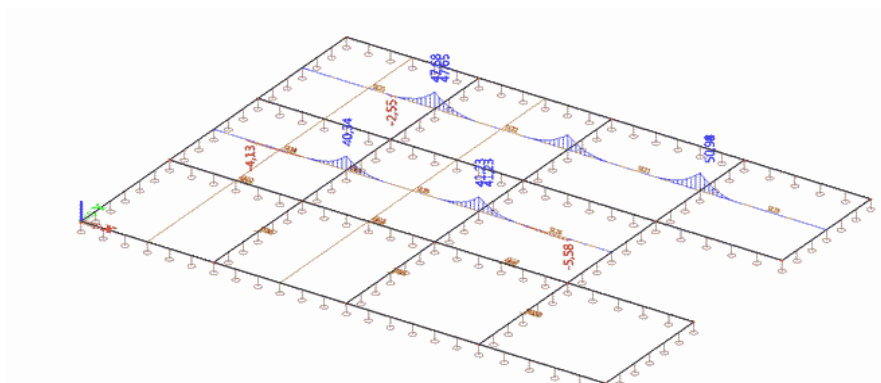
Obr. 3.37 Dimenzační moment $m_{x, dim-}$



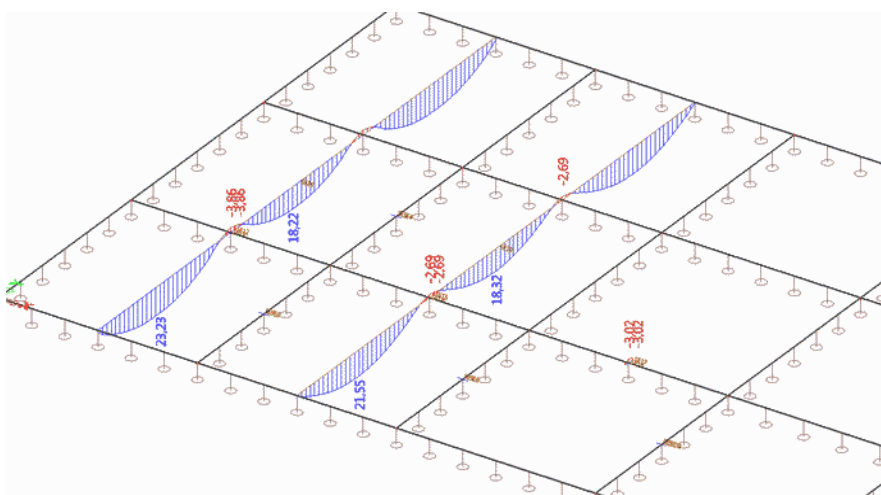
Obr. 3.38 Dimenzační moment $m_{y, dim+}$



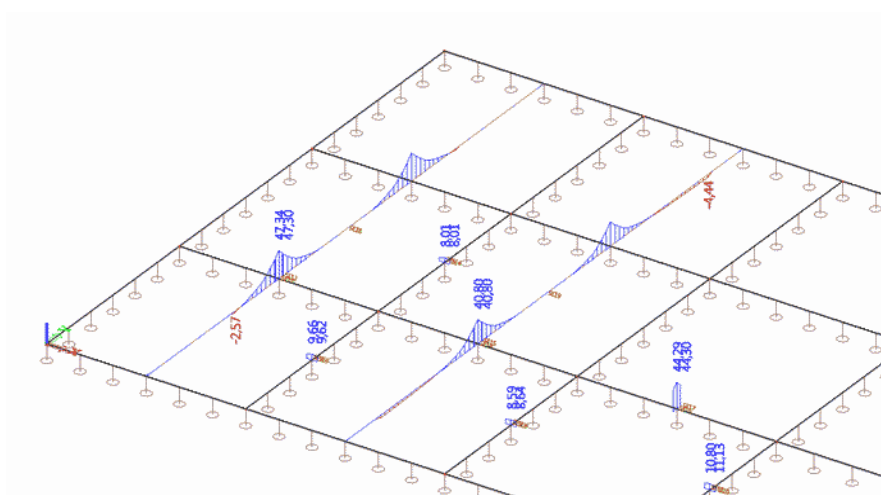
Obr. 3.39 Dimenzační moment $m_{y, dim-}$



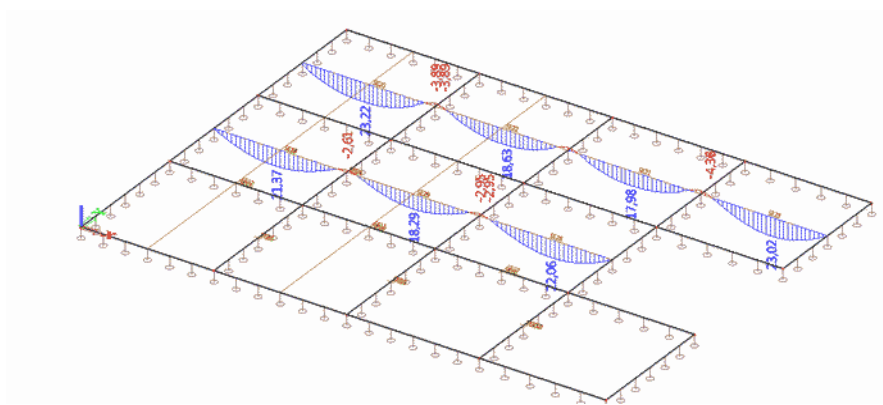
Obr. 3.40 Dimenzační moment $m_{x, dim+}$



Obr. 3.41 Dimenzační moment $m_{x, dim-}$



Obr. 3.42 Dimenzační moment $m_{y, dim+}$



Obr. 3.43 Dimenzační moment $m_{y, dim}$

Výztuž desky v našem případě není nutné navrhovat pro každé pole. S výhodou lze využít symetrie desky a téměř dokonalé symetrie zatížení a výztuž navrhnout jen v rozhodujících bodech, dle Obr. 3.23.

3.7.3 Návrh výztuže desky

Než bude proveden samotný návrh výztuže desky, je dobré si rozvrhnout umístění výztuže v jednotlivých vrstvách. U dolního povrchu jsou větší momenty ve směru x, u horního povrchu jsou momenty podobné. Z tohoto důvodu bude výztuž ve směru x umístěna blíže povrchu tak, abychom dosáhli většího momentu únosnosti v tomto směru. Krytí hlavní podélné výztuže je uvažováno hodnotou 20 mm, třída prostředí XC1.

Min. pevnostní třída dle EN 206 tabulky F1 - C20/25 (C16/20) je splněna. Uvažujeme třídu konstrukce S4 (životnost 50 let). – pro $C_{min, dur}$ sníženo o jednu třídu.

Nominální krycí vrstva:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 10 + 10 = 20 \text{ mm}$$

Minimální krycí vrstva:

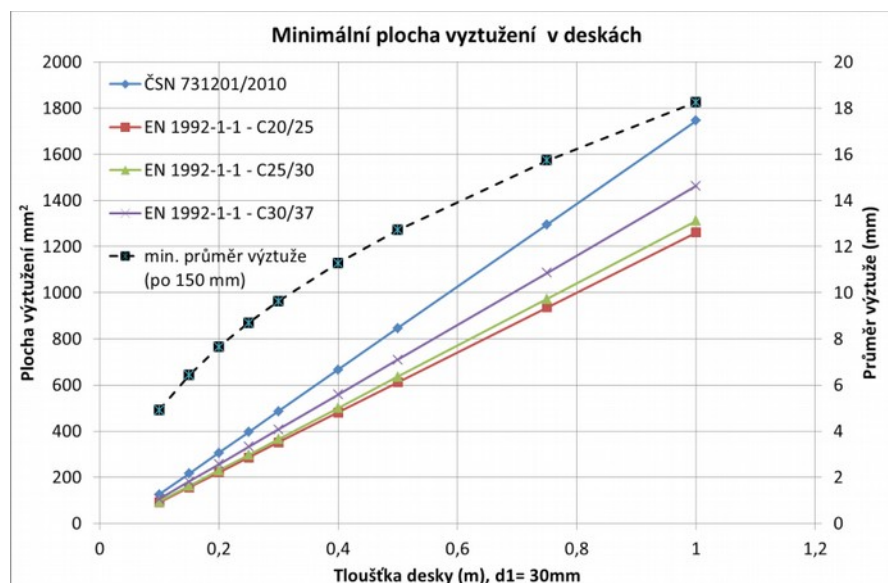
$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\} = \max\{10; 10 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}\} = 10 \text{ mm}.$$

Hospodárný stupeň vyztužení činí 0,003 až 0,008.

Je třeba ověřit min. množství výztuže i dle ČSN 73 1201/2010 čl. 8.5.2:

$$A_{s,min} = \max\left(0,0018 \frac{f_{yk}}{500} b_t d; 0,0014 b_t d\right) = \max\left(0,0018 \frac{500}{500} 1,0 \cdot 0,15; 0,0014 \cdot 1,0 \cdot 0,15\right) = 270 \text{ mm}^2$$

Takto stanovenou plochu poté porovnat s hodnotami dle EN1992-1-1, z nich poté uvažovat maximum. Srovnání obou výpočtů je uvedeno na Obr. 3.44.



Obr. 3.44 Minimální plocha vyztužení pro různé tloušťky desek

Kontrola konstrukčních vzdáleností výztuže:

- Dle EN 1992-1-1 $s_{\max, \text{slabs}} = 3h \leq 400$ (300) mm,
- pro rozdělovací výztuž: $s_{\max, \text{slabs}} = 3,5h \leq 450$ (400) mm.

V oblastech se **soustředěným zatížením** nebo v oblastech maximálních momentů platí:

- pro nosnou výztuž: $s_{\max, \text{slabs}} = 2h \leq 250$ (300) mm,
- pro rozdělovací výztuž: $s_{\max, \text{slabs}} = 3h \leq 400$ mm.

Hodnoty v závorkách platí dle české národní přílohy.

Volíme min. výztuž

$$\phi 8/150 = 335 \text{ mm}^2 > 270 \text{ mm}^2$$

V Tab. 3.19 až Tab. 3.22 je provedeno dimenzování výztuže v desce.

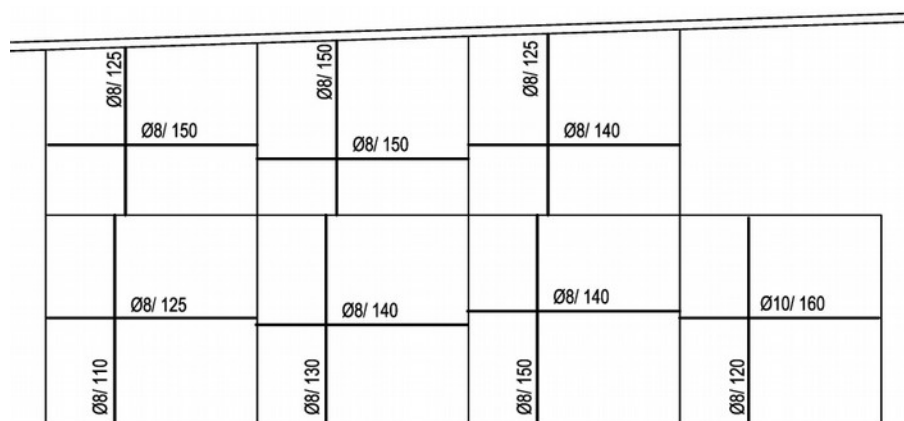
Tab. 3.19 Návrh a posouzení dolní výztuže ve směru x

Tab. 3.20 Návrh a posouzení dolní výztuže ve směru y

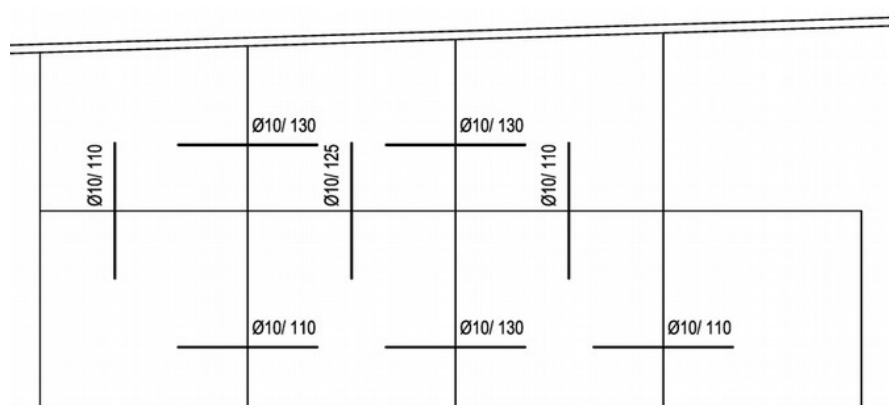
Tab. 3.21 Návrh a posouzení horní výztuže ve směru x

Tab. 3.22 Návrh a posouzení horní výztuže ve směru y

Pozn. Hodnoty M_{Ed} v tabulkách jsou vzaty z Obr. 3.36 až Obr. 3.39. Hodnoty se tak mohou od momentů v řezech na Obr. 3.40 až Obr. 3.43 mírně odlišovat, extrém totiž nemusí být vždy v daném řezu. Na Obr. 3.45 a Obr. 3.46 je uvedeno schéma hlavní nosné výztuže desky. Schéma je třeba doplnit rozdělovací výztuží a konstrukční výztuží (z důvodu omezení vlivu smršťování betonu, lemování okrajů desek apod.)

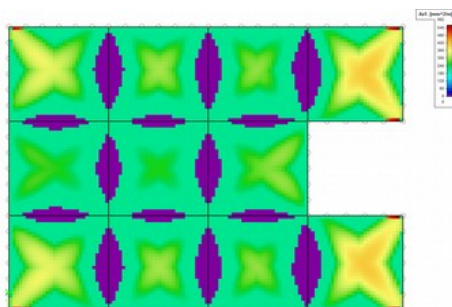


Obr. 3.45 Schéma hlavní nosné výztuže při spodním povrchu

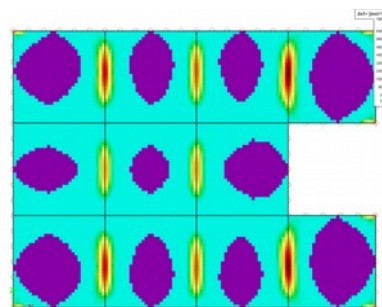


Obr. 3.46 Schéma hlavní nosné výztuže při horní povrchu

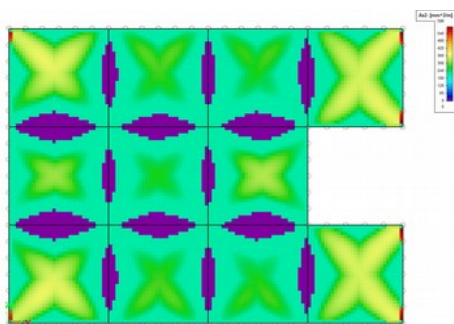
Návrh výztuže desky na MSÚ je možné provést i pomocí software SCIA [23]. Zadájí se směry a poloha výztuže (krytí), předpokládaný profil. Program poté vypočte nutné plochy výztuže u jednotlivých povrchů, viz Obr. 3.47 až Obr. 3.50. U desek se tak získají v podstatě afinní obrázky k průběhům dimenzačních momentů.



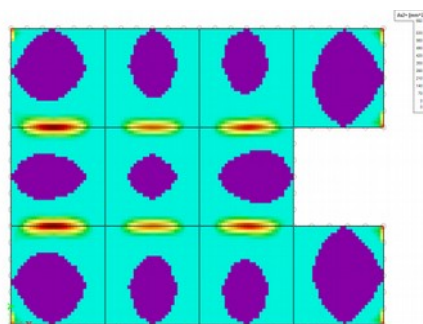
Obr. 3.47 Návrh nutné plochy výztuže (mm^2) dolní povrch, směr x



Obr. 3.48 Návrh nutné plochy výztuže (mm^2) horní povrch, směr x



Obr. 3.49 Návrh nutné plochy výztuže (mm^2) dolní povrch, směr y

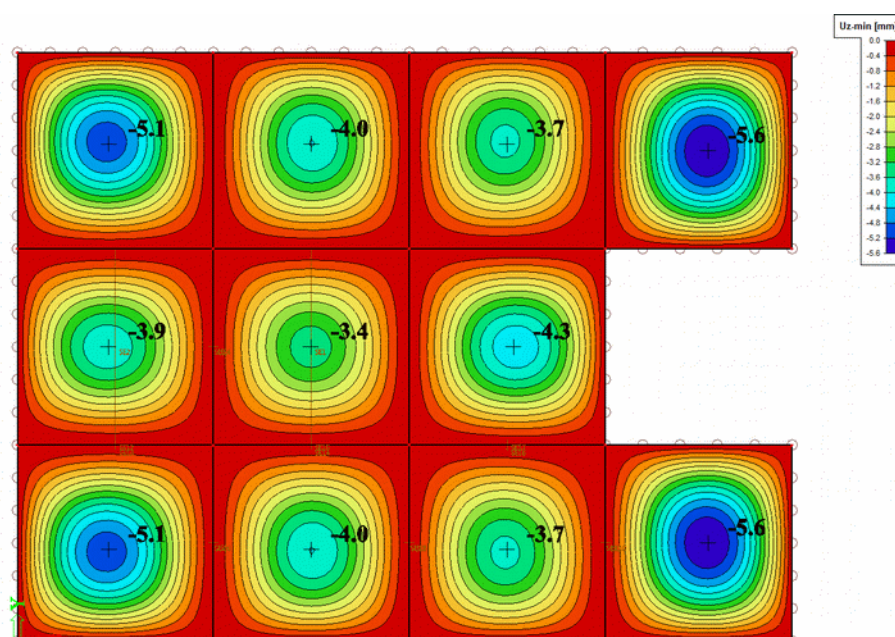


Obr. 3.50 Návrh nutné plochy výztuže (mm^2) horní povrch, směr y

3.8 Poznámky k průhybům desek

Nedílnou součástí posouzení desek musí být i posouzení omezení průhybu. U desek větších rozpětí je to často rozhodující mezní stav. Zvětšené průhyby mohou kromě nepříjemného vizuálního projevu mít za následek i poruchy příček a strojů na deskách uložených apod. Proto je třeba k posouzení průhybů přistupovat velmi uvážlivě. Nedimenzování desek na průhyb se totiž jen velmi těžko napravuje, podrobněji viz [24], [27].

Průhyby v železobetonových deskách jsou ovlivněny řadou faktorů. Kromě vlastního statického uspořádání desky a velikosti zatížení je v případě vzniku trhlin v betonu (to je u ohýbaných prvků téměř vždy) zmenšení vlastní ohybové tuhosti průřezu desky. Není možné se tedy dívat jen na průhyby s lineárního modelu, které nám dávají běžné výpočetní programy, Obr. 3.51. Tyto průhyby jsou obvykle velmi malé a pro nezkušeného projektanta zavádějící. Nelineární průhyby s vlivem trhlin mohou často být několika násobně větší (řádově cca 3x).



Obr. 3.51 Průhyb desky od charakteristické kombinace

Dále je třeba v betonu zohlednit reologické jevy (účinky dotvarování a smršťování betonu), které dále průhyb zvětšují (často i více jak 2x). Podrobný výpočet je tak poměrně komplikovaný a pro takovou desku je třeba použít příslušného softwarového vybavení, např. [23] aj. Podrobnější výpočet průhybů je uveden v [7], případně v [24].

Často je ale vhodnější navrhnout desku s využitím kontroly vymezení štíhlosti dle vztahu 7.16a EN1992-1-1, [7]) – omezení průhybů bez výpočtu. Je tak v běžných případech možné obejít přímý výpočet průhybu.

Dáno: $d = 0,150 \text{ m}$

součinitel K (dle tab. 7.4): 1,5 vnitřní pole, 1,3 krajní pole

Využití výztuže v MSÚ ... 90%

Z poměru kvazi-stálého a návrhového zatížení, napětí ve výztuži:

$$\sigma_s \approx 0,9 \frac{f_{k,\psi 2}}{f_d} 500 = 0,9 \frac{7,14}{12,59} 500 = 255 \text{ MPa}$$

$$\phi 8/125 = 0,000402 \text{ m}^2$$

V krajním poli:

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{402}{1000 \cdot 150} = 0,002681.$$

Vymezující štíhlost (vztah 7.16a)

$$\begin{aligned} \lambda_{lim} &= \frac{7}{l_{ef}} \cdot \frac{310}{\sigma_s} \cdot K \left[11 + 1,5 \sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_o}{\rho} + 3,2 \sqrt{f_{ck}} \left(\frac{\rho_o}{\rho} - 1 \right)^{3/2} \right] = \\ &= \frac{7}{7,5} \cdot \frac{310}{255} 1,3 \left[11 + 1,5 \sqrt{25} \frac{0,005}{0,002681} + 3,2 \sqrt{25} \left(\frac{0,005}{0,002681} - 1 \right)^{3/2} \right] \\ &= 55,8 > \frac{l}{d} = \frac{7,5}{0,15} = 50 \end{aligned}$$

Pro vnitřní pole:

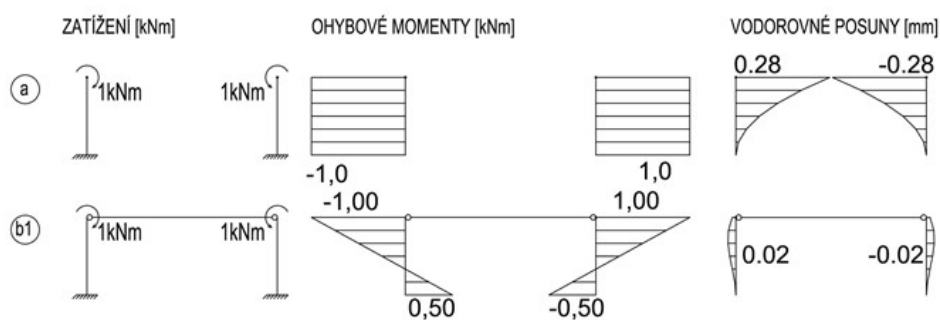
$$\phi 8/150 = 0,000335 \text{ m}^2 \quad \lambda_{lim} = 84,7 > \frac{l}{d} = \frac{7,5}{0,15} = 50$$

Mezní štíhlost desky vyhovuje → není nutno stanovovat průhyby výpočtem.

4 Příklady montovaných konstrukcí

V této kapitole jsou uvedeny příklady montovaných železobetonových konstrukcí. Jsou uvedeny, statická schémata, způsoby výpočtu, detaily provádění, vyztužování apod. Obrázky jsou součástí přednášky k danému předmětu BL04. Podrobnější komentář je proto uveden na této přednášce. Vynechané místo u obrázků je možno použít na doplnění poznámek.

STATICKÁ SCHEMATA – JEDNOTKOVÉ ZATÍŽENÍ MOMENTEM

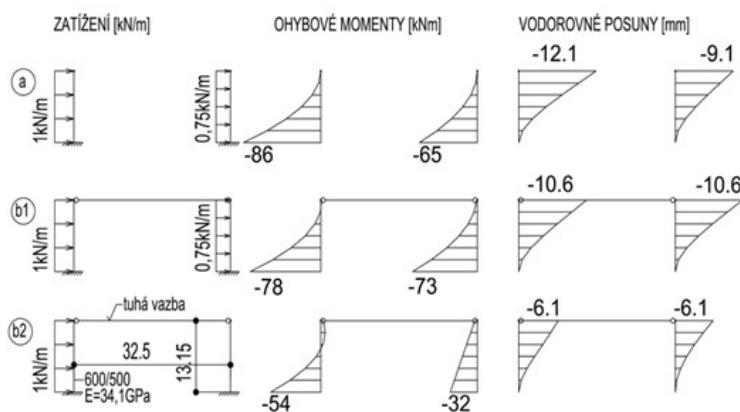


a - KONZOLA

b1 - RÁM S KLOUBY

Obr. 4.52 Statická schémata hal – vliv excentrického uložení zatížení na sloupy

STATICKÁ SCHEMATA – JEDNOTKOVÉ ZATÍŽENÍ VĚTREM



a - KONZOLA

b - RÁM S KLOUBY

Obr. 4.53 Statická schémata hal – vodorovné zatížení větrem



Obr. 4.54 Úprava sloupu v patě – vetknutí sloupu do kalichu



Obr. 4.55 Detail úpravy sloupu v patě

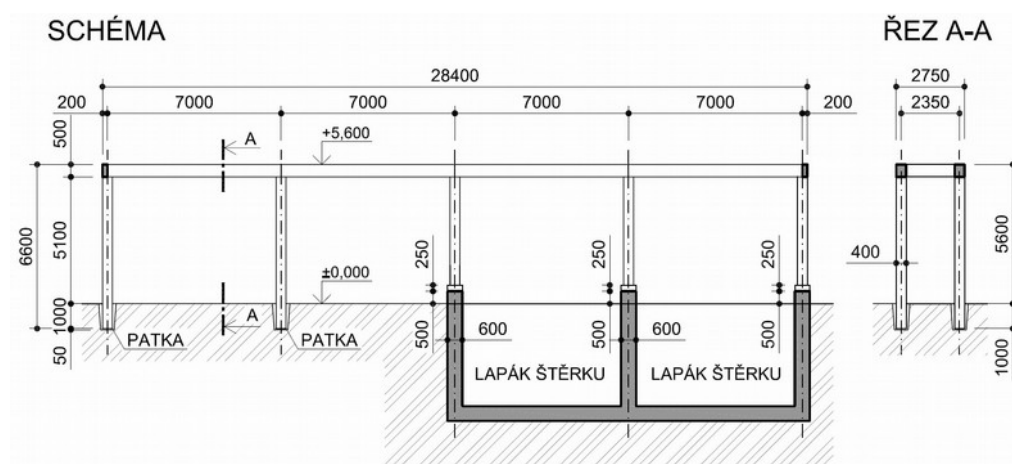
Obr. 4.56 Příklad prefabrikovaných ztužidel



ŽB. Jeřábová dráha v ČOV
Rám s klouby o čtyřech polích



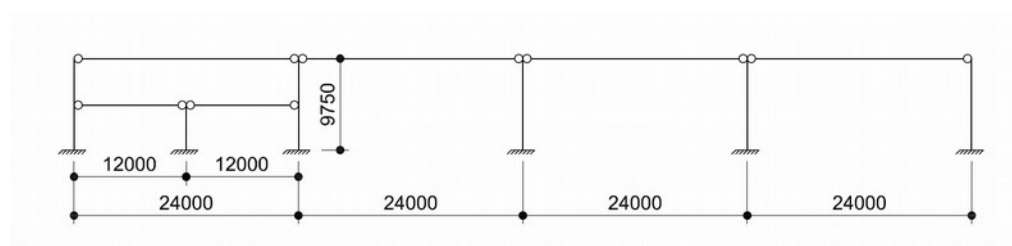
Obr. 4.57 Příklad rámové konstrukce pro jeřáb s drapákem



Obr. 4.58 Tvar rámové konstrukce pro jeřáb s drapákem

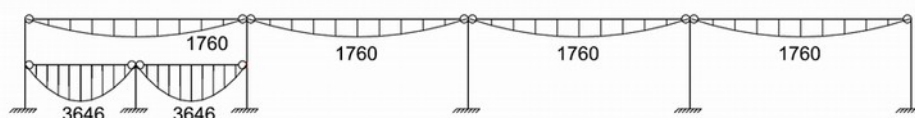


Obr. 4.59 Konstrukce montované haly

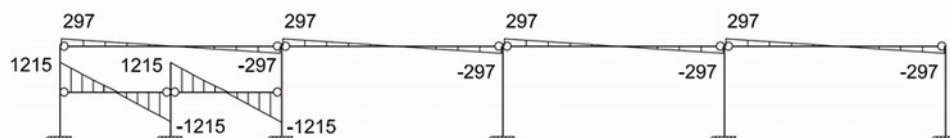


Obr. 4.60 Výpočtový model příčné vazby haly

VNITŘNÍ SÍLY – VAZNÍKY, PRŮVLAKY



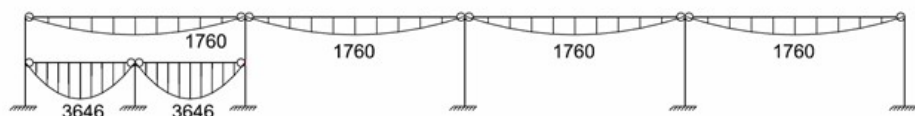
M [kNm]



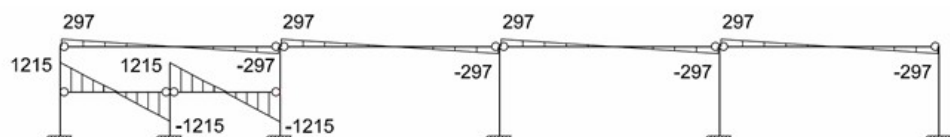
V [kN]

Obr. 4.61 Vnitřní síly – sloupy

VNITŘNÍ SÍLY – VAZNÍKY, PRŮVLAKY

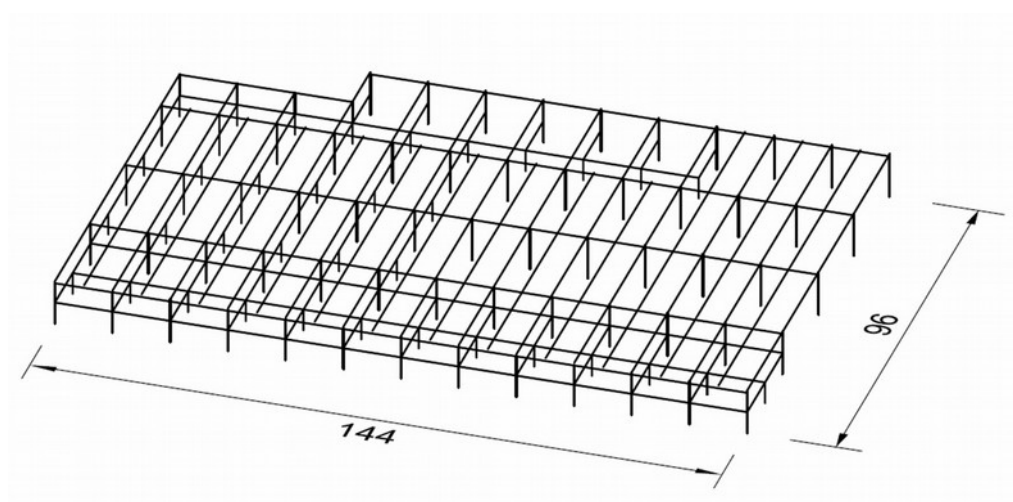


M [kNm]



V [kN]

Obr. 4.62 Vnitřní síly – vazníky a průvlaky



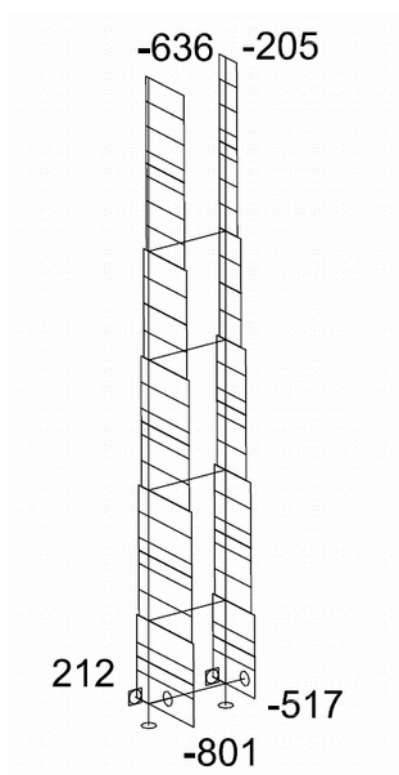
Obr. 4.63 Prostorový výpočetní model celé haly



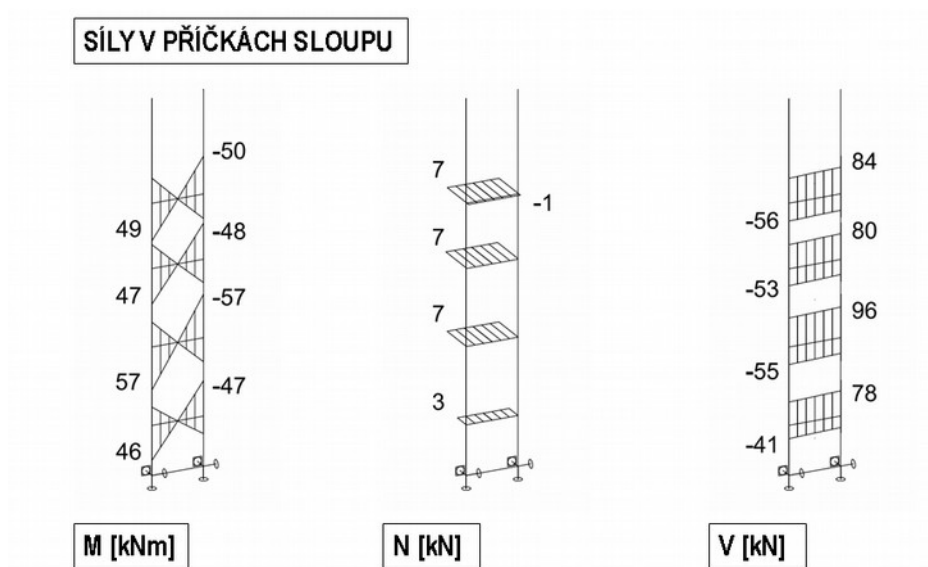
Obr. 4.64 Příklad haly s jeřábem, Vierendeelův sloup (Artur Vierendeel, 1852-1940, Belgie).



Obr. 4.65 Detaily sloupu, viditelná koroze výztuže odlupující se beton. Uložení jeřábové dráhy.



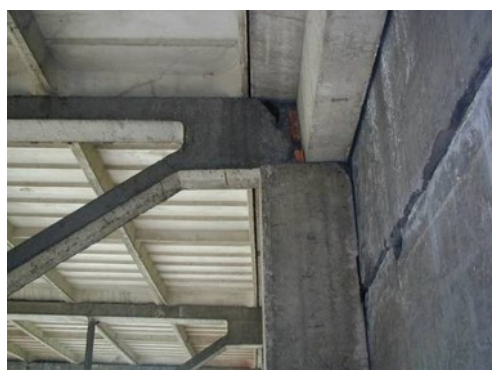
Obr. 4.66 Normálové síly ve sloupu



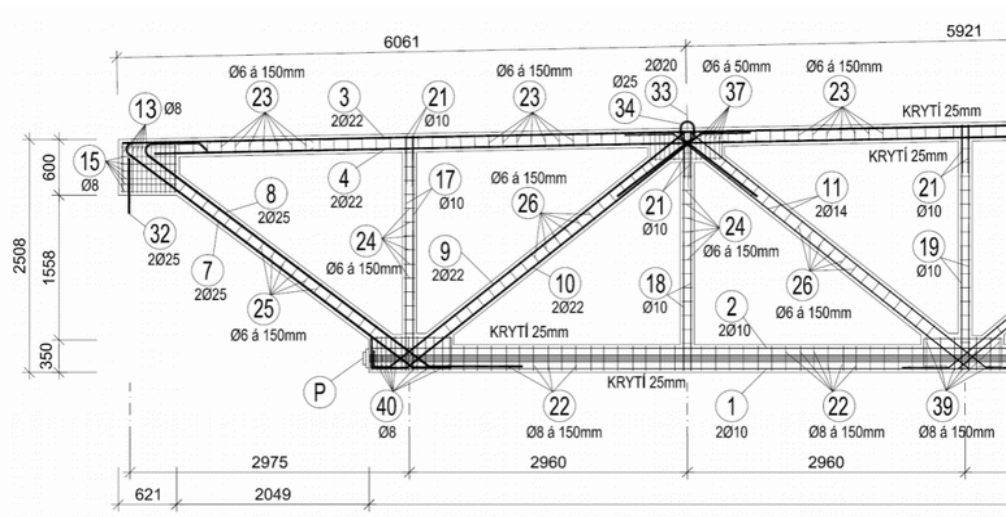
Obr. 4.67 Síly v příčkách sloupu



Obr. 4.68 Příklad příhradového vazníku, předpjatý sepnutý ze tří dílů



Obr. 4.69 Příhradový vazník, uložení vazníku na sloupu vazníku je poměrně malé.



Obr. 4.70 Příhradový vazník, příklad vyztužení



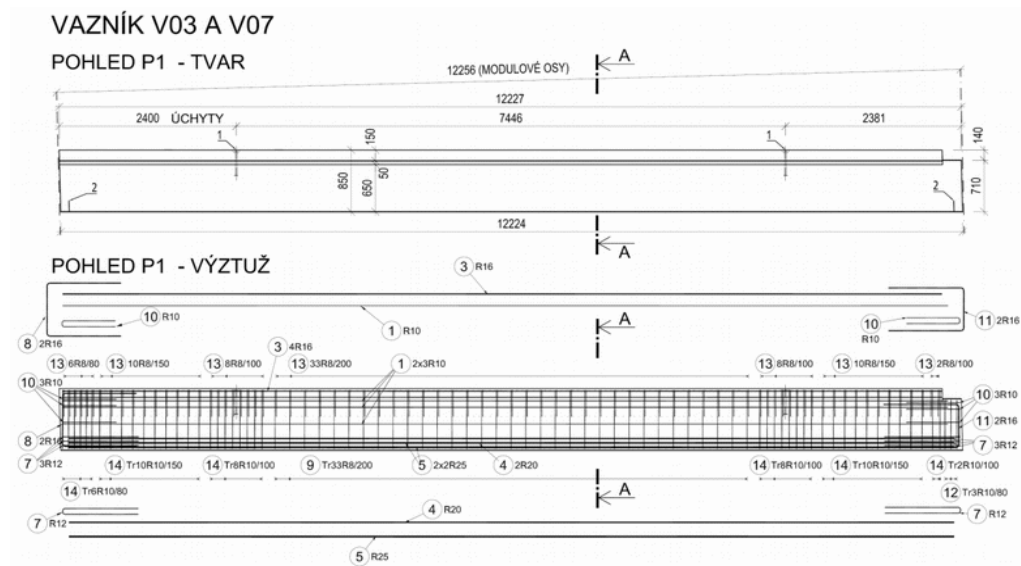
Obr. 4.71 Příhradový vazník -
železobetonový



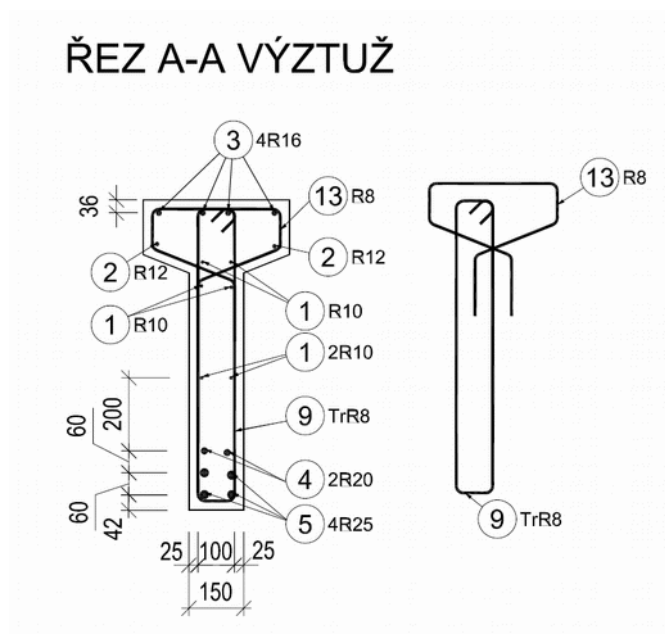
Obr. 4.72 Prolamovaný vazník -
železobetonový



Obr. 4.73 Plnostěný vazník - železobetonový s náběhy horního i spodního pásu



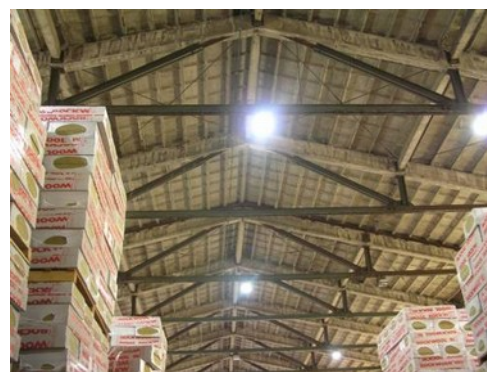
Obr. 4.74 Příklad vyztužení plnostěnného vazníku



Obr. 4.75 Příklad vyztužení vazníku – příčný řez



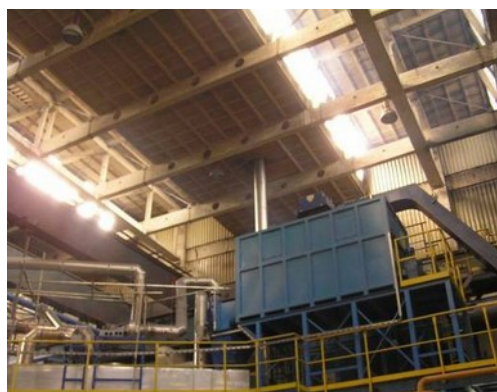
Obr. 4.76 Příklad výroby a vyztužení vazníku



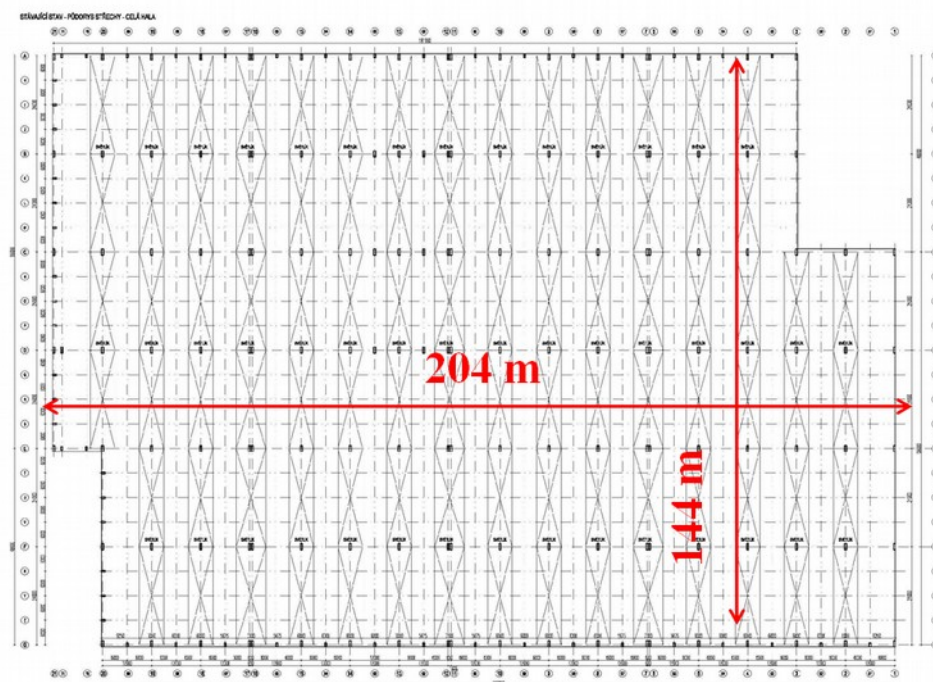
Obr. 4.77 Železobetonové vazníky s ocelovými prvky



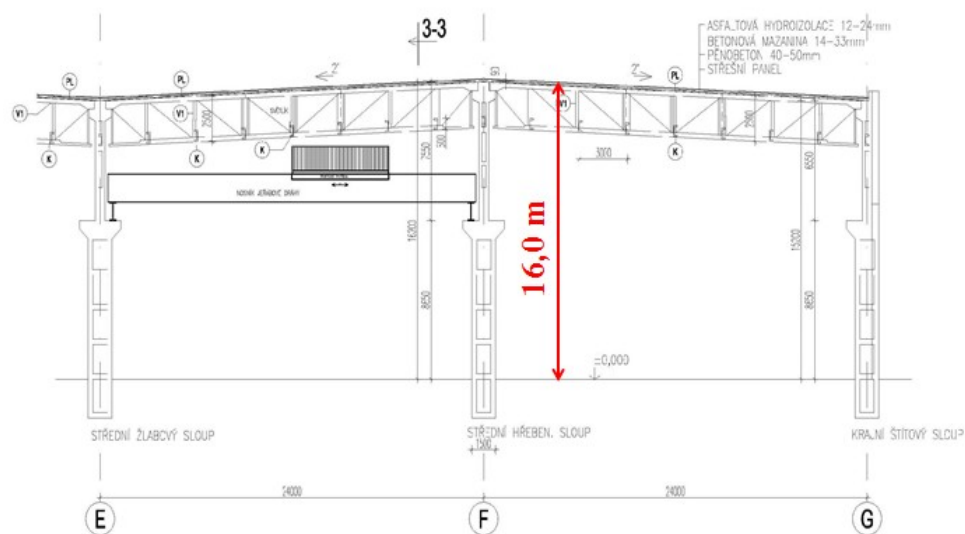
Obr. 4.78 Oblouková hala s táhlem, Číževského desky



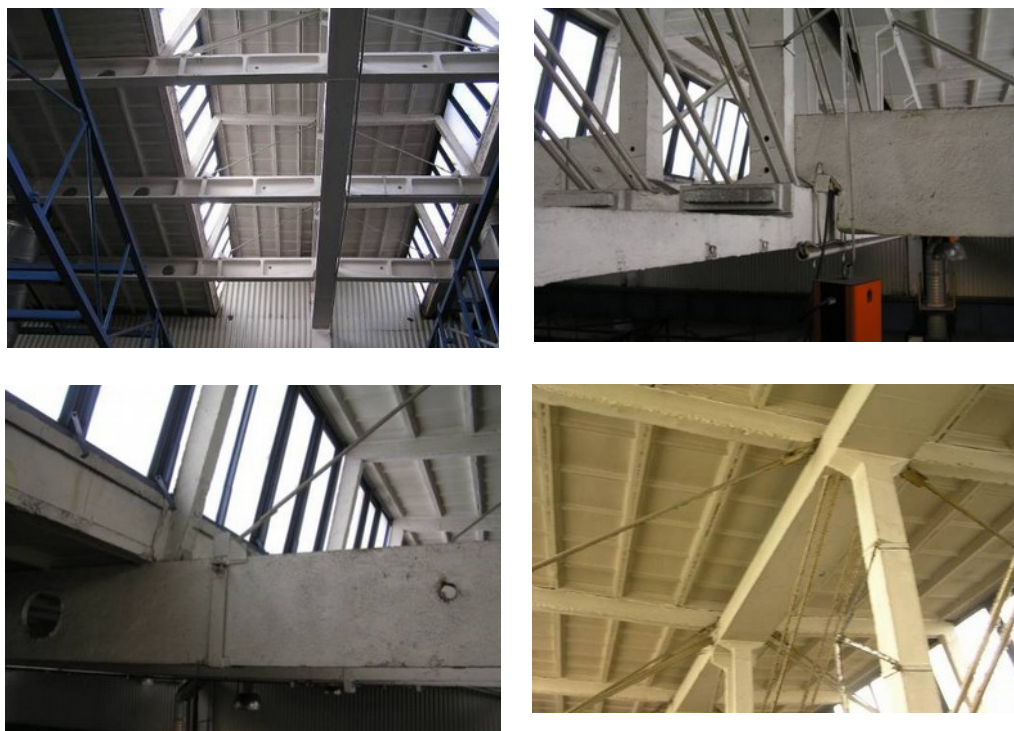
Obr. 4.79 Šestilodní hala, 204 x 144 m (1961- 1963). Železobetonová montovaná konstrukce, osová vzdálenost sloupů 12 x 24 m, výška 15 – 16 m



Obr. 4.80 Schéma konstrukce – půdorys



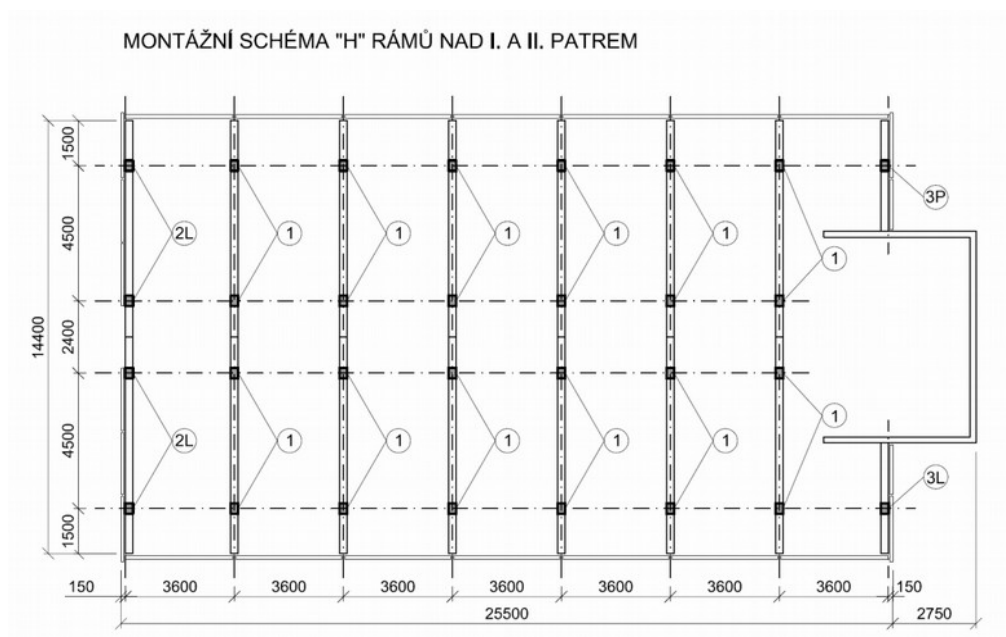
Obr. 4.81 Schéma konstrukce – příčný řez



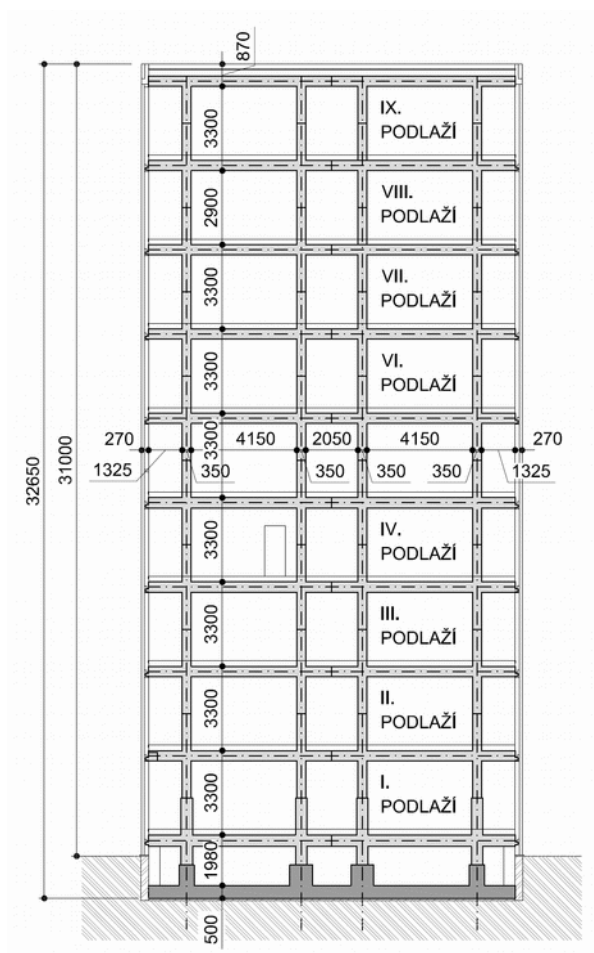
Obr. 4.82 Detaily provedení haly



Obr. 4.83 Příklad montované rámové konstrukce

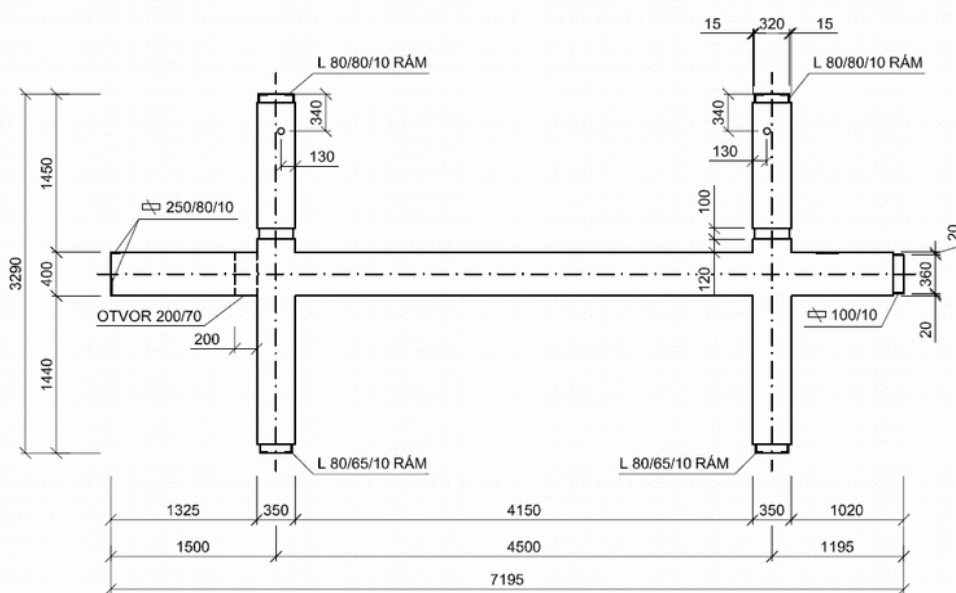


Obr. 4.84 Půdorys objektu

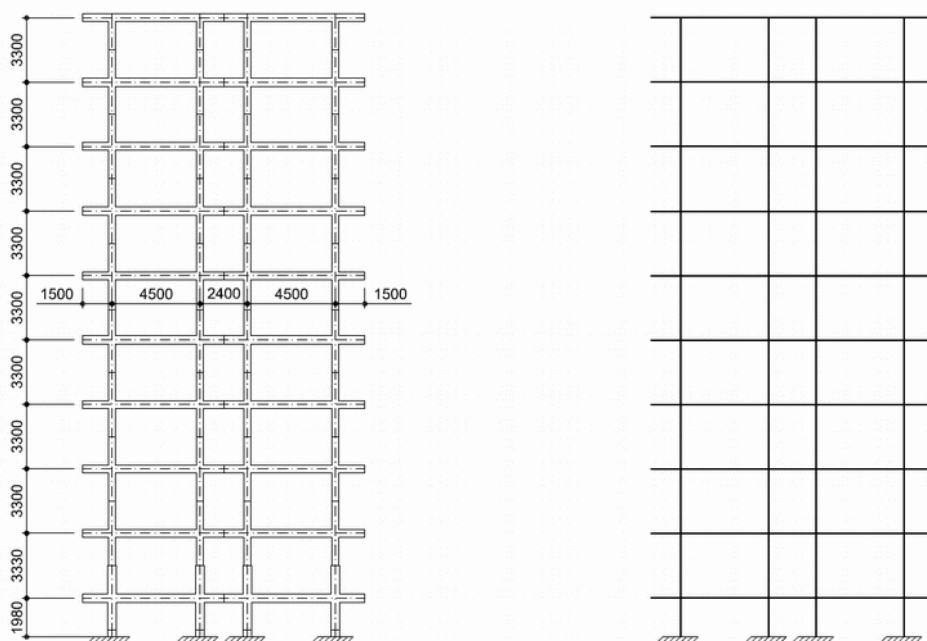


Obr. 4.85 Příčný řez objektem

STŘEDNÍ "H" RÁM NAD I. a II. PATREM č.1 - ks 24
BEDNĚNÍ



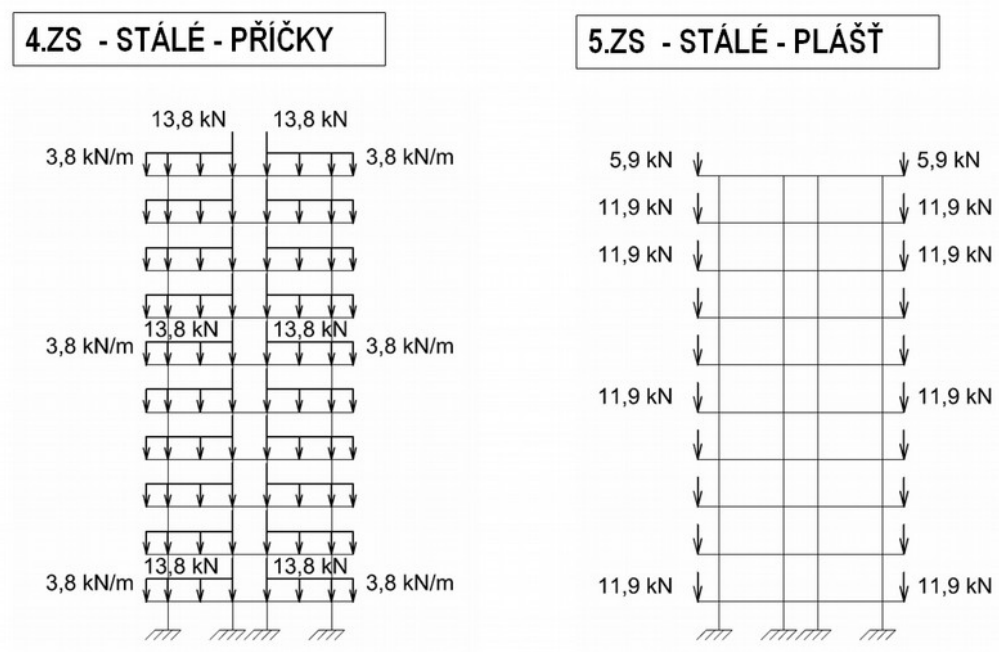
Obr. 4.86 Detail jednoho typického dílu skeletu



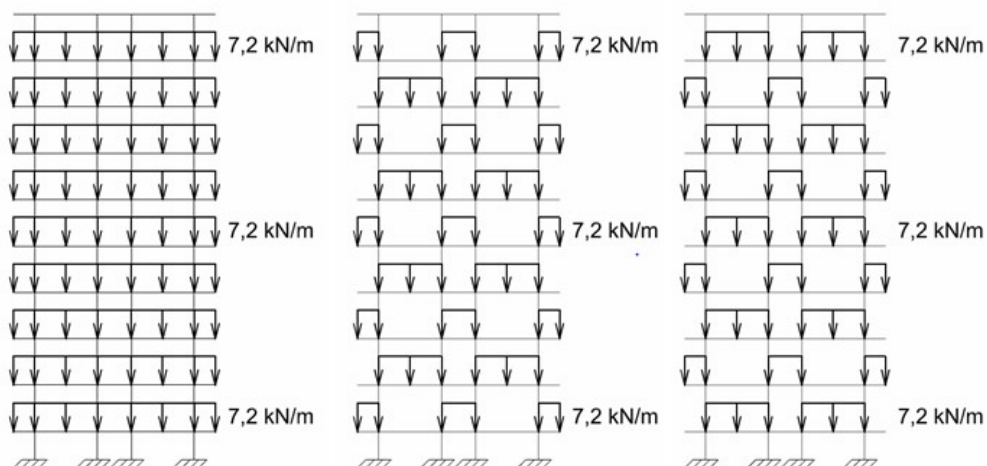
Obr. 4.87 Výpočtový model příčného směru

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení	Typ zatížení
ZS1	Vlastní tíha	Stálé	Skupina - stálé	Vlastní tíha
ZS2	Stálé - střecha	Stálé	Skupina - stálé	Standard
ZS3	Stálé - podlahy	Stálé	Skupina - stálé	Standard
ZS4	Příčky	Stálé	Skupina - stálé	Standard
ZS5	Obvodový plášť	Stálé	Skupina - stálé	Standard
ZS6	Užitné plné	Nahodilé	Užitné	Statické
ZS7	Užitné - šach 1	Nahodilé	Užitné	Statické
ZS8	Užitné šach 2	Nahodilé	Užitné	Statické
ZS9	Sníh	Nahodilé	Sníh	Statické
ZS10	Vítr - z leva	Nahodilé	Vítr	Statické
ZS11	Vítr - z prava	Nahodilé	Vítr	Statické

Obr. 4.88 Zatěžovací stavy



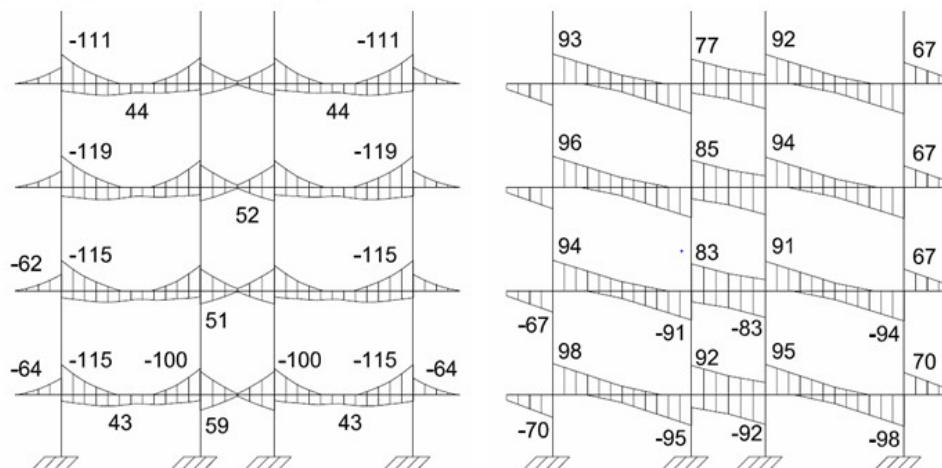
Obr. 4.89 Zatěžovací stavy

6.ZS - 8.ZS – UŽITNÉ


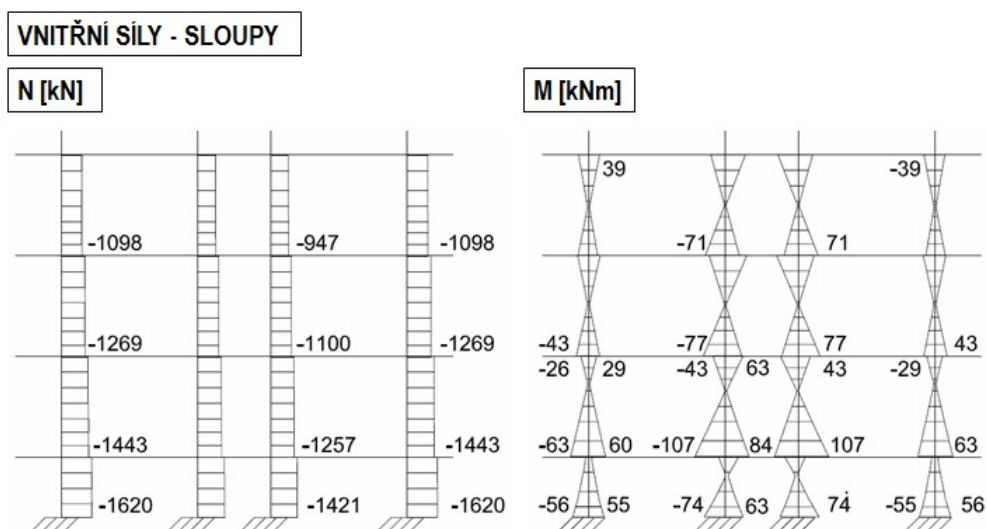
Obr. 4.90 Zatěžovací stavy

Jméno	Popis kombinací
1	ZS1*1.35 + ZS2*1.35 + ZS3*1.35 + ZS5*1.35 + ZS4*1.35 + ZS10*1.50
2	ZS1*1.35 + ZS2*1.35 + ZS3*1.35 + ZS5*1.35 + ZS4*1.35 + ZS11*1.50
3	ZS1*1.35 + ZS2*1.35 + ZS3*1.35 + ZS6*1.05 + ZS5*1.35 + ZS4*1.35 + ZS10*1.50
4	ZS1*1.35 + ZS2*1.35 + ZS3*1.35 + ZS6*1.05 + ZS5*1.35 + ZS4*1.35 + ZS11*1.50
5	ZS1*1.00 + ZS2*1.00 + ZS3*1.00 + ZS5*1.00 + ZS4*1.00 + ZS10*1.50
6	ZS1*1.35 + ZS2*1.35 + ZS3*1.35 + ZS9*0.75 + ZS6*1.50 + ZS5*1.35 + ZS4*1.35 + ZS11*0.90
7	ZS1*1.35 + ZS2*1.35 + ZS3*1.35 + ZS9*0.75 + ZS8*1.05 + ZS5*1.35 + ZS4*1.35 + ZS11*1.50
8	ZS1*1.35 + ZS2*1.35 + ZS3*1.35 + ZS9*0.75 + ZS8*1.05 + ZS5*1.35 + ZS4*1.35 + ZS10*1.50
9	ZS1*1.35 + ZS2*1.35 + ZS3*1.35 + ZS9*0.75 + ZS6*1.05 + ZS5*1.35 + ZS4*1.35 + ZS10*1.50
10	ZS1*1.35 + ZS2*1.35 + ZS3*1.35 + ZS9*0.75 + ZS6*1.05 + ZS5*1.35 + ZS4*1.35 + ZS11*1.50
11	ZS1*1.35 + ZS2*1.35 + ZS3*1.35 + ZS9*0.75 + ZS7*1.05 + ZS5*1.35 + ZS4*1.35 + ZS10*1.50
12	ZS1*1.35 + ZS2*1.35 + ZS3*1.35 + ZS9*0.75 + ZS7*1.05 + ZS5*1.35 + ZS4*1.35 + ZS11*1.50
13	ZS1*1.35 + ZS2*1.35 + ZS3*1.35 + ZS7*1.05 + ZS5*1.35 + ZS4*1.35 + ZS10*1.50
14	ZS1*1.35 + ZS2*1.35 + ZS3*1.35 + ZS9*0.75 + ZS7*1.50 + ZS5*1.35 + ZS4*1.35
15	ZS1*1.35 + ZS2*1.35 + ZS3*1.35 + ZS9*0.75 + ZS8*1.50 + ZS5*1.35 + ZS4*1.35 + ZS10*0.90
16	ZS1*1.35 + ZS2*1.35 + ZS3*1.35 + ZS9*0.75 + ZS8*1.50 + ZS5*1.35 + ZS4*1.35 + ZS11*0.90
17	ZS1*1.00 + ZS2*1.00 + ZS3*1.00 + ZS9*0.75 + ZS8*1.50 + ZS5*1.00 + ZS4*1.00 + ZS10*0.90
18	ZS1*1.35 + ZS2*1.35 + ZS3*1.35 + ZS7*1.50 + ZS5*1.35 + ZS4*1.35 + ZS11*0.90

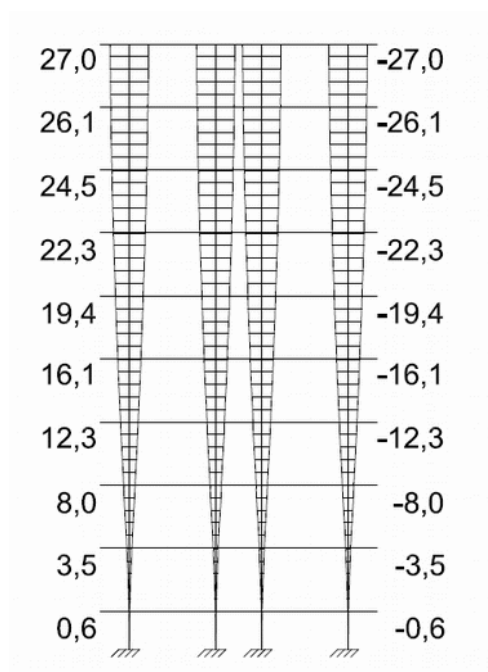
Obr. 4.91 Kombinace zatížení

VNITŘNÍ SÍLY - PRŮVLAKY


Obr. 4.92 Obálka vnitřních sil M (kNm) a V (kN) - průvlaky



Obr. 4.93 Obálka vnitřních sil – sloupy



Obr. 4.94 Vodorovné deformace sloupů (mm)

5 Závěr

1.1 Shrnutí

Tento díl opor uzavírá naše seznamování s navrhováním rámových a deskových železobetonových konstrukcí. Rozšířili jsme poznatky z vyšetřování zatížení, řešení vnitřních sil, dimenzování a způsobu vyztužování těchto konstrukcí. V rámci této publikace jsou uvedeny dva základní příklady. Vždy je v nich uvedeno základní řešení „ručním“ způsobem a k němu variantní výpočet pomocí softwarového vybavení. Je vždy na příslušném studentovi, aby si tyto metody nastudoval a vzájemně porovnal. Dále jsou uvedeny příklady montovaných konstrukcí z praxe. Na konkrétních příkladech je uvedena reálná konstrukce, způsob jejího výpočtu, detaily provedení, vyztužení apod. Další poznatky je možné získat z níže uvedené literatury.

1.2 Studijní prameny

- [1] ČSN 73 1201 Navrhování betonových konstrukcí, Vydavatelství ÚNM Praha, 1986.
- [2] Procházka, J., Tichý, M. a kol.: Navrhování betonových konstrukcí. Komentář k ČSN 73 1201. Vydavatelství ÚNM, Praha 1989.
- [3] ČSN 73 1204 Navrhování betonových deskových konstrukcí působících ve dvou směrech.
- [4] ČSN 73 5570 Navrhování konstrukcí zásobníků.
- [5] ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí, Český normalizační institut, Březen 2004.
- [6] ČSN EN 1991-1-1 (73 0035) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí, Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb, Český normalizační institut, Březen 2004.
- [7] ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla pro pozemní stavby, Český normalizační institut, Listopad 2006.
- [8] Girkmann K.: Flächentragwerke, Wien 1952.
- [9] Kolář V., Beneš J., Sobotka Z.: Nosné stěny a desky. SNTL, Praha 1961.
- [10] Ducháček J., Novák O., Servít R., Tesař V.: Nauka o pružnosti a pevnosti. Technický průvodce, sv.3, SNTL, Praha 1963.
- [11] Bareš, R.: Tabulky pro výpočet desek a stěn. SNTL, Praha 1964 .
- [12] Hořejší J., Šafka J.: Statické tabulky. Technický průvodce, sv.51, SNTL, ALFA, Praha 1987.
- [13] Kolář V., Němec J.: Modelling of Soil Structure Interaction, Academia, Praha 1989.
- [14] Leonhardt F., Mönnig E.: Grundlagen zum Bewehren im Stahlbetonbau, Díl II. Vorlesungen über Massivbau, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 1977.
- [15] Procházka J.: Betonové konstrukce. Předpjatý beton. Konstrukce pozemních a inženýrských staveb. Skriptum ČVUT, Praha 1990.
- [16] Hruban K.: Betonové konstrukce. Nakladatelství ČSAV, Praha 1959.
- [17] Kolektiv, Plošné betonové konstrukce, VUT FAST Brno, Brno 1998.

- [18] Bažant Z., Šmírák S., Betonové konstrukce III, Konstrukce plošné, nádrže a zásobníky, CERM s r.o., Brno 2001.
- [19] Kolektiv: Sborník ke školení. Bílé vany, vodonepropustné betonové konstrukce. ČBS Praha, duben 2007.
- [20] Šmírák S.: Pružnost a plasticita. FS VUT Brno 1995.
- [21] Teplý B., Šmírák, S.: Pružnost a plasticita II. VUT Brno 1993.
- [22] Marcus H.: Die vereinfachte Berechnung biegsamer Platten. Verlag von Julius Springer, Berlin, 1925.
- [23] SCIA ESA PT, *Manual for Construction Stages, Prestressing Tendons and TDA in the Software System for Analysis, Design and Drawings of Steel, Concrete, Timber and Plastic Structures* SCIA ESA PT (integrated into the SCIA ESA PT Reference Guide), SCIA Group nv, www.scia-online.com.
- [24] Zich M., Bažant Z., Plošné konstrukce nádrže a zásobníky, ISBN 978-80-7204-693-5, nakladatelství CERM, Brno 2010.
- [25] ČSN 73 1201 Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb, Vydavatelství ÚNMZ Praha, 9/2010.
- [26] Zich M. a kolektiv (Nečas R., Koláček J., Strnad J.), Příklady posouzení betonových prvků dle Eurokódů, ISBN 978-80-86897-38-7, nakl. Verlag Dashöfer, 2010.
- [27] Zich M., Koláček J., Vodohospodářské betonové konstrukce Modul CW4, Plošné konstrukce, desky, stěny. Studijní (internetová) opora VUT FAST, 2013.
- [28] Nilson A, Darwin D., Design of Concrete Structures, 2010.
- [29] ACI 318M-08 čl. 9.5.3.3 z roku 2008.

Studijní opory pro studijní předměty s prezenční formou studia

Betonové vodohospodářské betonové konstrukce

Brno, červen 2014

Tisk:

Ing. Vladislav Pokorný - LITERA Brno, Tábor 43a, 612 00 Brno

Počet stran: 78, Náklad: 60 ks

Vydavatel:

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební

Veveří 95, 602 00 Brno

ISBN 978-80-214-5031-8



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Středoevropské centrum pro vytváření a realizaci inovovaných

technicko-ekonomických studijních programů

Registrační číslo CZ.1.07/2.2.00/28.0301