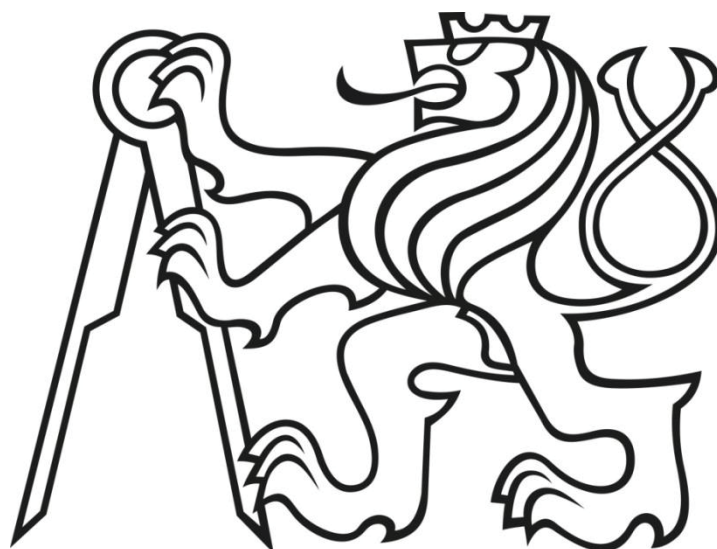


**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**Fakulta stavební**

**Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb**



**Suterénní stěna – srovnávací analýza**

**Bakalářská práce**

Vedoucí bakalářské práce:  
Ing. Iva Broukalová, Ph.D.

Autor:  
Michal Kůřil



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Kůřil	Jméno: Michal	Osobní číslo: 439082
Zadávací katedra: K133 - Katedra betonových konstrukcí		
Studijní program: SI - Stavební inženýrství		
Studijní obor: C - Konstrukce pozemních staveb		

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Suterénní stěna - srovnávací analýza

Název bakalářské práce anglicky: Basement wall - comparative analysis

Pokyny pro vypracování:  
Pro zadanou suterénní stěnu navrhnete variantní řešení. Pro jednotlivá řešení vypracujte statický návrh. Vyhodnořte výhody a nevýhody variant a varianty porovnejte.

Seznam doporučené literatury:

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Iva Broukalová, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: ..... Termín odevzdání bakalářské práce: 27. 5. 2018  
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

.....  
Podpis vedoucího práce

.....  
Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

20. 2. 2018  
.....  
Datum převzetí zadání

.....  
Podpis studenta(ky)

## Poděkování:

Chtěl bych poděkovat Ing. Broukalové za odborné vedení, trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování bakalářské práce věnovala.

Prohlašuji tímto, že jsem zadanou bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Ivy Broukalové, Ph.D. a uvedl v seznamu literatury veškerou použitou literaturu a další zdroje

Michal Kůřil

## **Abstrakt**

Obsahem této práce je vypracování porovnání různých materiálových variant pro danou suterénní stěnu. Postupně jsou z hlediska únosnosti posouzeny různé materiálové varianty, jako jsou železobeton, tvárnice používané pro ztracené bednění, vylehčené keramické bloky na obyčejnou maltu a na maltu pro tenké spáry, cihly plné pálené a vodonepropustná železobetonová konstrukce. Následně je také vypracován hrubý odhad ceny za běžný metr realizace stěny.

Cílem této práce je vybrat nejvhodnější variantu jak z hlediska konstrukčního, tak i ekonomického.

## **Klíčová slova**

Suterénní stěna, železobeton, zdivo, ztracené bednění, bílá vana

## **Abstract**

The content of this work is to elaborate a comparison of different material variants for the basement wall. Several variants are gradually assessed in terms of load bearing capacity. The variants are reinforced concrete, shuttering blocks, ceramic blocks for ordinary mortar and thin layer mortar, ceramic bricks and waterproof reinforced concrete structure. Then, an estimation of the price of a meter of the wall is also elaborated.

The aim of this thesis is to choose the most suitable variant for the basement wall.

## **Keywords:**

Basement wall, reinforced concrete, brickwork, lost formwork, waterproof reinforced concrete structure

# Obsah

1.	Úvod.....	1
2.	Suterénní stěny.....	2
2.1	Železobeton.....	2
2.1.1	Monolitický železobeton.....	2
2.1.2	Prefa monolitický železobeton.....	4
2.2	Zdivo.....	5
2.2.1	Cihla plná.....	5
2.2.2	Keramické vylehčené tvárnice.....	6
2.2.3	Malta.....	7
3.	Informace o objektu.....	8
3.1	Urbanistické, architektonické a dispoziční řešení stavby.....	8
3.2	Technické řešení stavby.....	8
4.	Zatížení.....	9
4.1	Charakteristické svislé zatížení.....	9
4.1.1	Stálé plošné zatížení.....	9
4.1.2	Proměnné plošné zatížení.....	11
4.2	Výpočet zatížení působícího na suterénní stěnu.....	12
4.3	Vodorovné zatížení od zemního tlaku.....	13
5.	Železobetonová suterénní stěna.....	14
5.1	Návrh výztuže suterénní stěny.....	15
5.2	Posouzení konstrukčních zásad.....	16
5.3	Posouzení výztuže stěny.....	17
5.3.1	Výpočet bodů interakčního diagramu.....	18
6.	Suterénní stěna z tvarovek ztraceného bednění.....	21
6.1	Návrh výztuže suterénní stěny.....	22
6.2	Posouzení konstrukčních zásad.....	23
6.2.1	Svislá výztuž.....	23
6.2.2	Vodorovná výztuž.....	23
6.3	Posouzení výztuže stěny.....	24
6.3.1	Výpočet bodů interakčního diagramu.....	25
7.	Keramické tvárnice na obyčejnou maltu.....	28
7.1	Posouzení stěny v tlaku.....	29
7.2	Posouzení stěny ve smyku.....	30
8.	Keramické tvárnice na maltu pro tenké spáry.....	34
8.1	Posouzení stěny v tlaku.....	35

8.2	Posouzení stěny ve smyku .....	36
9.	Cihly plné na obyčejnou maltu .....	40
9.1	Posouzení stěny v tlaku .....	41
9.2	Posouzení stěny ve smyku .....	43
10.	Bílá vana .....	47
10.1	Návrh výztuže bílé vany .....	48
10.2	Posouzení konstrukčních zásad .....	49
10.3	Posouzení výztuže stěny pro MSÚ .....	50
10.3.1	Výpočet bodů interakčního diagramu .....	51
10.4	Posouzení výztuže stěny pro MSP .....	53
11.	Finální hodnocení .....	56
11.1	Ekonomické zhodnocení .....	56
11.1.1	Monolitický železobeton .....	56
11.1.2	Tvárnice ztraceného bednění .....	57
11.1.3	Zdivo .....	58
11.1.4	Bílá vana .....	58
11.2	Zhodnocení jednotlivých variant .....	60
11.2.1	Zděné varianty .....	60
11.2.2	Železobetonové varianty .....	60
12.	Závěr .....	61
13.	Zdroje .....	62
14.	Přílohy .....	63

# 1. Úvod

Tématem této bakalářské práce je srovnávací analýza suterénní stěny v konkrétním objektu. Nejdříve jsou uvedeny různé materiálové varianty, které jsou používány pro realizaci suterénních stěn, a u vybraných variant je posouzena jejich únosnost podle příslušných norem.

Na závěr jsou vybrané varianty zhodnoceny a je vybráno nejvhodnější řešení pro řešený objekt.

Výsledkem této bakalářské práce je výběr nejvhodnějšího řešení jak z hlediska konstrukčního, tak ekonomického pro danou suterénní stěnu.



## 2. Suterénní stěny

Za suterénní stěnu můžeme považovat obvodovou stěnu nacházející se alespoň z části pod úrovní terénu, je tedy v kontaktu se zemínou a působí na ni zemní tlak.

Typické namáhání pro suterénní stěnu je právě namáhání zemním tlakem. Při výpočtu zatížení zemním tlakem se uvažuje zemní tlak v klidu, protože se nepředpokládají velké deformace, posuny nebo pootočení samotné konstrukce, jak by tomu bylo u aktivního zemního tlaku. Vlivem tohoto působení vznikají v konstrukci ohybová a smyková namáhání. Suterénní stěna je dále namáhána v tlaku od normálové síly vznikající působením nadzemních podlaží.

### 2.1 Železobeton

Beton je dnes hojně používaný materiál. Přináší řadu výhod jako je například vysoká tlaková pevnost, ohnivzdornost nebo vysoká odolnost vůči mechanickému poškození. Má ovšem i nevýhody, mezi které patří vysoká objemová hmotnost materiálu, špatné tepelně izolační vlastnosti a relativně velké objemové změny v důsledku smršťování betonu při procesu vysychání. Vliv na objemové změny mají i teplotní změny, při zvýšení teploty beton zvětšuje svůj objem a naopak při snížení teploty zase svůj objem zmenšuje. Velkou slabinou betonu je jeho pevnost v tahu, která je zhruba 10-ti - 12-ti násobně menší než pevnost v tlaku. Proto se vytvářejí železobetonové konstrukce, kde přenášení tahových napětí v tahu zajišťuje betonářská výztuž.

#### 2.1.1 Monolitický železobeton

Jednou z používanějších variant pro realizaci suterénních stěn je monolitický železobeton. Na stavbě se podle zhotoveného projektu sváže výztuž a připraví se tesařské nebo systémové bednění, které se následně zalije čerstvým betonem. Po určité době, po kterou beton tvrdne a získává požadované vlastnosti, se bednění odstraní.

Železobetonová konstrukce může být řešena pouze jako nosný prvek nebo může sloužit i jako ochrana spodní stavby proti pronikající vodě. V tomto ohledu rozlišujeme černé, bílé, hnědé a oranžové vany. Černá vana je železobetonová konstrukce plnicí pouze nosnou funkcí a je nutné dodatečně zamezit průniku vody. Izolační funkci dodávají konstrukci asfaltové nátěry, asfaltové pásy nebo PVC folie. Další variantou,

kde je nutno použít dodatečnou hydroizolaci je hnědá vana, u které plní hydroizolační funkci bentonitové rohože nebo matrace.

Bílá vana je realizována z vodonepropustného monolitického betonu, který plní zároveň nosnou i hydroizolační funkci, tudíž není potřeba řešit dodatečnou hydroizolaci. Za určitých podmínek může sloužit i jako ochrana proti radonu. Bílá vana je ovšem náročnější jak na návrh, tak i realizaci, při které musí být kladen důraz na dodržování technologických postupů, protože při nesprávné realizaci konstrukce nemusí plnit svoji funkci a spodní stavba tak nebude chráněna před pronikající vodou. Modifikovanou verzí bílé vany je oranžová vana, která je tvořena drátkobetonem. Klasická betonářská výztuž je zde nahrazena drátky.

Výhodou monolitického železobetonu je možnost vytvoření libovolného tvaru pro nepravidelné a složité konstrukce a přináší i hospodárnější návrh výztuže oproti prefabrikovaným konstrukcím. Nevýhodou je nutná technologická přestávka na stavbě z důvodu tvrdnutí betonu a tím i narůstá doba výstavby. Také je zde velký vliv počasí, které může ovlivnit kvalitu materiálu.



Obr. 1 Stěna z monolitického železobetonu<sup>1</sup>

---

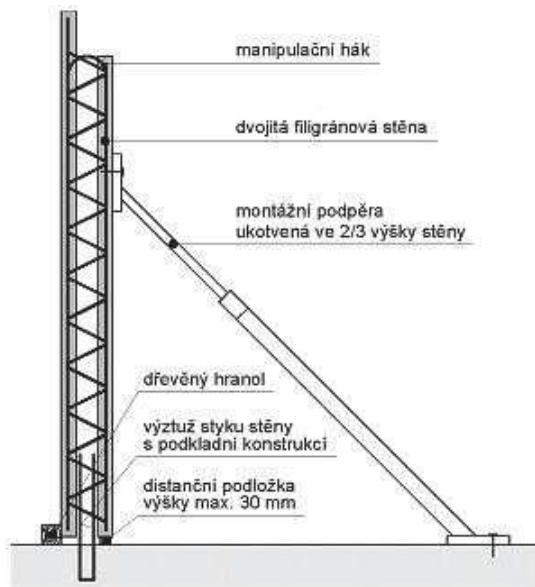
<sup>1</sup> [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.zelezobeton.cz/>

## 2.1.2 Prefa monolitický železobeton

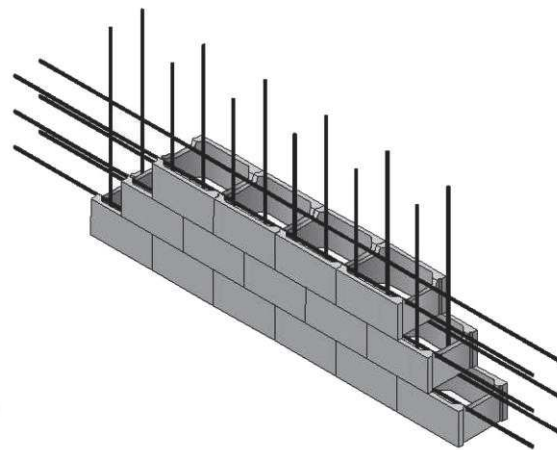
Další možností pro realizaci železobetonové konstrukce je použití prefabrikovaných dílců zkonstruovaných mimo stavbu v prefě. Tyto dílce pak slouží jako ztracené bednění a na stavbě tak odpadá proces bednění a s tím i proces odbedňování. Dílce využitě jako ztracené bednění se po zatvrdnutí betonové směsi stávají součástí konstrukce.

Ztracené bednění můžeme realizovat jako duté betonové tvárnice, které se kladou na vazbu za sucha, a poté se jejich vnitřek zalije betonem. Další možností ztraceného bednění jsou dvojité filigránové stěny. Tyto stěnové dílce jsou tvořeny dvěma prefabrikovanými deskami o tloušťce 50 – 60 mm, které jsou spojeny příhradovou výztuží. Na rozdíl od tvárníc ztraceného bednění zde odpadá i proces armování na stavbě, protože veškeré armovací práce proběhnou již při výrobě dílců a po usazení na stavbě stačí pouze mezeru mezi panely zalít betonem.

Oproti monolitickému železobetonu je největší výhodou právě eliminace procesů bednění a odbedňování, což zkracuje dobu výstavby.



Obr. 2 Schéma filigránového stěnového dílce<sup>1</sup>



Obr. 3 Schéma vyztužené stěny ze ztraceného bednění<sup>2</sup>

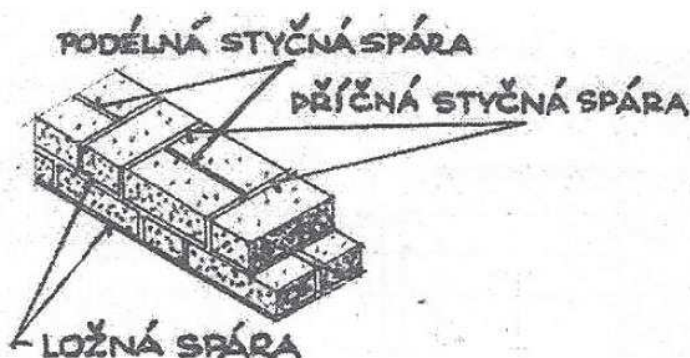
<sup>1</sup> [online]. [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <http://www.hochtief.cz/prefabrikaty>

<sup>2</sup> *Stěny z tvarovek používaných pro ztracené bednění* [online]. 2013 [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: [https://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/technologie/steny-z-tvarovek-pouzivanych-pro-ztracene-bedneni\\_105782.html](https://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/technologie/steny-z-tvarovek-pouzivanych-pro-ztracene-bedneni_105782.html) [online]. [cit. 2018-04-15].

## 2.2 Zdivo

Další možností je realizovat stěnu ze zdiva. Zdivo bychom mohli definovat jako seskupení zdících prvků uložených podle určitého uspořádání a spojených maltou. Jako zdící prvky lze využít keramické vylehčené tvárnice nebo cihly o plném průřezu.

I když má zdivo výhodu v tom, že je méně technologicky náročné než železobeton, pro suterénní stěny je dnes spíše používán železobeton hlavně z důvodu lepších mechanických vlastností.



Obr. 4 Názvy spár ve zdivu<sup>1</sup>

### 2.2.1 Cihla plná

Pro zdivo z cihel plných máme na výběr z více materiálových variant, jako jsou například pálené, vápenopískové, cementové, betonové nebo pórobetonové cihly.

Při nedostatečné únosnosti zdiva je také možné jeho vyztužení. Podélné vyztužení pro přenesení ohybových momentů a posouvajících sil z důvodů, jako jsou například rozdílná sedání konstrukce nebo namáhání nad okenními otvory. Příčné vyztužení slouží k přenesení tlakových sil. V některých případech je možné vytvoření předpjatého zdiva, kde pomocí předpínací výztuže uložené do ložných spár vneseme do zdiva vnitřní tlakové síly.

Možným řešením je také pravidelné rozmístění zesilujících pilířů, které mohou být realizovány ze zdiva nebo železobetonu. Při použití zděných pilířů jsou pilíře se stěnou propojeny vazbou. U železobetonové varianty jsou mezery mezi jednotlivými sloupy vyzděny.

---

<sup>1</sup> KOŠATKA, Pavel, Karel LORENZ a Jitka VAŠKOVÁ. *Zděné konstrukce 1*. V Praze: Nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN 80-010-3463-1.





Obr. 5 Stěna realizovaná z plných cihel<sup>1</sup>

### 2.2.2 Keramické vylehčené tvárnice

Oproti plným cihlám mívají tvárnice větší rozměry a lepší tepelně izolační vlastnosti z důvodu vylehčení vzduchovými dutinami. V případě použití systému pero a drážka (P+D) se styčné spáry nemaltují a pro ložné spáry je možné místo malty použít zdící pěnu nebo lepidlo.

Vylehčené tvárnice se ovšem příliš nedoporučují do suterénních prostor.



Obr. 6 Stěna realizovaná z vylehčených tvárnic P+D na maltu pro tenké spáry<sup>2</sup>

<sup>1</sup> [online]. [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <https://pxhere.com/cs/photo/575260>

<sup>2</sup> [online]. 2017 [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/ceny-materialu-pro-hrubou-stavbu-2017.aspx>

### **2.2.3 Malta**

Část zdiva sloužící ke spojení zdících prvků. Podle použitého pojiva při výrobě malty rozeznáváme malty hliněné, vápenné, cementové, vápenocementové nebo malty speciální.

## **3. Informace o objektu**

### **3.1 Urbanistické, architektonické a dispoziční řešení stavby**

Předmětem projektu je stacionář obdélníkového půdorysu se šikmou střechou, se čtyřmi nadzemními a jedním podzemním podlažím. Celkové půdorysné rozměry nosné konstrukce objektu jsou 22,7 x 33 m, nejvyšší bod nosné konstrukce se nachází 13,8 m nad úrovní okolního terénu. Konstruktivní výška nadzemních podlaží je 3 500 mm, konstruktivní výška suterénu 3 000 mm. V podzemním podlaží jsou situovány garáže a technické zázemí objektu. V 1. NP se nachází vstupní část. V 1. NP – 4. NP jsou umístěny pracovny a místnosti pro terapie.

### **3.2 Technické řešení stavby**

Objekt je založen na plošných základech (ŽB patky a pasy). Nosný systém budovy je kombinovaný – stěnový doplněný o sloupy ve všech podlažích. Stropní konstrukce jsou monolitické železobetonové, v západní části objektu řešené jako jednosměrně pnuté vylehčené polystyrenovými bloky a ve východní části objektu jako lokálně podepřené. Hlavní schodiště je řešeno jako železobetonové deskové monolitické tříramenné. Ztužení objektu je zajištěno železobetonovým jádrem v kombinaci s obvodovými stěnami.

Obvodové stěny a vnitřní nosné stěny nadzemních podlaží jsou navrženy z keramických tvárnic Porotherm 30 P+D. Obvodová nosná konstrukce spodní stavby je předmětem řešení této práce. Vnitřní nenosné stěny jsou navrženy z přemístitelných sádkartonových příček Rigips.

## 4. Zatížení

### 4.1 Charakteristické svislé zatížení

#### 4.1.1 Stálé plošné zatížení

##### a) Obytné prostory

Název	Tloušťka [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Keramická dlažba	10	2200	0,22
Lepicí tmel	-	-	-
Ochranná hydroizolační hmota	-	-	-
Betonová mazanina	50	2400	1,2
PE folie	-	-	-
Kročejová izolace	50	35	0,0175
<b>CELKEM</b>		<b><math>g_k =</math></b>	<b>1,44 kN/m<sup>2</sup></b>

##### b) Balkon

Název	Tloušťka [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Keramická dlažba	10	2200	0,22
Drenáž z PE folie	-	-	-
Hydroizolace z asfaltového pásu	-	-	-
Spádový potěr	50 – 80*	2400	1,56
Železobetonová deska	120	2500	3
<b>CELKEM</b>		<b><math>g_k =</math></b>	<b>4,78 kN/m<sup>2</sup></b>

\* do výpočtu použita průměrná tloušťka 65 mm



### c) Střešní plášť

Název	Tloušťka [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Šablony CEMBRIT	5	1850	0,093
Smrkové latě 60/40 á 250 mm	9,6*	455	0,0044
Smrkové kontralatě 60/40 á 368 mm	6,5*	455	0,03
Pojistná folie	-	-	-
Krokve 220/160 á 1200 mm	29,33*	455	0,13
Minerální vlna mezi krokve	220	100	0,22
Minerální vlna pod krokve	60	100	0,06
Parozábrana	-	-	-
SDK pohled RIGIPS	-	-	0,1

**CELKEM**

$$g_{k, \alpha} = 0,68 \text{ kN/m}^2$$

\*Rozmístění krokví, latí a kontralatí převedeno na náhradní tloušťku

Převedení zatížení od střešního pláště na rovnou plochu o sklonu 0°:

(sklon střechy  $\alpha = 21^\circ$ )

$$g_k = \frac{g_{k, \alpha}}{\cos \alpha} = \frac{0,68}{\cos(21)} = 0,73 \text{ kN/m}^2$$

### d) Stropní deska

Název	Tloušťka [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Monolitická železobetonová deska	220	2500	5,5

**CELKEM**

$$g_{k, \alpha} = 5,5 \text{ kN/m}^2$$

### e) Zatížení od obvodové stěny z nadzemních podlaží

Stěny nadzemních podlaží jsou vyzděny z tvárnice POROTHERM 30 P+D

Hmotnost stěny včetně omítek:  $m' = 318 \text{ kg/m}^2 = 3,18 \text{ kN/m}^2$

Obvodová stěna má výšku 11 m (3x konstrukční výška 3,5 m + 0,5 m podkrovní nadezdívka)

$$f_{g,k} = m' \cdot h = 3,18 \cdot 11 = 34,98 \text{ kN/m}'$$

## 4.1.2 Proměnné plošné zatížení

### a) Zatížení sněhem

Praha – I. sněhová oblast

$s_k = 0,7$  kPa (charakteristické zatížení sněhem)

$C_e = 1,0$  (součinitel expozice pro normální terén)

$C_t = 1,0$  (součinitel tepla pro součinitel prostupu tepla střechy  $< 1$  W/m<sup>2</sup>K)

$\mu_i = 0,8$  (pro sklon střechy  $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ )

$$S_k = s_k * C_e * C_t * \mu_i = 0,7 * 1,0 * 1,0 * 0,8 = 0,56 \text{ kN/m}^2$$

### b) Zatížení příčkami

V objektu jsou navrženy sádkartonové přemístitelné příčky RIGIPS

Hmotnost příček:  $m' = 60 \text{ kg/m}^2 = 0,6 \text{ kN/m}^2$

Výška příčky:  $h = 3,17 \text{ m}$

$$g_{o,příčka} = m' * h = 0,6 * 3,17 = 1,9 \text{ kN/m}$$

Pro přemístitelné příčky s vlastní tíhou do 2,0 kN/m délky příčky lze použít  $q_k = 0,8 \text{ kN/m}^2$

### c) Užité zatížení

Obytné místnosti (kategorie A):  $q_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$

Balkon (kategorie A):  $q_k = 3 \text{ kN/m}^2$

Nepochozí střecha (kategorie H):  $q_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$

## 4.2 Výpočet zatížení působícího na suterénní stěnu

Rozpětí mezi suterénní stěnou a sloupem je 5,25 m. Zatěžovací šířka je tedy 2,625 m. U balkonu jsou násobeny hodnoty zatížení hodnotou 1,2, tedy délkou jeho vyložení.

### a) Zatížení od nadzemních podlaží

Název	počet	Výpočet	Char. zat. [kN/m']	$\gamma_F$ [-]	Návrh. zat. [kN/m']
ŽB deska (2. – 4. NP)	3	$3 \cdot 2,625 \cdot 5,5$	43,3	1,35	58,47
Obvodová stěna	1	-	34,98	1,35	47,22
Podlaha (2. – 4. NP)	3	$3 \cdot 2,625 \cdot 1,44$	11,34	1,35	15,3
Balkon ve 3.NP	1	$4,78 \cdot 1,2$	5,74	1,35	7,75
Střešní plášť	1	$0,73 \cdot 2,625$	1,92	1,35	2,6
<b><math>\Sigma</math> stálé</b>			<b><math>f_{1,g,k} = 97,28 \text{ kN/m}'</math></b>		<b><math>f_{1,g,d} = 131,3 \text{ kN/m}'</math></b>
Příčky	3	$3 \cdot 2,625 \cdot 0,8$	6,3	1,5	9,45
Užitné (2. – 4.NP)	3	$3 \cdot 2,625 \cdot 1,5$	11,8	1,5	17,7
Užitné střecha	1	$2,625 \cdot 0,75$	2	1,5	3
Užitné balkon	1	$1,2 \cdot 3$	3,6	1,5	5,4
<b><math>\Sigma</math> proměnné</b>			<b><math>f_{1,g,k} = 23,7 \text{ kN/m}'</math></b>		<b><math>f_{1,g,d} = 35,55 \text{ kN/m}'</math></b>
<b><math>\Sigma</math> CELKEM</b>					<b><u><math>f_{1,d} = 166,9 \text{ kN/m}'</math></u></b>

### b) Zatížení od stropu 1. PP

Název	počet	Výpočet	Char. zat. [kN/m']	$\gamma_F$ [-]	Návrh. zat. [kN/m']
ŽB deska (1. NP)	1	$2,625 \cdot 5,5$	14,44	1,35	19,5
Podlaha (1. NP)	1	$2,625 \cdot 1,44$	3,78	1,35	5,1
<b><math>\Sigma</math> stálé</b>			<b><math>f_{2,g,k} = 18,22 \text{ kN/m}'</math></b>		<b><math>f_{2,g,d} = 24,6 \text{ kN/m}'</math></b>
Příčky	1	$2,625 \cdot 0,8$	2,1	1,5	3,1
Užitné (1.NP)	1	$2,625 \cdot 1,5$	3,94	1,5	5,9
<b><math>\Sigma</math> proměnné</b>			<b><math>f_{2,g,k} = 6 \text{ kN/m}'</math></b>		<b><math>f_{2,g,d} = 9 \text{ kN/m}</math></b>
<b><math>\Sigma</math> CELKEM</b>					<b><u><math>f_{2,d} = 33,5 \text{ kN/m}'</math></u></b>

### 4.3 Vodorovné zatížení od zemního tlaku

Pro výpočet uvažují, že na suterénní stěnu působí zemní tlak v klidu. Zeminou působící tlak na stěnu je hlína šterkovitá (klasifikace F1 podle ČSN 73 1001). Hladina podzemní vody nebyla při inženýrsko-geologickém průzkumu nalezena.

#### Vlastnosti zeminy:

$$\gamma_{ZEM} = 18 \text{ kN/m}^3 \text{ (objemová hmotnost zeminy)}$$

$$\varphi_d = 28^\circ \text{ (návrhový efektivní vnitřní úhel tření)}$$

$$q_{0,k} = 5 \text{ kN/m}^2 \text{ (užitné zatížení na terénu)}$$

$$h = 2,75 \text{ m (výška suterénní stěny)}$$

$$h' = 3,05 \text{ m (výška zásypu od paty stěny)}$$

Součinitel zemního tlaku v klidu:

$$K_0 = 1 - \sin \varphi_d = 1 - \sin (28) = 0,53$$

Návrhový zemní tlak v úrovni terénu:

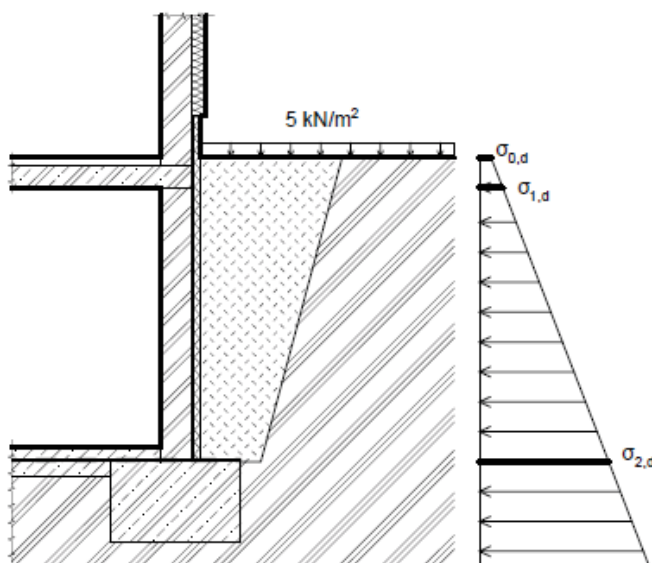
$$\sigma_{0,d} = K_0 * \gamma_Q * q_{0,k} = 0,53 * 1,5 * 5 = \mathbf{3,975 \text{ kPa}}$$

Návrhový zemní tlak v hlavě suterénní stěny:

$$\begin{aligned} \sigma_{1,d} &= K_0 * (\gamma_Q * q_{0,k} + \gamma_G * \gamma_{ZEM} * (h' - h)) = \\ &= 0,53 * (1,5 * 5 + 1,35 * 18 * (3,05 - 2,75)) = \mathbf{7,8 \text{ kPa}} \end{aligned}$$

Návrhový zemní tlak v patě suterénní stěny:

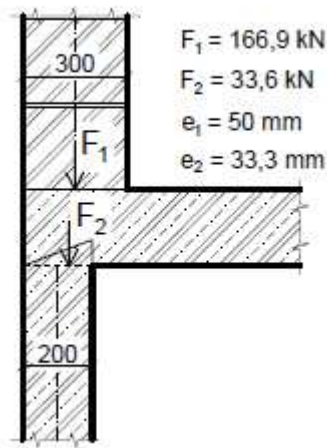
$$\begin{aligned} \sigma_{2,d} &= K_0 * (\gamma_Q * q_{0,k} + \gamma_G * \gamma_{ZEM} * h) = 0,53 * (1,5 * 5 + 1,35 * 18 * 3,05) = \\ &= \mathbf{43,3 \text{ kPa}} \end{aligned}$$



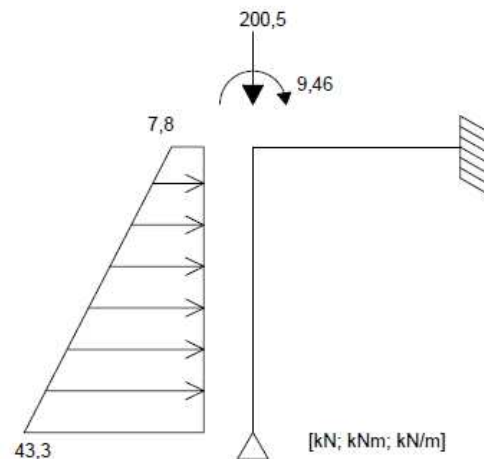
Obr. 7 Schéma zatížení zemním tlakem

## 5. Železobetonová suterénní stěna

Monolitická železobetonová suterénní stěna podepřená v hlavě a patě. Tloušťka stěny je 200 mm. Statické schéma stěny pro výpočet momentu volím jako lomený nosník o výšce 2,75 m z jedné strany vetknutý a z druhé strany kloubově uložený, z důvodu umístění suterénní stěny na vrstvu hydroizolace. Vodorovnému posunu stěny je zabráněno pomocí podlahové krycí betonové vrstvy o tloušťce 150 mm.

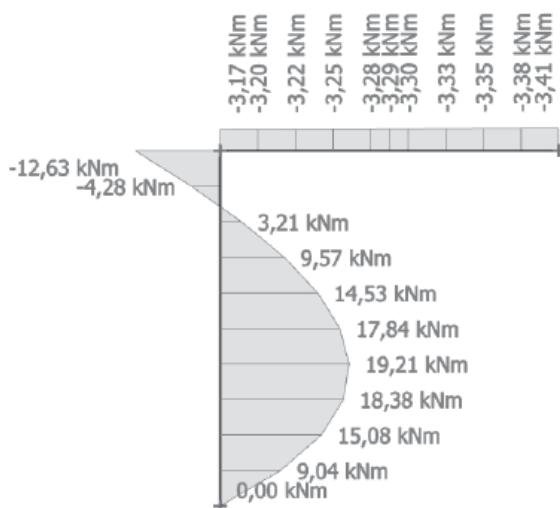


Obr. 8 excentricita zatížení



Obr. 9 statické schéma suterénní stěny

Pro výpočet ohybového momentu jsem použil výpočetní program SCIA Engineer 17.



Obr. 10 Průběh ohybového momentu na suterénní stěně

## 5.1 Návrh výztuže suterénní stěny

Stěnu jsem navrhl z betonu o charakteristické pevnosti v tlaku 30 MPa, třídě prostředí XC2 a třídě konzistence S3.

BETON: C30/37  $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$   $f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c = 30/1,5 = 20 \text{ MPa}$

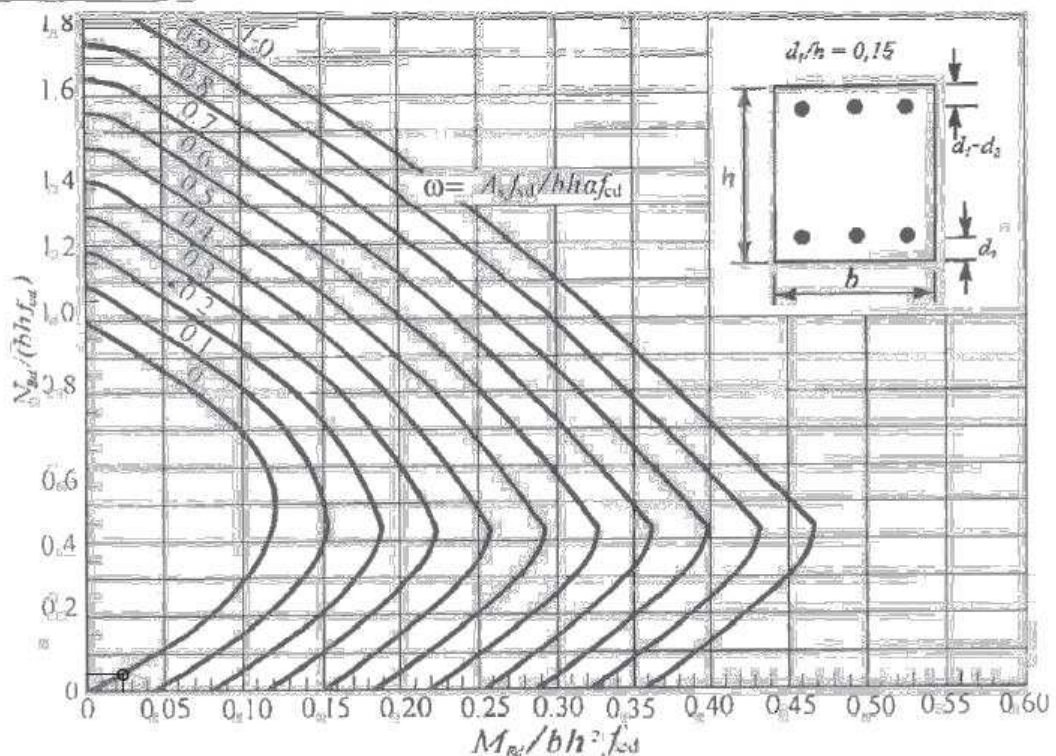
OCEL: B500B  $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$   $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 500/1,15 = 435 \text{ MPa}$

Potřebnou plochu výztuže zjistím pomocí nomogramů. Šířku průřezu uvažuji 1000 mm.

$$v = \frac{N_{Ed}}{b \cdot t \cdot f_{cd}} = \frac{200,5 \cdot 10^3}{1000 \cdot 200 \cdot 20} = 0,05$$

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b \cdot t^2 \cdot f_{cd}} = \frac{19,21 \cdot 10^6}{1000 \cdot 200^2 \cdot 20} = 0,024$$

**Nomogram 12.3**



Obr. 11 Nomogram pro návrh výztuže

Z nomogramu jsem zjistil, že potřebná plocha výztuže je rovna nule. Pro suterénní stěnu tedy stačí navrhnout pouze konstrukční výztuž.

**Svislá výztuž** NÁVRH 2x  $\varnothing 8$  á 250 mm;  $A_{s,prov,1} = 402 \text{ mm}^2$

**Vodorovná výztuž** NÁVRH 2x  $\varnothing 8$  á 400 mm;  $A_{s,prov,2} = 251 \text{ mm}^2$

## 5.2 Posouzení konstrukčních zásad

### Svislá výztuž

Minimální plocha výztuže:

$$A_{s,prov,1} \geq 0,002A_c = 0,002*1000*200 = 400 \text{ mm}^2$$

**402  $\geq$  400 [mm<sup>2</sup>] ... Vyhovuje**

Maximální plocha výztuže:

$$A_{s,prov,1} \leq 0,04A_c = 0,04*1000*200 = 8000 \text{ mm}^2$$

**402  $\leq$  8000 [mm<sup>2</sup>] ... Vyhovuje**

Maximální osová vzdálenost výztuže:

$$s \leq \text{MIN} (3t; 400 \text{ mm}) = \text{MIN} (3*200; 400 \text{ mm}) = 400 \text{ mm}$$

**250  $\leq$  400 [mm] ... Vyhovuje**

Minimální světlá vzdálenost výztuže:

$$s_{\min} \geq \text{MAX} (1,2\varnothing_{s,\max}; D_{\max} + 5; 20 \text{ mm}) = \text{MAX} (1,2*8; 16+5; 20 \text{ mm}) = \\ = \text{MAX} (9,6; 21; 20 \text{ mm}) = 21 \text{ mm}$$

**242  $\geq$  21 [mm] ... Vyhovuje**

### Vodorovná výztuž

Minimální plocha výztuže:

$$A_{s,prov,2} \geq \text{MAX} (0,25A_{s,prov,1}; 0,001A_c) = \text{MAX} (0,25*402; 0,001*1000*200) = \\ = \text{MAX} (100,5; 200) = 200 \text{ mm}^2$$

**251  $\geq$  200 [mm<sup>2</sup>] ... Vyhovuje**

Osová vzdálenost výztuže:

$$s \leq 400 \text{ mm}$$

**400 = 400 [mm] ... Vyhovuje**

### 5.3 Posouzení výztuže stěny

Stanovení krytí výztuže:

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

$$c_{min,b} = 8 \text{ mm}$$

$$c_{min,dur} = 20 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,\gamma} = \Delta c_{dur,st} = \Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \text{MAX} (c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} + \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}) = \\ = \text{MAX}(8; 20 + 0 + 0 + 0; 10 \text{ mm}) = 20 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 20 + 10 = \mathbf{30 \text{ mm}}$$

Základní hodnoty pro výpočet:

Šířka průřezu:  $b = 1000 \text{ mm}$

Výška průřezu:  $h = 200 \text{ mm}$

Krycí vrstva:  $c = 30 \text{ mm}$

Průměr vodorovné výztuže:  $\varnothing_{vod} = 8 \text{ mm}$

Průměr svislé výztuže:  $\varnothing_{sv} = 8 \text{ mm}$

Průřezové a materiálové charakteristiky:

Plocha výztuže:  $A_{s1} = A_{s2} = 201 \text{ mm}^2$

Návrhová pevnost betonu:  $f_{cd} = 20 \text{ MPa}$

Plocha posuzovaného průřezu:  $A_c = 200\,000 \text{ mm}^2$

Návrhová mez kluzu oceli:  $f_{yd} = 435 \text{ MPa}$

Modul pružnosti oceli:  $E_s = 210\,000 \text{ MPa}$

Účinná výška průřezu:

$$d = h - c - \varnothing_{vod} - \frac{\varnothing_{sv}}{2} = 200 - 30 - 8 - \frac{8}{2} = \mathbf{158 \text{ mm}}$$

Ramena vnitřních sil:

$$z_{s1} = z_{s2} = 0,5 * (h - 2c - 2\varnothing_{vod} - \varnothing_{sv}) = 0,5 * (200 - 2 * 30 - 2 * 8 - 8) = \\ = \mathbf{58 \text{ mm}}$$

$$d_1 = d_2 = \frac{h}{2} - z_{s1} = \frac{200}{2} - 58 = \mathbf{42 \text{ mm}}$$



### 5.3.1 Výpočet bodů interakčního diagramu

#### BOD 0 – Dostředný tlak

$$\begin{aligned} N_{Rd,0} &= b * h * f_{cd} + A_{s1} * \sigma_s + A_{s2} * \sigma_s \\ &= 1000 * 200 * 20 + 201 * 400 + 201 * 400 = \mathbf{4160,8 \text{ kN}} \end{aligned}$$

$$M_{Rd,0} = (A_{s1} * z_{s1} - A_{s2} * z_{s2}) * \sigma_s = \mathbf{0 \text{ kNm}}$$

#### BOD 1 – Nulové přetvoření tažené výztuže

$$\begin{aligned} N_{Rd,1} &= 0,8 * b * d * f_{cd} + A_{s2} * f_{yd} = 0,8 * 1000 * 158 * 20 + 201 * 435 = \\ &= \mathbf{2615,44 \text{ kN}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd,1} &= 0,8 * b * d * f_{cd} * \left(\frac{h}{2} - 0,4d\right) + A_{s2} * z_{s2} * f_{yd} = \\ &= 0,8 * 1000 * 158 * 20 * \left(\frac{200}{2} - 0,4 * 158\right) + 201 * 58 * 435 = \\ &= \mathbf{98,1 \text{ kNm}} \end{aligned}$$

#### BOD 2 – Napětí v tažené výztuži je na mezi kluzu ( $\sigma_{s1} = f_{yd}$ )

$$\xi_{bal,1} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 435} = 0,617$$

$$x_{bal,1} = \xi_{bal,1} * d = 0,617 * 158 = 97,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \frac{\varepsilon_{cd}}{x_{bal,1}} &= \frac{\varepsilon_{s2}}{x_{bal,1} - d_2} \rightarrow \varepsilon_{s2} = \varepsilon_{cd} * \left(1 - \frac{d_2}{x_{bal,1}}\right) = 0,0035 * \left(1 - \frac{42}{97,5}\right) = \\ &= \mathbf{1,99 * 10^{-3}} \end{aligned}$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435}{210\,000} = \mathbf{2,175 * 10^{-3}}$$

Protože  $\varepsilon_{yd} > \varepsilon_{s2}$ , použijí vztah  $\sigma_{s2} = E_s * \varepsilon_{s2}$

$$\sigma_{s2} = E_s * \varepsilon_{s2} = 210\,000 * 1,99 * 10^{-3} = \mathbf{417,9 \text{ MPa}}$$

$$\begin{aligned} N_{Rd,2} &= 0,8 * b * x_{bal,1} * f_{cd} + A_{s2} * f_{yd} - A_{s1} * f_{yd} = \\ &= 0,8 * 1000 * 97,5 * 20 + 201 * 435 - 201 * 435 = \mathbf{1560 \text{ kN}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_{Rd,2} &= 0,8 * b * x_{bal,1} * f_{cd} * \left(\frac{h}{2} - 0,4x_{bal,1}\right) + A_{s2} * z_{s2} * f_{yd} + A_{s1} * z_{s1} * f_{yd} = \\
&= 0,8 * 1000 * 97,5 * 20 * \left(\frac{200}{2} - 0,4 * 97,5\right) + 201 * 58 * 435 \\
&+ 201 * 58 * 435 = \mathbf{105,3 \text{ kNm}}
\end{aligned}$$

**BOD 3 – Prostý ohyb** (se zanedbáním tlakové výztuže)

$$N_{Rd,3} = \mathbf{0 \text{ kN}}$$

$$x = \frac{A_{s1} * f_{yd}}{0,8 * b * f_{cd}} = \frac{201 * 435}{0,8 * 1000 * 20} = 5,46 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
M_{Rd,3} &= 0,8 * b * x * f_{cd} * \left(\frac{h}{2} - 0,4x\right) + A_{s1} * z_{s1} * f_{yd} = \\
&= 0,8 * 1000 * 5,46 * 20 * \left(\frac{200}{2} - 0,4 * 5,46\right) + 201 * 58 * 435 = \\
&= \mathbf{13,62 \text{ kNm}}
\end{aligned}$$

**BOD 4 – Nulové přetvoření tlačené výztuže ( $\epsilon_{s2} = 0$ )**

$$N_{Rd,4} = A_{s1} * f_{yd} = 201 * 435 = \mathbf{87,44 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd,4} = A_{s1} * f_{yd} * z_{s1} = 201 * 435 * 58 = \mathbf{5,07 \text{ kNm}}$$

**BOD 5 – Prostý tah**

$$N_{Rd,5} = (A_{s1} + A_{s2}) * f_{yd} = (201 + 201) * 435 = \mathbf{174,87 \text{ kN}}$$

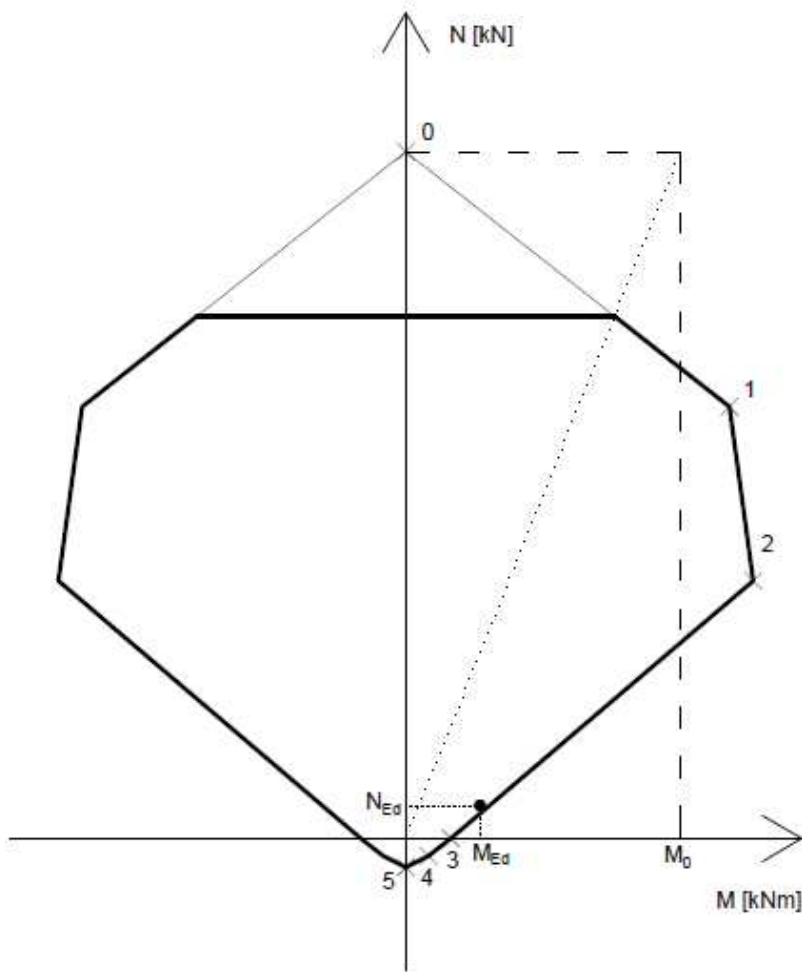
$$M_{Rd,5} = \mathbf{0 \text{ kNm}}$$

**Omezení tlakové únosnosti**

$$e_o = \text{MAX}\left(\frac{h}{30}; 20 \text{ mm}\right) = \text{MAX}\left(\frac{200}{30}; 20 \text{ mm}\right) = \text{MAX}(6,67; 20 \text{ mm}) = \mathbf{20 \text{ mm}}$$

Minimální ohybový moment:

$$M_o = N_{Rd,0} * e_o = 4160,8 * 0,02 = \mathbf{83,2 \text{ kNm}}$$

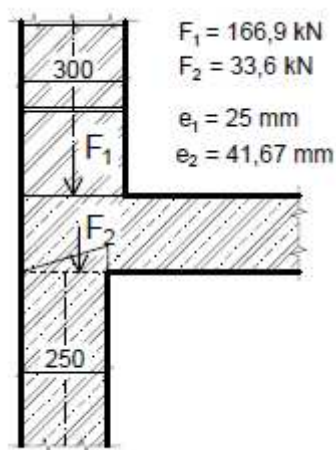


bod	N [kN]	M [kNm]
0	4160,8	0
1	2615,44	98,1
2	1560	105,3
3	0	13,62
4	-87,44	5,07
5	-174,87	0

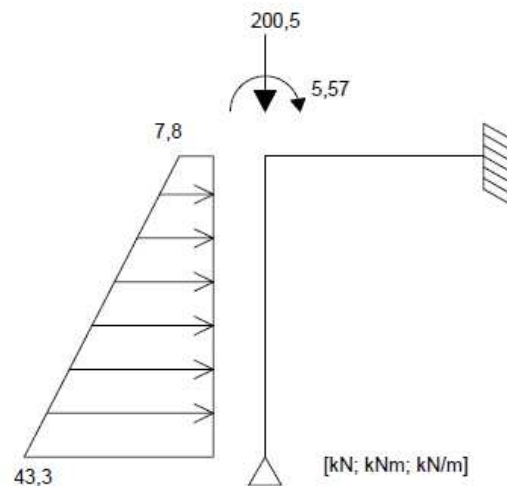
Obr. 12 Interakční diagram

## 6. Suterénní stěna z tvarovek ztraceného bednění

Suterénní železobetonová stěna sestavená z tvarovek používaných pro ztracené bednění a následně zalitá betonem. Šířka navržených tvárnic je 250 mm. Statické schéma stěny pro výpočet momentu volím jako lomený nosník o výšce 2,75 m z jedné strany vetknutý a z druhé strany kloubově uložený, z důvodu umístění suterénní stěny na vrstvu hydroizolace. Vodorovnému posunu stěny je zabráněno pomocí podlahové krycí betonové vrstvy o tloušťce 150 mm.

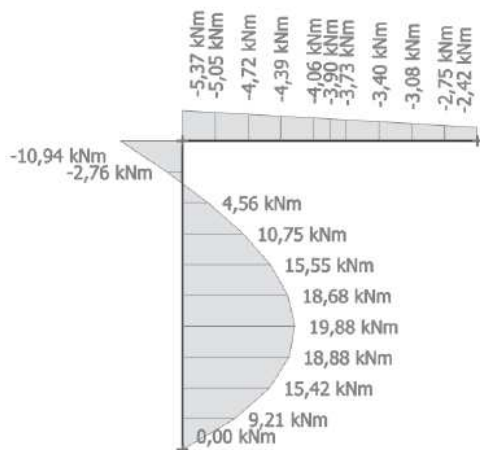


Obr. 13 excentricita zatížení



Obr. 14 statické schéma suterénní stěny

Pro výpočet ohybového momentu jsem použil výpočetní program SCIA Engineer 17.



Obr. 15 Průběh ohybového momentu na suterénní stěně

## 6.1 Návrh výztuže suterénní stěny

Výplňový beton jsem navrhl o charakteristické pevnosti v tlaku 20 MPa a třídě prostředí XC2. Tvárnice ztraceného bednění funguje pouze jako ohraničení nosné konstrukce.

Tloušťka stěny tvárnice je 35 mm, posuzovaný betonový průřez má tedy tloušťku 180 mm.

BETON: C20/25  $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$   $f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c = 20/1,5 = 13,33 \text{ MPa}$

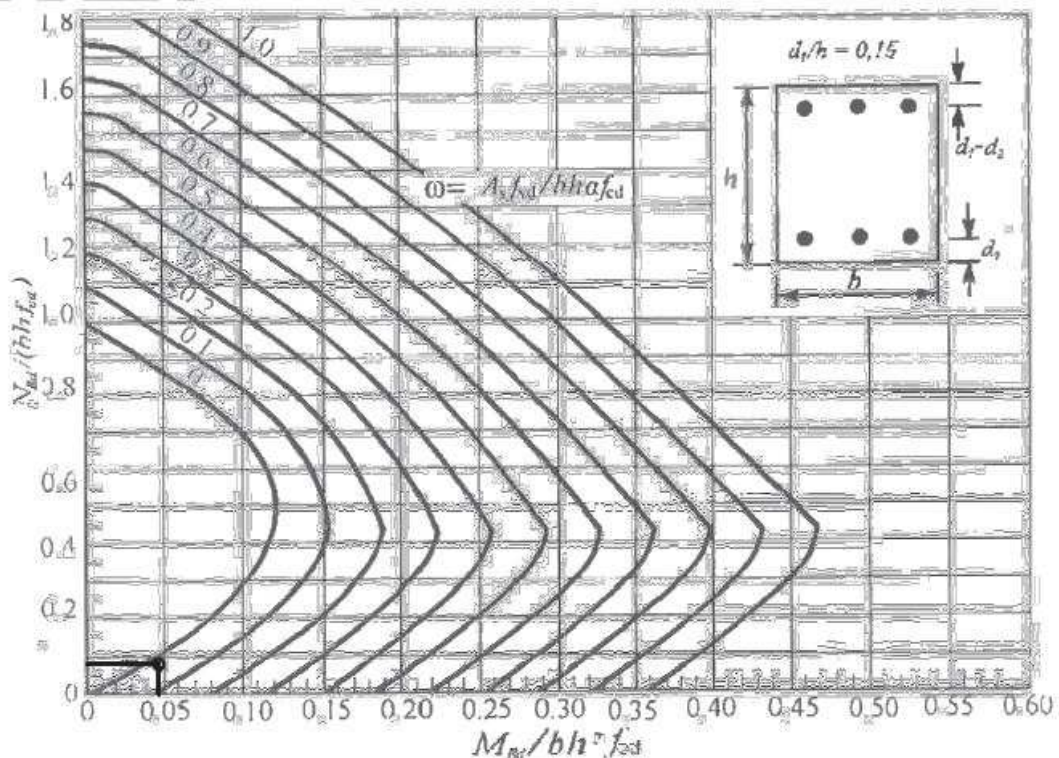
OCEL: B500B  $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$   $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 500/1,15 = 435 \text{ MPa}$

Potřebnou plochu výztuže zjistím pomocí nomogramů. Šířku průřezu uvažuji 1000 mm.

$$\nu = \frac{N_{Ed}}{b * t * f_{cd}} = \frac{200,5 * 10^3}{1000 * 180 * 13,33} = \mathbf{0,084}$$

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b * t^2 * f_{cd}} = \frac{19,88 * 10^6}{1000 * 180^2 * 13,33} = \mathbf{0,046}$$

**Nomogram 12.3**



Obr. 16 Nomogram pro návrh výztuže

Z nomogramu jsem zjistil, že potřebná plocha výztuže je rovna nule. Pro suterénní stěnu tedy stačí navrhnout pouze konstrukční výztuž.

**Svislá výztuž** NÁVRH 2x  $\varnothing 8$  á 250 mm;  $A_{s,prov,1} = 402 \text{ mm}^2$

**Vodorovná výztuž** NÁVRH 2x  $\varnothing 8$  á 250 mm;  $A_{s,prov,2} = 402 \text{ mm}^2$

## 6.2 Posouzení konstrukčních zásad

### 6.2.1 Svislá výztuž

Minimální plocha výztuže:

$$A_{s,prov,1} \geq 0,002A_c = 0,002 \cdot 1000 \cdot 180 = 360 \text{ mm}^2$$

**402  $\geq$  360 [mm<sup>2</sup>] ... Vyhovuje**

Maximální plocha výztuže:

$$A_{s,prov,1} \leq 0,04A_c = 0,04 \cdot 1000 \cdot 180 = 7200 \text{ mm}^2$$

**402  $\leq$  7200 [mm<sup>2</sup>] ... Vyhovuje**

Maximální osová vzdálenost výztuže:

$$s \leq \text{MIN}(3t; 400 \text{ mm}) = \text{MIN}(3 \cdot 180; 400 \text{ mm}) = 400 \text{ mm}$$

**250  $\leq$  400 [mm] ... Vyhovuje**

Minimální světlá vzdálenost výztuže:

$$\begin{aligned} s_{\min} &\geq \text{MAX}(1,2\varnothing_{s,\max}; D_{\max} + 5; 20 \text{ mm}) = \text{MAX}(1,2 \cdot 8; 16+5; 20 \text{ mm}) = \\ &= \text{MAX}(9,6; 21; 20 \text{ mm}) = 21 \text{ mm} \end{aligned}$$

**242  $\geq$  21 [mm] ... Vyhovuje**

### 6.2.2 Vodorovná výztuž

Minimální plocha výztuže:

$$\begin{aligned} A_{s,prov,2} &\geq \text{MAX}(0,25A_{s,prov,1}; 0,001A_c) = \text{MAX}(0,25 \cdot 402; 0,001 \cdot 1000 \cdot 180) = \\ &= \text{MAX}(100,5; 180) = 180 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

**402  $\geq$  180 [mm<sup>2</sup>] ... Vyhovuje**

Osová vzdálenost výztuže:

$$s \leq 400 \text{ mm}$$

**250  $<$  400 [mm] ... Vyhovuje**

### 6.3 Posouzení výztuže stěny

Stanovení krytí výztuže:

$$\Delta c_{dev} = 5 \text{ mm}$$

$$c_{min,b} = 8 \text{ mm}$$

$$c_{min,dur} = 20 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,\gamma} = \Delta c_{dur,st} = \Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \text{MAX}(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} + \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}) = \\ = \text{MAX}(8; 20 + 0 + 0 + 0; 10 \text{ mm}) = 20 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 20 + 5 = \mathbf{25 \text{ mm}}$$

Základní hodnoty pro výpočet:

Šířka průřezu:  $b = 1000 \text{ mm}$

Výška průřezu:  $h = 180 \text{ mm}$

Krycí vrstva:  $c = 25 \text{ mm}$

Průměr vodorovné výztuže:  $\varnothing_{vod} = 8 \text{ mm}$

Průměr svislé výztuže:  $\varnothing_{sv} = 8 \text{ mm}$

Průřezové a materiálové charakteristiky:

Plocha výztuže:  $A_{s1} = A_{s2} = 201 \text{ mm}^2$

Návrhová pevnost betonu:  $f_{cd} = 13,33 \text{ MPa}$

Plocha posuzovaného průřezu:  $A_c = 180\,000 \text{ mm}^2$

Návrhová mez kluzu oceli:  $f_{yd} = 435 \text{ MPa}$

Modul pružnosti oceli:  $E_s = 210\,000 \text{ MPa}$

Účinná výška průřezu:

$$d = h - c - \varnothing_{vod} - \frac{\varnothing_{sv}}{2} = 180 - 25 - 8 - \frac{8}{2} = \mathbf{143 \text{ mm}}$$

Ramena vnitřních sil:

$$z_{s1} = z_{s2} = 0,5 * (h - 2c - 2\varnothing_{vod} - \varnothing_{sv}) = 0,5 * (180 - 2 * 25 - 2 * 8 - 8) = \\ = \mathbf{53 \text{ mm}}$$

$$d_1 = d_2 = \frac{h}{2} - z_{s1} = \frac{180}{2} - 53 = \mathbf{37 \text{ mm}}$$

### 6.3.1 Výpočet bodů interakčního diagramu

#### BOD 0 – Dostředný tlak

$$\begin{aligned} N_{Rd,0} &= b * h * f_{cd} + A_{s1} * \sigma_s + A_{s2} * \sigma_s \\ &= 1000 * 180 * 13,33 + 201 * 400 + 201 * 400 = \mathbf{2560,2 \text{ kN}} \end{aligned}$$

$$M_{Rd,0} = (A_{s1} * z_{s1} - A_{s2} * z_{s2}) * \sigma_s = \mathbf{0 \text{ kNm}}$$

#### BOD 1 – Nulové přetvoření tažené výztuže

$$\begin{aligned} N_{Rd,1} &= 0,8 * b * d * f_{cd} + A_{s2} * f_{yd} = 0,8 * 1000 * 143 * 13,33 + 201 * 435 = \\ &= \mathbf{1612,4 \text{ kN}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd,1} &= 0,8 * b * d * f_{cd} * \left(\frac{h}{2} - 0,4d\right) + A_{s2} * z_{s2} * f_{yd} = \\ &= 0,8 * 1000 * 143 * 13,33 * \left(\frac{180}{2} - 0,4 * 143\right) + 201 * 53 * 435 = \\ &= \mathbf{54,65 \text{ kNm}} \end{aligned}$$

#### BOD 2 – Napětí v tažené výztuži je na mezi kluzu ( $\sigma_{s1} = f_{yd}$ )

$$\xi_{bal,1} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 435} = 0,617$$

$$x_{bal,1} = \xi_{bal,1} * d = 0,617 * 143 = 88 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \frac{\varepsilon_{cd}}{x_{bal,1}} &= \frac{\varepsilon_{s2}}{x_{bal,1} - d_2} \rightarrow \varepsilon_{s2} = \varepsilon_{cd} * \left(1 - \frac{d_2}{x_{bal,1}}\right) = 0,0035 * \left(1 - \frac{37}{88}\right) = \\ &= \mathbf{2,03 * 10^{-3}} \end{aligned}$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435}{210\,000} = \mathbf{2,175 * 10^{-3}}$$

Protože  $\varepsilon_{yd} > \varepsilon_{s2}$ , použijí vztah  $\sigma_{s2} = E_s * \varepsilon_{s2}$

$$\sigma_{s2} = E_s * \varepsilon_{s2} = 210\,000 * 2,03 * 10^{-3} = \mathbf{426,3 \text{ MPa}}$$

$$\begin{aligned} N_{Rd,2} &= 0,8 * b * x_{bal,1} * f_{cd} + A_{s2} * f_{yd} - A_{s1} * f_{yd} = \\ &= 0,8 * 1000 * 88 * 13,33 + 201 * 435 - 201 * 435 = \mathbf{938,4 \text{ kN}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd,2} &= 0,8 * b * x_{bal,1} * f_{cd} * \left(\frac{h}{2} - 0,4x_{bal,1}\right) + A_{s2} * z_{s2} * f_{yd} + A_{s1} * z_{s1} * f_{yd} = \\ &= 0,8 * 1000 * 88 * 13,33 * \left(\frac{180}{2} - 0,4 * 88\right) + 201 * 53 * 435 + 201 \\ &* 53 * 435 = \mathbf{60,7 \text{ kNm}} \end{aligned}$$



**BOD 3 – Prostý ohyb** (se zanedbáním tlakové výztuže)

$$N_{Rd,3} = 0 \text{ kN}$$

$$x = \frac{A_{s1} * f_{yd}}{0,8 * b * f_{cd}} = \frac{201 * 435}{0,8 * 1000 * 13,33} = 8,2 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd,3} &= 0,8 * b * x * f_{cd} * \left(\frac{h}{2} - 0,4x\right) + A_{s1} * z_{s1} * f_{yd} = \\ &= 0,8 * 1000 * 8,2 * 13,33 * \left(\frac{180}{2} - 0,4 * 8,2\right) + 201 * 53 * 435 = \\ &= 12,22 \text{ kNm} \end{aligned}$$

**BOD 4 – Nulové přetvoření tlačené výztuže** ( $\epsilon_{s2} = 0$ )

$$N_{Rd,4} = A_{s1} * f_{yd} = 201 * 435 = 87,44 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,4} = A_{s1} * f_{yd} * z_{s1} = 201 * 435 * 53 = 4,6 \text{ kNm}$$

**BOD 5 – Prostý tah**

$$N_{Rd,5} = (A_{s1} + A_{s2}) * f_{yd} = (201 + 201) * 435 = 174,9 \text{ kN}$$

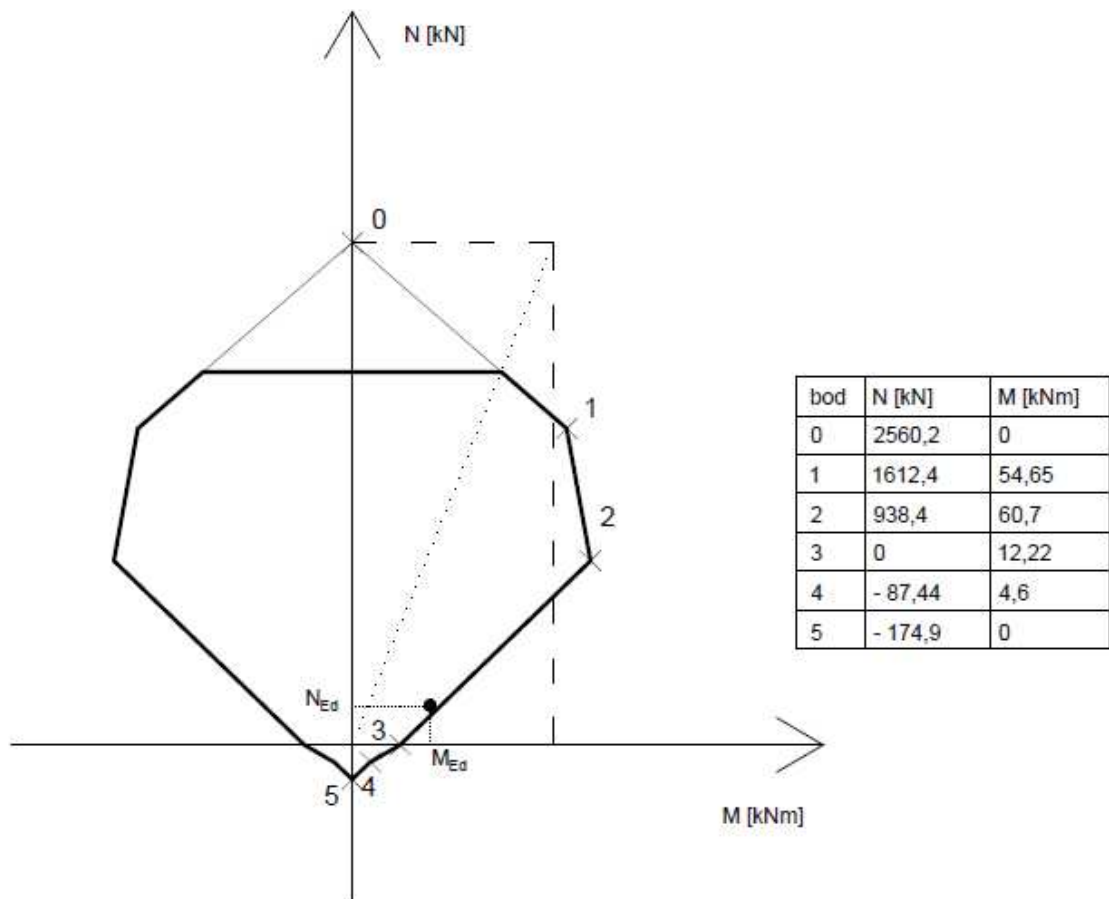
$$M_{Rd,5} = 0 \text{ kNm}$$

**Omezení tlakové únosnosti**

$$e_o = \text{MAX}\left(\frac{h}{30}; 20 \text{ mm}\right) = \text{MAX}\left(\frac{180}{30}; 20 \text{ mm}\right) = \text{MAX}(6; 20 \text{ mm}) = 20 \text{ mm}$$

Minimální ohybový moment:

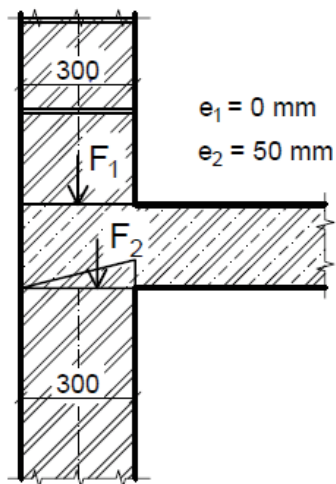
$$M_o = N_{Rd,0} * e_o = 2560,2 * 0,02 = 51,2 \text{ kNm}$$



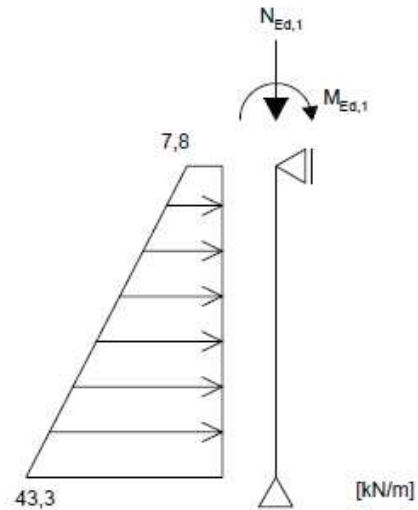
Obr. 17 Interakční diagram

## 7. Keramické tvárnice na obyčejnou maltu

Další variantou je stěna navržená z keramických vylehčených tvárníc Porotherm 30 P10 P+D na MC 10. Statické schéma volím zjednodušeně jako prostý nosník o délce 2,75 m.



Obr. 18 excentricita zatížení



Obr. 19 Statické schéma stěny

### Charakteristiky zdiva:

$$f_k = 4,94 \text{ MPa}$$

$$\gamma_M = 2,0 \text{ (pro jiné než pórobetonové prvky kategorie 1)}$$

$$f_d = f_k / \gamma_M = 4,94 / 2,0 = 2,47 \text{ MPa}$$

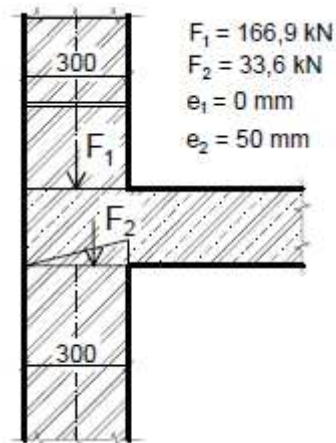
$$m' = 318 \text{ kg/m}^2 = 3,18 \text{ kN/m}^2 \text{ (hmotnost zdiva včetně omítek)}$$

$$K_E = 1000$$

$$\rho_n = 0,75$$

$$h_{ef} = \rho_n * h = 0,75 * 2,75 = 2,06 \text{ m}$$

## 7.1 Posouzení stěny v tlaku



Obr. 20 Působící zatížení

### Hlava stěny

$$N_{Ed,1} = 200,5 \text{ kN}$$

$$e_{if} = \frac{F_1 * e_1 + F_2 * e_2}{F_1 + F_2} = \frac{166,9 * 0 + 33,6 * 0,05}{166,9 + 33,6} = 8,38 \text{ mm}$$

$$e_{ia} = \frac{h_{ef}}{450} = \frac{2,06}{450} = 4,58 \text{ mm}$$

$$e_i = e_{if} + e_{ia} = 8,38 + 4,58 = \mathbf{12,96 \text{ mm}} \geq 0,05t = 0,05 * 300 = \mathbf{15 \text{ mm}}$$

$$\Phi_i = 1 - \frac{2e_i}{t} = 1 - \frac{2 * 15}{300} = \mathbf{0,9}$$

$$N_{Rd,1} = \Phi_i * A * f_d = 0,9 * 300\,000 * 2,47 = \mathbf{666,9 \text{ kN}}$$

$$N_{Rd,1} \geq N_{Ed,1}$$

$$\mathbf{666,9 \geq 200,5 \text{ [kN]} \dots \text{Vyhovuje}}$$

### ½ výšky stěny

$$N_{Ed,m} = 200,5 + 3,18 * 2,75 * 0,5 * 1,35 = 206,4 \text{ kN}$$

$$\frac{e_{mk}}{t} = \frac{0,5 * e_{if} + e_{ia}}{t} = \frac{0,5 * 8,38 + 4,58}{300} = \mathbf{0,03 \leq 0,05}$$

$$\Phi_m = 0,88$$

$$N_{Rd,m} = \Phi_m * A * f_d = 0,88 * 300\,000 * 2,47 = \mathbf{652,08 \text{ kN}}$$

$$N_{Rd,m} \geq N_{Ed,m}$$

$$\mathbf{652,08 \geq 206,4 \text{ [kN]} \dots \text{Vyhovuje}}$$

### Pata stěny

$$N_{Ed,2} = 200,5 + 3,18 * 2,75 * 1,35 = 212,3 \text{ kN}$$

$$\Phi_i = 1 - \frac{2e_i}{t} = 1 - \frac{2 * 15}{300} = 0,9$$

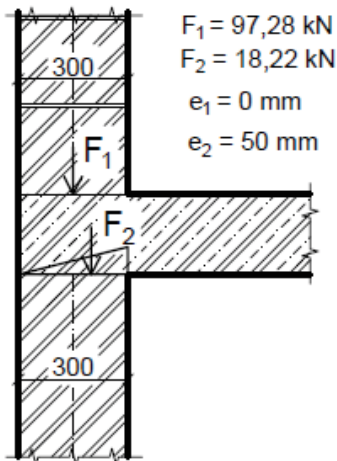
$$N_{Rd,2} = \Phi_i * A * f_d = 0,9 * 300\,000 * 2,47 = 666,9 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,2} \geq N_{Ed,2}$$

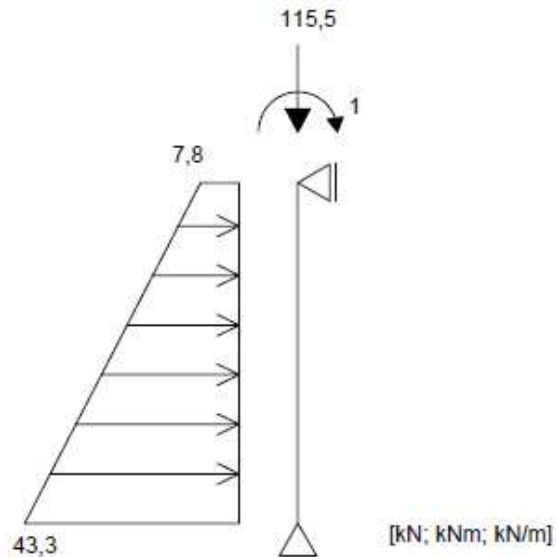
**666,9 ≥ 212,3 [kN] ... Vyhovuje**

## 7.2 Posouzení stěny ve smyku

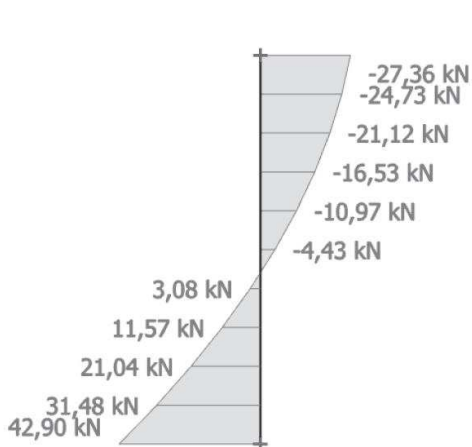
Na rozdíl od výpočtu únosnosti v tlaku jsou zde normálové síly od nadzemních podlaží a stropní konstrukce nad 1. podzemním podlažím brány jako příznivě působící, stálá zatížení jsou tedy násobena dílčím součinitelem  $\gamma_G = 1$ . Počítáme tedy s charakteristickými hodnotami a s proměnnými zatíženími nepočítáme vůbec.



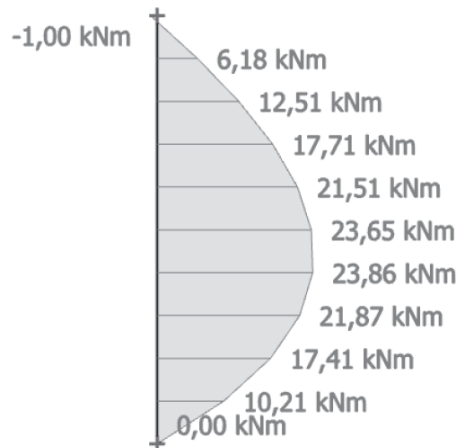
Obr. 21 Působící zatížení



Obr. 22 Statické schéma stěny



Obr. 23 Průběh posouvající síly



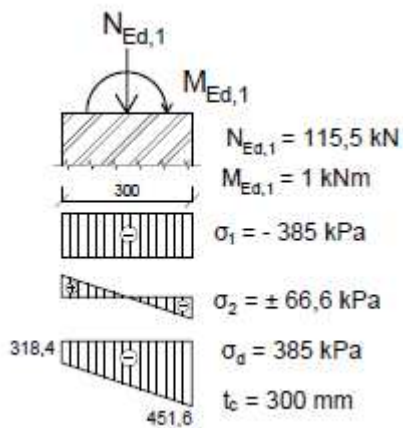
Obr. 24 Průběh ohybového momentu

Pro výpočet charakteristické pevnosti ve smyku uvažují hodnotu počáteční smykové pevnosti sníženou o 50% z důvodu nevyplnění styčných spár maltou.

$f_{v,k,0} = 0,3$  MPa (počáteční smyková pevnost pro pálené zdící prvky na obyčejnou maltu o pevnosti v tlaku 10 MPa)

$$W = \frac{1}{6}bt^2 = \frac{1}{6} * 1 * 0,3^2 = 0,015 \text{ m}^2$$

### Hlava stěny



Obr. 25 Napětí na šířce průřezu

$$N_{Ed,1} = 115,5 \text{ kN}$$

$$\sigma_1 = -\frac{N_{Ed,1}}{A} = -\frac{115,5}{1 * 0,3} = -385 \text{ kPa}$$

$$\sigma_2 = \pm \frac{M_{Ed,m}}{W} = \frac{1}{0,015} = \pm 66,6 \text{ kPa}$$

$$f_{v,k} = 0,5f_{v,k,0} + 0,4\sigma_d = 0,5 * 0,3 + 0,4 * 0,385 = 0,3 \text{ MPa}$$

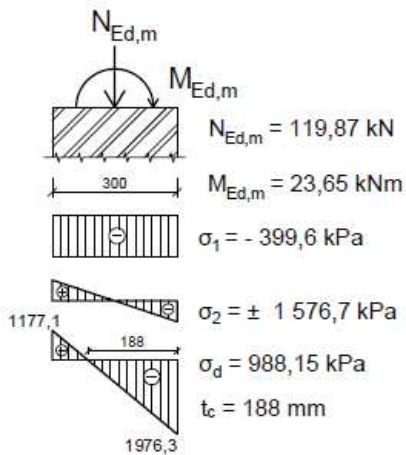
$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,3}{2,0} = 0,15 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,1} = f_{vd} * b * t_c = 0,15 * 1000 * 300 = 45 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,1} \geq V_{Ed,1}$$

$$45 \geq 27,36[\text{kN}] \dots \text{Vyhovuje}$$

½ výšky



Obr. 26 Napětí na šířce průřezu

$$N_{Ed,m} = 115,5 + 3,18 * 2,75 * 0,5 * 1 * 1 = 119,87 \text{ kN}$$

$$\sigma_1 = -\frac{N_{Ed,m}}{A} = -\frac{119,87}{1 * 0,3} = -399,6 \text{ kPa}$$

$$\sigma_2 = \pm \frac{M_{Ed,m}}{W} = \frac{23,65}{0,015} = \pm 1576,7 \text{ kPa}$$

$$f_{v,k} = 0,5f_{v,k,0} + 0,4\sigma_d = 0,5 * 0,3 + 0,4 * 0,988 = 0,54 \text{ MPa}$$

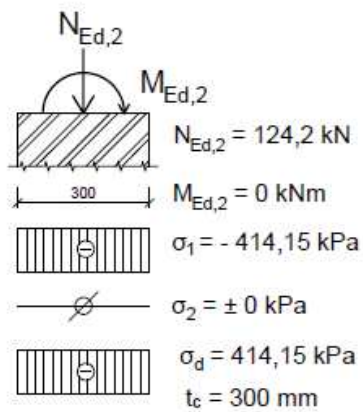
$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,54}{2,0} = 0,27 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,m} = f_{vd} * b * t_c = 0,27 * 1000 * 188 = 50,76 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,m} \geq V_{Ed,m}$$

**50,76 ≥ 4,43[kN] ... Vyhovuje**

## Pata stěny



Obr. 27 Napětí na šířce průřezu

$$N_{Ed,2} = 115,5 + 3,18 * 2,75 * 1 * 1 = 124,2 \text{ kN}$$

$$\sigma_1 = -\frac{N_{Ed,2}}{A} = -\frac{124,2}{1 * 0,3} = -414,15 \text{ kPa}$$

$$\sigma_2 = \pm \frac{M_{Ed,2}}{W} = \frac{0}{0,015} = 0 \text{ kPa}$$

$$f_{v,k} = 0,5f_{v,k,0} + 0,4\sigma_d = 0,5 * 0,3 + 0,4 * 0,414 = 0,32 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,32}{2,0} = 0,16 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,m} = f_{vd} * b * t_c = 0,16 * 1000 * 300 = 48 \text{ kN}$$

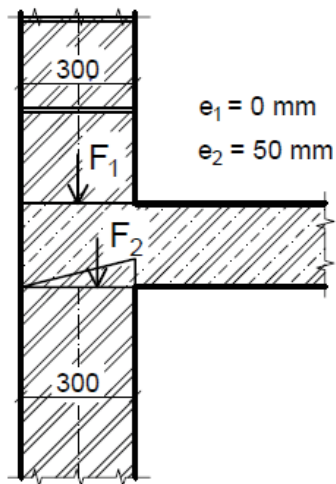
$$V_{Rd,2} \geq V_{Ed,2}$$

$$48 > 42,9[\text{kN}] \dots \text{Vyhovuje}$$

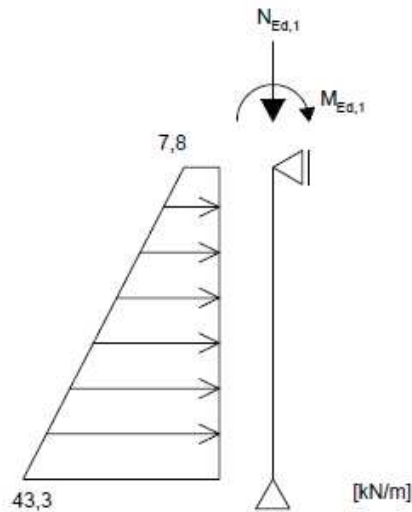


## 8. Keramické tvárnice na maltu pro tenké spáry

Další variantou je stěna navržená z keramických vylehčených tvárnic Porotherm 30 P10 P+D na maltu pro tenké spáry. Statické schéma volím zjednodušeně jako prostý nosník o délce 2,75 m.



Obr. 28 excentricita zatížení



Obr. 29 Statické schéma stěny

### Materiálové charakteristiky:

$$f_k = 3,88 \text{ MPa}$$

$$\gamma_M = 2,0 \text{ (pro jiné než pórobetonové prvky kategorie 1)}$$

$$f_d = f_k / \gamma_M = 3,88 / 2,0 = 1,94 \text{ MPa}$$

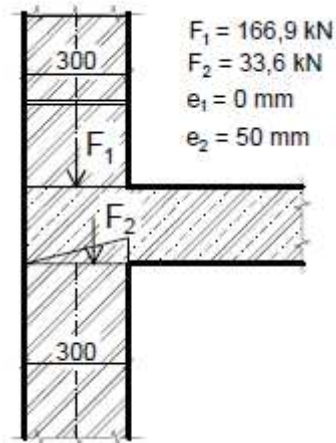
$$m' = 300 \text{ kg/m}^2 = 3 \text{ kN/m}^2 \text{ (hmotnost zdiva včetně omítek)}$$

$$K_E = 1000$$

$$\rho_n = 0,75$$

$$h_{ef} = \rho_n * h = 0,75 * 2,75 = 2,06 \text{ m}$$

## 8.1 Posouzení stěny v tlaku



Obr. 30 Působící zatížení

### Hlava stěny

$$N_{Ed,1} = 200,5 \text{ kN}$$

$$e_{if} = \frac{F_1 * e_1 + F_2 * e_2}{F_1 + F_2} = \frac{166,9 * 0 + 33,6 * 0,05}{166,9 + 33,6} = 8,38 \text{ mm}$$

$$e_{ia} = \frac{h_{ef}}{450} = \frac{2,06}{450} = 4,58 \text{ mm}$$

$$e_i = e_{if} + e_{ia} = 8,38 + 4,58 = \mathbf{12,96 \text{ mm}} \not\geq 0,05t = 0,05 * 300 = \mathbf{15 \text{ mm}}$$

$$\Phi_i = 1 - \frac{2e_i}{t} = 1 - \frac{2 * 15}{300} = \mathbf{0,9}$$

$$N_{Rd,1} = \Phi_i * A * f_d = 0,9 * 300\,000 * 1,94 = \mathbf{523,8 \text{ kN}}$$

$$N_{Rd,1} \geq N_{Ed,1}$$

$$\mathbf{523,8 \geq 200,5 \text{ [kN]} \dots \text{Vyhovuje}}$$

### ½ výšky stěny

$$N_{Ed,m} = 200,5 + 3 * 2,75 * 0,5 * 1,35 = 206,1 \text{ kN}$$

$$\frac{e_{mk}}{t} = \frac{0,5 * e_{if} + e_{ia}}{t} = \frac{0,5 * 8,38 + 4,58}{300} = \mathbf{0,03 \leq 0,05}$$

$$\Phi_m = 0,88$$

$$N_{Rd,m} = \Phi_m * A * f_d = 0,88 * 300\,000 * 1,94 = \mathbf{512,16 \text{ kN}}$$

$$N_{Rd,m} \geq N_{Ed,m}$$

$$\mathbf{512,16 \geq 206,1 \text{ [kN]} \dots \text{Vyhovuje}}$$

### Pata stěny

$$N_{Ed,2} = 200,5 + 3 * 2,75 * 1,35 = 211,6 \text{ kN}$$

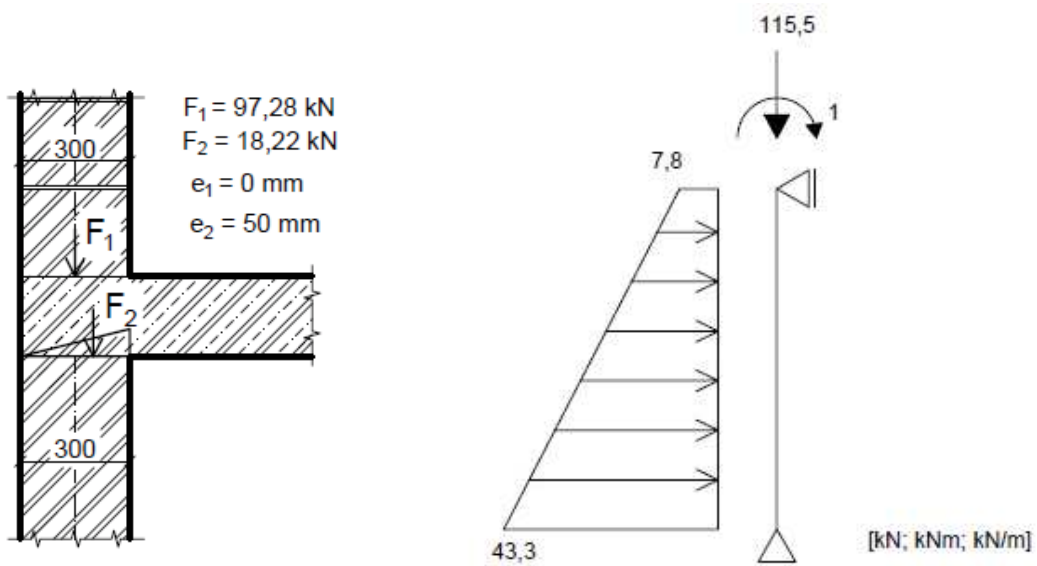
$$\Phi_i = 1 - \frac{2e_i}{t} = 1 - \frac{2 * 15}{300} = 0,9$$

$$N_{Rd,2} = \Phi_i * A * f_d = 0,9 * 300\,000 * 1,94 = 523,8 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,2} \geq N_{Ed,2}$$

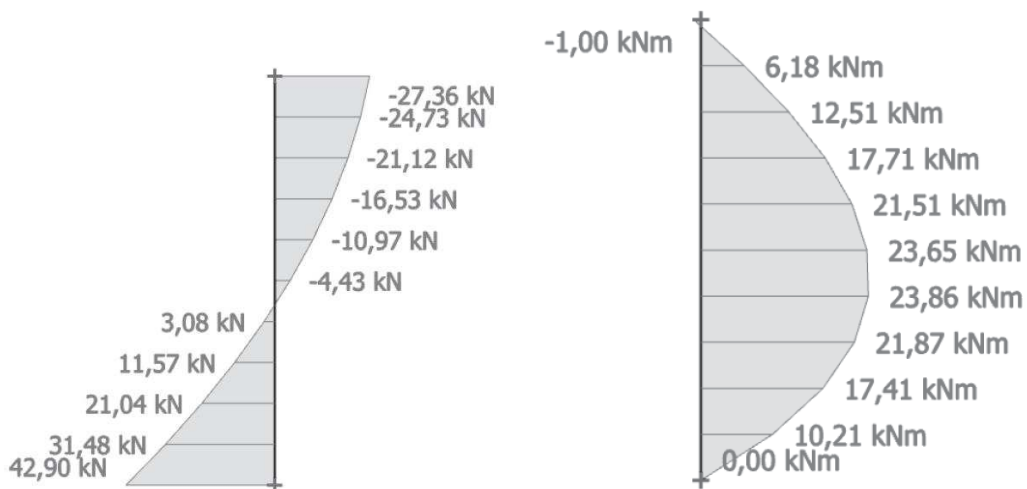
**523,8 ≥ 212,3 [kN] ... Vyhovuje**

## 8.2 Posouzení stěny ve smyku



Obr. 31 Působící zatížení

Obr. 32 Statické schéma stěny



Obr. 33 Průběh posouvající síly

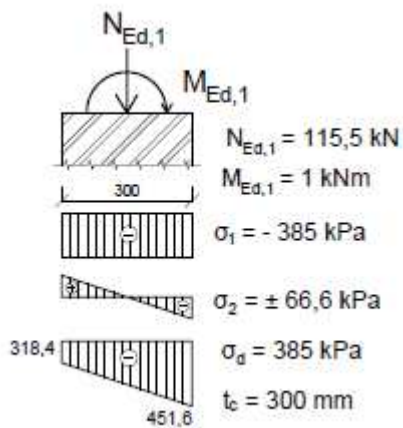
Obr. 34 Průběh ohybového momentu

Pro výpočet charakteristické pevnosti ve smyku uvažují hodnotu počáteční smykové pevnosti sníženou o 50% z důvodu nevyplnění styčných spár maltou.

$f_{v,k,0} = 0,3$  MPa (počáteční smyková pevnost pro pálené zdící prvky na maltu pro tenké spáry)

$$W = \frac{1}{6}bt^2 = \frac{1}{6} * 1 * 0,3^2 = 0,015 \text{ m}^2$$

### Hlava stěny



Obr. 35 Napětí na šířce průřezu

$$N_{Ed,1} = 115,5 \text{ kN}$$

$$\sigma_1 = -\frac{N_{Ed,1}}{A} = \frac{115,5}{1 * 0,3} = -385 \text{ kPa}$$

$$\sigma_2 = \pm \frac{M_{Ed,m}}{W} = \frac{1,68}{0,015} = \pm 66,6 \text{ kPa}$$

$$f_{v,k} = 0,5f_{v,k,0} + 0,4\sigma_d = 0,5 * 0,3 + 0,4 * 0,385 = 0,3 \text{ MPa}$$

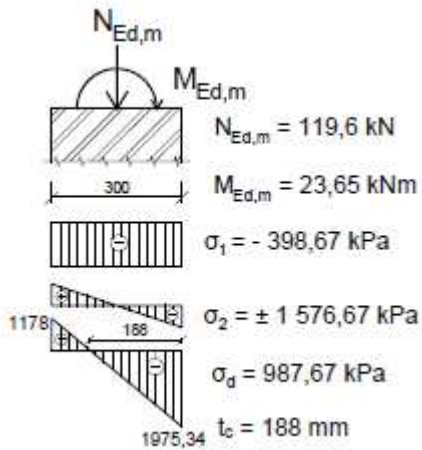
$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,3}{2,0} = 0,15 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,1} = f_{vd} * b * t_c = 0,15 * 1000 * 300 = 45 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,1} \geq V_{Ed,1}$$

$$45 \geq 27,36[\text{kN}] \dots \text{Vyhovuje}$$

½ výšky



Obr. 36 Napětí na šířce průřezu

$$N_{Ed,m} = 115,5 + 3 * 2,75 * 0,5 * 1 * 1 = 119,6 \text{ kN}$$

$$\sigma_1 = -\frac{N_{Ed,m}}{A} = \frac{119,6}{1 * 0,3} = -398,67 \text{ kPa}$$

$$\sigma_2 = \pm \frac{M_{Ed,m}}{W} = \frac{23,65}{0,015} = \pm 1576,67 \text{ kPa}$$

$$f_{v,k} = 0,5f_{v,k,0} + 0,4\sigma_d = 0,5 * 0,3 + 0,4 * 0,987 = 0,55 \text{ MPa}$$

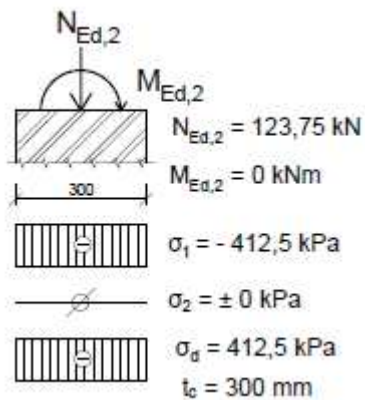
$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,55}{2,0} = 0,27 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,m} = f_{v,d} * b * t_c = 0,27 * 1000 * 188 = 50,76 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,m} \geq V_{Ed,m}$$

**50,76 ≥ 4,43[kN] ... Vyhovuje**

## Pata stěny



Obr. 37 Napětí na šířce průřezu

$$N_{Ed,m} = 115,5 + 3 * 2,75 * 1 * 1 = 123,75 \text{ kN}$$

$$\sigma_1 = -\frac{N_{Ed,2}}{A} = \frac{123,75}{1 * 0,3} = -412,5 \text{ kPa}$$

$$\sigma_2 = \pm \frac{M_{Ed,2}}{W} = \frac{0}{0,015} = 0 \text{ kPa}$$

$$f_{v,k} = 0,5f_{v,k,0} + 0,4\sigma_d = 0,5 * 0,3 + 0,4 * 0,4125 = 0,315 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,315}{2,0} = 0,16 \text{ MPa}$$

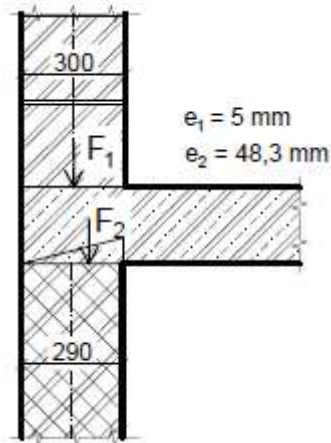
$$V_{Rd,m} = f_{vd} * b * t_c = 0,16 * 1000 * 300 = \mathbf{48 \text{ kN}}$$

$$V_{Rd,2} \geq V_{Ed,2}$$

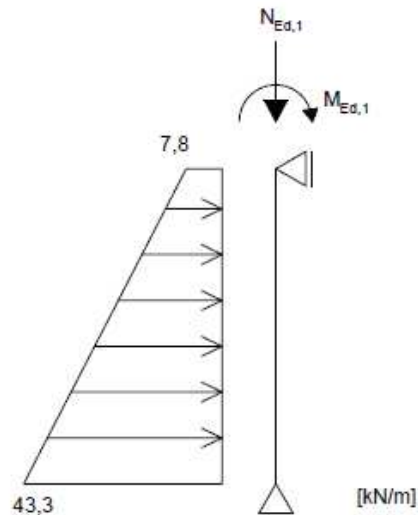
$$\mathbf{48 \geq 42,9[kN] \dots Vyhovuje}$$

## 9. Cihly plné na obyčejnou maltu

Suterénní stěna je navržena z pálených plných cihel klasického formátu (rozměry 290x140x65 mm) o pevnosti v tlaku 15 MPa na maltu cementovou o charakteristické pevnosti v tlaku 5 MPa. Objemovou hmotnost zdiva uvažují 1900 kg/m<sup>3</sup>.



Obr. 38 excentricita zatížení



Obr. 39 Statické schéma stěny

### Charakteristiky zdiva:

$$K_E = 1000$$

$$\rho_n = 0,75$$

$$h_{ef} = \rho_n * h = 0,75 * 2,75 = 2,06 \text{ m}$$

### **Výpočet pevnosti zdiva**

$$f_u = 15 \text{ MPa}$$

$$f_m = 5 \text{ MPa}$$

$$\delta = 0,77 \text{ (součinitel tvaru zdícího prvku)}$$

$$f_b = \delta * f_u = 0,77 * 15 = 11,55 \text{ MPa}$$

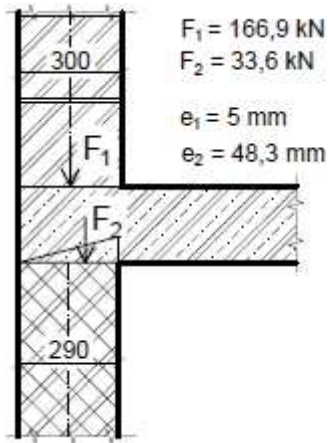
$$\text{Součinitelé pro zdící prvky na obyčejnou maltu: } \alpha = 0,7 \quad \beta = 0,3$$

$$f_k = K * f_b^{\alpha} * f_m^{\beta} = 0,55 * 11,55^{0,7} * 5^{0,3} = 4,94 \text{ MPa}$$

$$\gamma_M = 2 \text{ (jiné než pórobetonové prvky kategorie I na návrhovou maltu)}$$

$$f_d = f_k / \gamma_M = 4,94 / 2 = 2,47 \text{ MPa}$$

## 9.1 Posouzení stěny v tlaku



Obr. 40 Působící zatížení

### Hlava stěny

$$N_{Ed,1} = 200,5 \text{ kN}$$

$$e_{if} = \frac{F_1 * e_1 + F_2 * e_2}{F_1 + F_2} = \frac{166,9 * 0,005 + 33,6 * 0,0483}{166,9 + 33,6} = 12 \text{ mm}$$

$$e_{ia} = \frac{h_{ef}}{450} = \frac{2,06}{450} = 4,58 \text{ mm}$$

$$e_i = e_{if} + e_{ia} = 12 + 4,58 = \underline{\underline{16,6 \text{ mm}}} \geq 0,05t = 0,05 * 300 = \underline{\underline{15 \text{ mm}}}$$

$$\Phi_i = 1 - \frac{2e_i}{t} = 1 - \frac{2 * 16,6}{290} = 0,88$$

$$N_{Rd,1} = \Phi_i * A * f_d = 0,88 * 290\,000 * 2,47 = \underline{\underline{630,3 \text{ kN}}}$$

$$N_{Rd,1} \geq N_{Ed,1}$$

$$\underline{\underline{630,3 \geq 200,5 \text{ [kN]} \dots \text{Vyhovuje}}}$$

### ½ výšky stěny

$$N_{Ed,m} = 200,5 + 19 * 0,29 * 2,75 * 0,5 * 1,35 = 210,73 \text{ kN}$$

$$\frac{e_{mk}}{t} = \frac{0,5 * e_{if} + e_{ia}}{t} = \frac{0,5 * 12 + 4,58}{290} = \underline{\underline{0,057}} \geq 0,05$$

$$\Phi_m = 0,88$$

$$N_{Rd,m} = \Phi_i * A * f_d = 0,88 * 290\,000 * 2,47 = \underline{\underline{630,3 \text{ kN}}}$$

$$N_{Rd,m} \geq N_{Ed,m}$$

$$\underline{\underline{630,3 \geq 210,73 \text{ [kN]} \dots \text{Vyhovuje}}}$$



### **Pata stěny**

$$N_{Ed,2} = 200,5 + 19 * 0,29 * 2,75 * 1,35 = 221 \text{ kN}$$

$$e_{if} = \frac{F_1 * e_1 + F_2 * e_2}{F_1 + F_2} = \frac{166,9 * 0,005 + 33,6 * 0,0483 + 20,5 * 0}{166,9 + 33,6 + 20,5} = 11 \text{ mm}$$

$$e_{ia} = \frac{h_{ef}}{450} = \frac{2,06}{450} = 4,58 \text{ mm}$$

$$e_i = e_{if} + e_{ia} = 11 + 4,58 = \underline{\underline{15,6 \text{ mm}}} \geq 0,05t = 0,05 * 300 = \mathbf{15 \text{ mm}}$$

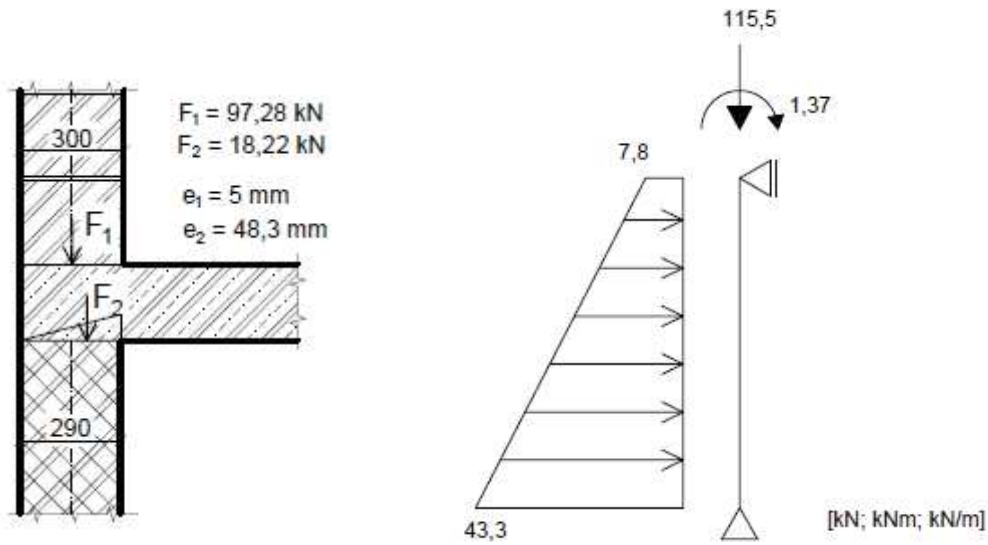
$$\Phi_i = 1 - \frac{2e_i}{t} = 1 - \frac{2 * 15,6}{290} = 0,89$$

$$N_{Rd,2} = \Phi_i * A * f_d = 0,89 * 290\,000 * 2,47 = \mathbf{637,5 \text{ kN}}$$

$$N_{Rd,2} \geq N_{Ed,2}$$

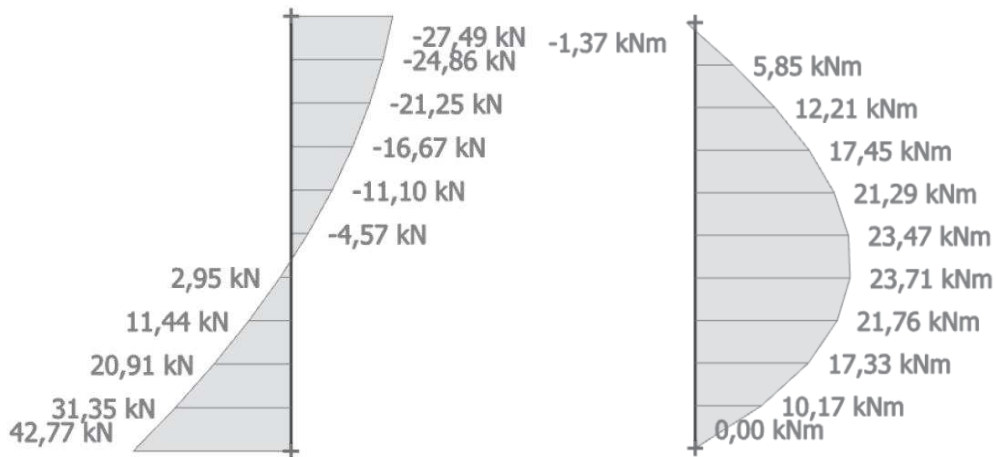
**637,5 ≥ 221 [kN] ... Vyhovuje**

## 9.2 Posouzení stěny ve smyku



Obr. 41 Působící zatížení

Obr. 42 Statické schéma stěny



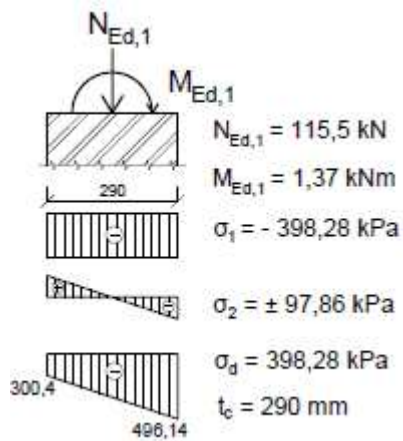
Obr. 43 Průběh posouvající síly

Obr. 44 Průběh ohybového momentu

$f_{v,k,0} = 0,2 \text{ MPa}$  (počáteční smyková pevnost pro pálené zdící prvky na obyčejnou maltu o charakteristické pevnosti v tlaku 5 MPa)

$$W = \frac{1}{6}bt^2 = \frac{1}{6} * 1 * 0,29^2 = 0,014 \text{ m}^2$$

## Hlava stěny



Obr. 45 Průběh napětí na šířce průřezu

$$N_{Ed,1} = 115,5 \text{ kN}$$

$$\sigma_1 = -\frac{N_{Ed}}{A} = \frac{115,5}{1 * 0,29} = -398,28 \text{ kPa}$$

$$\sigma_2 = \pm \frac{M_{Ed}}{W} = \frac{1,37}{0,014} = \pm 97,86 \text{ kPa}$$

$$f_{v,k} = f_{v,k,0} + 0,4\sigma_d = 0,2 + 0,4 * 0,398 = 0,36 \text{ MPa}$$

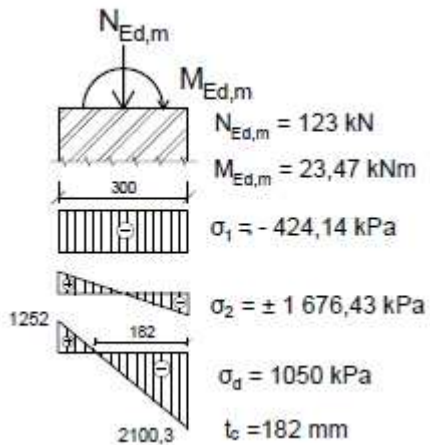
$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,36}{2} = 0,18 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,1} = f_{vd} * b * t_c = 0,18 * 1000 * 290 = 52,2 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,1} \geq V_{Ed,1}$$

$$52,2 \geq 27,49[\text{kN}] \dots \text{Vyhovuje}$$

### ½ výšky stěny



Obr. 46 Průběh napětí na šířce průřezu

$$N_{Ed,m} = 115,5 + 19 + 0,29 * 2,75 * 0,5 * 1 * 1 = 123 \text{ kN}$$

$$\sigma_1 = -\frac{N_{Ed}}{A} = \frac{123}{1 * 0,29} = -424,14 \text{ kPa}$$

$$\sigma_2 = \pm \frac{M_{Ed}}{W} = \frac{22,92}{0,014} = \pm 1676,43 \text{ kPa}$$

$$f_{v,k} = f_{v,k,0} + 0,4\sigma_d = 0,2 + 0,4 * 1,05 = 0,61 \text{ MPa}$$

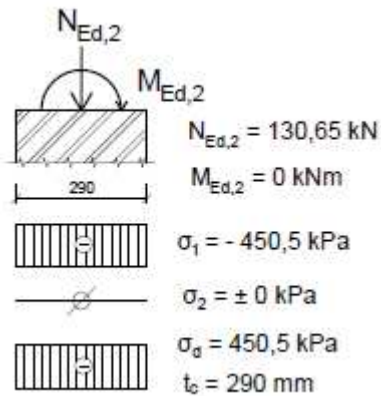
$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,61}{2} = 0,305 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,m} = f_{vd} * b * t_c = 0,305 * 1000 * 182 = 55,5 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,m} \geq V_{Ed,m}$$

$$55,5 \geq 4,57[\text{kN}] \dots \text{Vyhovuje}$$

## Pata stěny



Obr. 47 Průběh napětí na šířce průřezu

$$N_{Ed,2} = 115,5 + 19 \cdot 0,29 \cdot 2,75 \cdot 1 \cdot 1 = 130,65 \text{ kN}$$

$$\sigma_1 = -\frac{N_{Ed}}{A} = \frac{130,65}{1 \cdot 0,29} = -450,5 \text{ kPa}$$

$$\sigma_2 = \pm \frac{M_{Ed}}{W} = \frac{0}{0,015} = 0 \text{ kPa}$$

$$f_{v,k} = f_{v,k,0} + 0,4\sigma_d = 0,2 + 0,4 \cdot 0,45 = 0,38 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,38}{2} = 0,19 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,m} = f_{v,d} \cdot b \cdot t_c = 0,19 \cdot 1000 \cdot 290 = 57 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,2} \geq V_{Ed,2}$$

$$57 \geq 42,77 [\text{kN}] \dots \text{Vyhovuje}$$

## 10. Bílá vana

Monolitická železobetonová stěna navržená z vodonepropustného betonu. Z důvodu požadavků na vodonepropustnost konstrukce je nutné, kromě mezního stavu únosnosti, posoudit i mezní stav vzniku trhlin.

Zatřídění konstrukce:

Třída požadavků: A2 (lehce vlhké prostory)

Tlak vodního sloupce: W0 (0 – 1,0 m)

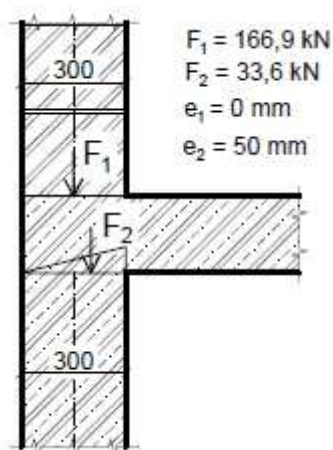
Konstrukční třída: Kon<sub>2</sub>

Po zatřídění konstrukční třídy dostáváme požadavky pro konstrukci:

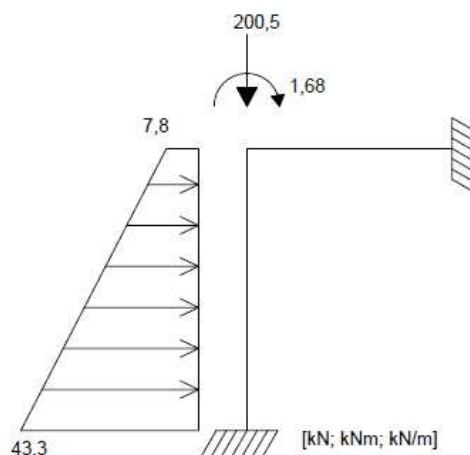
Minimální tloušťka konstrukce: 300 mm

Omezení šířky trhlin: 0,2 mm

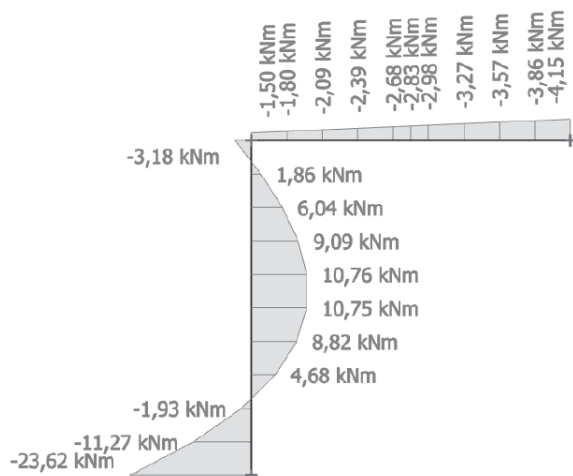
Normalizovaný beton: BS2



Obr. 48 Excentricita zatížení pro MSÚ



Obr. 49 Statické schéma suterénní stěny pro MSÚ



Obr. 50 Průběh ohybového momentu na suterénní stěně

## 10.1 Návrh výztuže bílé vany

BETON: C25/30  $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$   $f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c = 25/1,5 = 16,67 \text{ MPa}$

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

$E_c = 31\,000 \text{ MPa}$

OCEL: B500B  $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$   $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 500/1,15 = 435 \text{ MPa}$

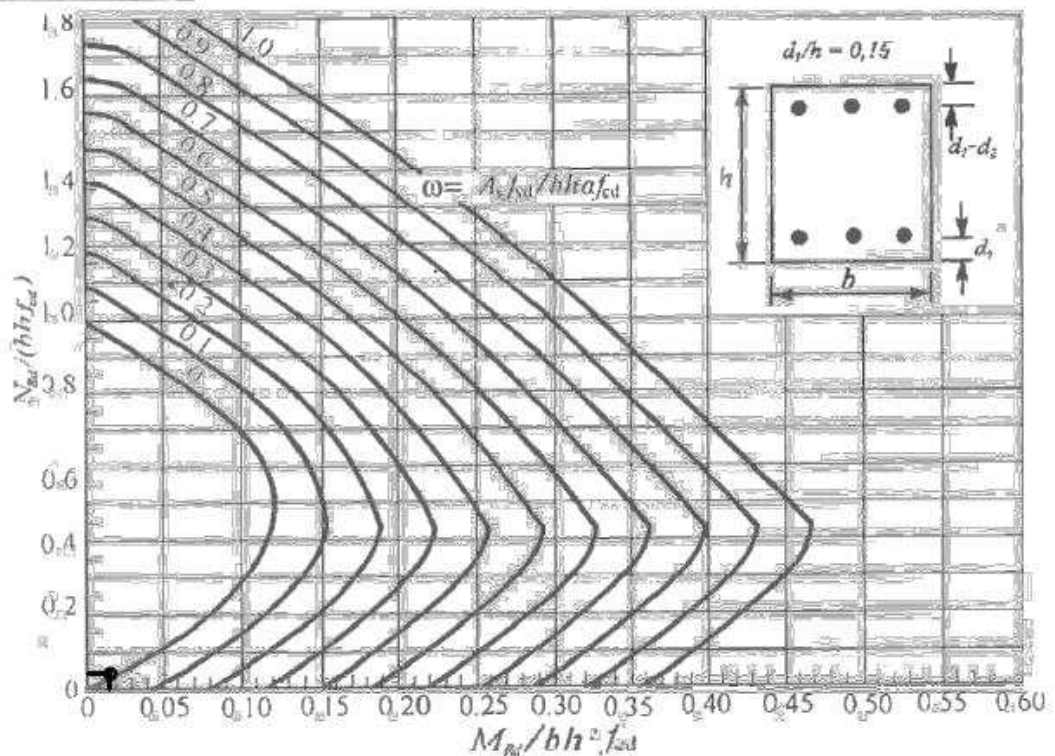
$E_s = 210\,000 \text{ MPa}$

Potřebnou plochu výztuže zjistím pomocí nomogramů. Šířku průřezu uvažuji 1000 mm.

$$v = \frac{N_{Ed}}{b \cdot t \cdot f_{cd}} = \frac{200,5 \cdot 10^3}{1000 \cdot 300 \cdot 16,67} = \mathbf{0,04}$$

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b \cdot t^2 \cdot f_{cd}} = \frac{23,62 \cdot 10^6}{1000 \cdot 300^2 \cdot 16,67} = \mathbf{0,016}$$

**Nomogram 12.3**



Obr. 51 Nomogram pro návrh výztuže

Z nomogramu jsem zjistil, že potřebná plocha výztuže je rovna nule. Pro suterénní stěnu tedy stačí navrhnout pouze konstrukční výztuž.

**Svislá výztuž** NÁVRH 2x  $\varnothing 10$  á 250 mm;  $A_{s,prov,1} = 628 \text{ mm}^2$

**Vodorovná výztuž** NÁVRH 2x  $\varnothing 8$  á 400 mm;  $A_{s,prov,2} = 251 \text{ mm}^2$

## 10.2 Posouzení konstrukčních zásad

### Svislá výztuž

Minimální plocha výztuže:

$$A_{s,prov,1} \geq 0,002A_c = 0,002*1000*300 = 600 \text{ mm}^2$$

**628 ≥ 600 [mm<sup>2</sup>] ... Vyhovuje**

Maximální plocha výztuže:

$$A_{s,prov,1} \leq 0,04A_c = 0,04*1000*300 = 12\,000 \text{ mm}^2$$

**628 ≤ 12 000 [mm<sup>2</sup>] ... Vyhovuje**

Maximální osová vzdálenost výztuže:

$$s \leq \text{MIN} (3t; 400 \text{ mm}) = \text{MIN} (3*300; 400 \text{ mm}) = 400 \text{ mm}$$

**250 ≤ 400 [mm] ... Vyhovuje**

Minimální světlá vzdálenost výztuže:

$$\begin{aligned} s_{\min} &\geq \text{MAX} (1,2\varnothing_{s,\max}; D_{\max} + 5; 20 \text{ mm}) = \text{MAX} (1,2*10; 16+5; 20 \text{ mm}) = \\ &= \text{MAX} (12; 21; 20 \text{ mm}) = 21 \text{ mm} \end{aligned}$$

**240 ≥ 21 [mm] ... Vyhovuje**

### Vodorovná výztuž

Minimální plocha výztuže:

$$\begin{aligned} A_{s,prov,2} &\geq \text{MAX} (0,25A_{s,prov,1}; 0,001A_c) = \text{MAX} (0,25*628; 0,001*1000*300) = \\ &= \text{MAX} (157; 300) = 300 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

**251 ≥ 200 [mm<sup>2</sup>] ... Vyhovuje**

Osová vzdálenost výztuže:

$$s \leq 400 \text{ mm}$$

**400 = 400 [mm] ... Vyhovuje**



## 10.3 Posouzení výztuže stěny pro MSÚ

**Stanovení krytí výztuže:**

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

$$c_{min,b} = 10 \text{ mm}$$

$$c_{min,dur} = 25 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,\gamma} = \Delta c_{dur,st} = \Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \text{MAX}(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} + \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}) = \\ = \text{MAX}(10; 25 + 0 + 0 + 0; 10 \text{ mm}) = 25 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 25 + 10 = \mathbf{35 \text{ mm}}$$

**Základní hodnoty pro výpočet:**

Šířka průřezu:  $b = 1000 \text{ mm}$

Výška průřezu:  $h = 300 \text{ mm}$

Krycí vrstva:  $c = 35 \text{ mm}$

Průměr vodorovné výztuže:  $\varnothing_{vod} = 8 \text{ mm}$

Průměr svislé výztuže:  $\varnothing_{sv} = 10 \text{ mm}$

Průřezové a materiálové charakteristiky:

Plocha výztuže:  $A_{s1} = A_{s2} = 314 \text{ mm}^2$

Návrhová pevnost betonu:  $f_{cd} = 16,67 \text{ MPa}$

Plocha posuzovaného průřezu:  $A_c = 300\,000 \text{ mm}^2$

Návrhová mez kluzu oceli:  $f_{yd} = 435 \text{ MPa}$

Modul pružnosti oceli:  $E_s = 210\,000 \text{ MPa}$

Účinná výška průřezu:

$$d = h - c - \varnothing_{vod} - \frac{\varnothing_{sv}}{2} = 300 - 35 - 8 - \frac{10}{2} = \mathbf{252 \text{ mm}}$$

Ramena vnitřních sil:

$$z_{s1} = z_{s2} = 0,5 * (h - 2c - 2\varnothing_{vod} - \varnothing_{sv}) = 0,5 * (300 - 2 * 35 - 2 * 8 - 10) = \\ = \mathbf{102 \text{ mm}}$$

$$d_1 = d_2 = \frac{h}{2} - z_{s1} = \frac{300}{2} - 102 = \mathbf{48 \text{ mm}}$$

### 10.3.1 Výpočet bodů interakčního diagramu

#### BOD 0 – Dostředný tlak

$$\begin{aligned} N_{Rd,0} &= b * h * f_{cd} + A_{s1} * \sigma_s + A_{s2} * \sigma_s \\ &= 1000 * 300 * 16,67 + 314 * 400 + 314 * 400 = \mathbf{5\ 252,2\ kN} \end{aligned}$$

$$M_{Rd,0} = (A_{s1} * z_{s1} - A_{s2} * z_{s2}) * \sigma_s = \mathbf{0\ kNm}$$

#### BOD 1 – Nulové přetvoření tažené výztuže

$$\begin{aligned} N_{Rd,1} &= 0,8 * b * d * f_{cd} + A_{s2} * f_{yd} = 0,8 * 1000 * 252 * 16,67 + 314 * 435 = \\ &= \mathbf{3\ 497,3\ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd,1} &= 0,8 * b * d * f_{cd} * \left(\frac{h}{2} - 0,4d\right) + A_{s2} * z_{s2} * f_{yd} = \\ &= 0,8 * 1000 * 252 * 16,67 * \left(\frac{300}{2} - 0,4 * 252\right) + 314 * 102 * 435 = \\ &= \mathbf{179,3\ kNm} \end{aligned}$$

#### BOD 2 – Napětí v tažené výztuži je na mezi kluzu ( $\sigma_{s1} = f_{yd}$ )

$$\xi_{bal,1} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 435} = 0,617$$

$$x_{bal,1} = \xi_{bal,1} * d = 0,617 * 252 = 155,5\ mm$$

$$\begin{aligned} \frac{\varepsilon_{cd}}{x_{bal,1}} &= \frac{\varepsilon_{s2}}{x_{bal,1} - d_2} \rightarrow \varepsilon_{s2} = \varepsilon_{cd} * \left(1 - \frac{d_2}{x_{bal,1}}\right) = 0,0035 * \left(1 - \frac{48}{155,5}\right) = \\ &= \mathbf{2,42 * 10^{-3}} \end{aligned}$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435}{210\ 000} = \mathbf{2,175 * 10^{-3}}$$

Protože  $\varepsilon_{yd} < \varepsilon_{s2}$ , použijí vztah  $\sigma_{s2} = f_{yd} = 435\ \text{MPa}$

$$\begin{aligned} N_{Rd,2} &= 0,8 * b * x_{bal,1} * f_{cd} + A_{s2} * f_{yd} - A_{s1} * f_{yd} = \\ &= 0,8 * 1000 * 155,5 * 16,67 + 314 * 435 - 314 * 435 \\ &= \mathbf{2\ 073,7\ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd,2} &= 0,8 * b * x_{bal,1} * f_{cd} * \left(\frac{h}{2} - 0,4x_{bal,1}\right) + A_{s2} * z_{s2} * f_{yd} + A_{s1} * z_{s1} * f_{yd} = \\ &= 0,8 * 1000 * 155,5 * 16,67 * \left(\frac{300}{2} - 0,4 * 155,5\right) + 314 * 102 \\ &\quad * 435 + 314 * 102 * 435 = \mathbf{209,9\ kNm} \end{aligned}$$

### BOD 3 – Prostý ohyb (se zanedbáním tlakové výztuže)

$$N_{Rd,3} = 0 \text{ kN}$$

$$x = \frac{A_{s1} * f_{yd}}{0,8 * b * f_{cd}} = \frac{314 * 435}{0,8 * 1000 * 16,67} = 10,2 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd,3} &= 0,8 * b * x * f_{cd} * \left(\frac{h}{2} - 0,4x\right) + A_{s1} * z_{s1} * f_{yd} = \\ &= 0,8 * 1000 * 10,2 * 16,67 * \left(\frac{300}{2} - 0,4 * 10,2\right) + 314 * 102 * 435 \\ &= 33,78 \text{ kNm} \end{aligned}$$

### BOD 4 – Nulové přetvoření tlačené výztuže ( $\epsilon_{s2} = 0$ )

$$N_{Rd,4} = A_{s1} * f_{yd} = 314 * 435 = 136,6 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,4} = A_{s1} * f_{yd} * z_{s1} = 314 * 435 * 102 = 13,9 \text{ kNm}$$

### BOD 5 – Prostý tah

$$N_{Rd,5} = (A_{s1} + A_{s2}) * f_{yd} = (314 + 314) * 435 = 273,2 \text{ kN}$$

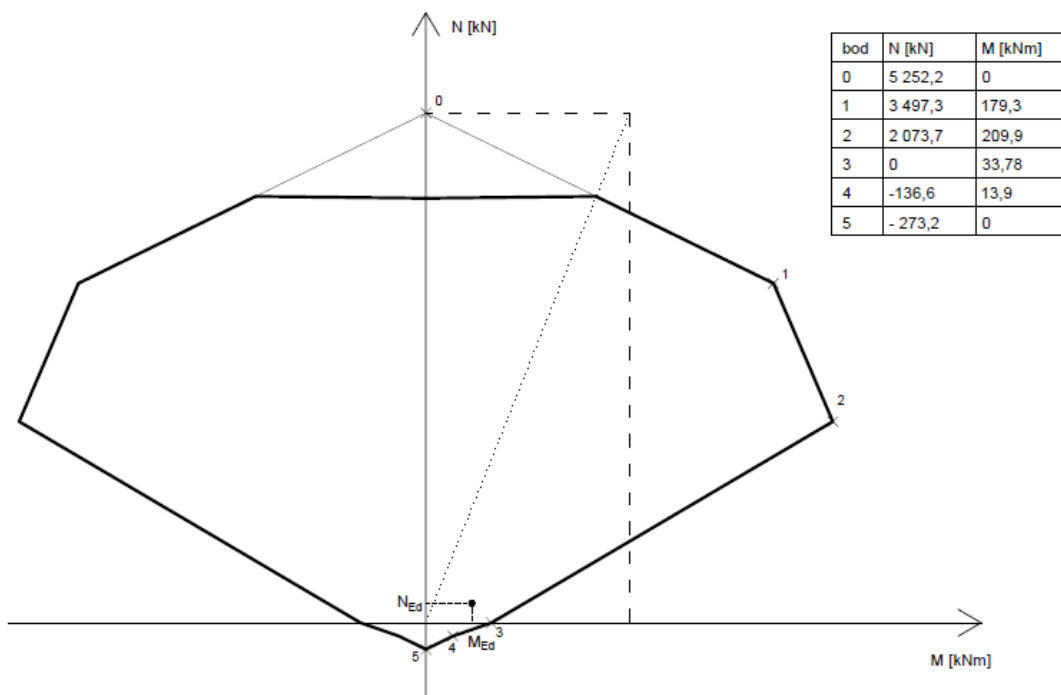
$$M_{Rd,5} = 0 \text{ kNm}$$

### Omezení tlakové únosnosti

$$e_o = \text{MAX}\left(\frac{h}{30}; 20 \text{ mm}\right) = \text{MAX}\left(\frac{300}{30}; 20 \text{ mm}\right) = \text{MAX}(10; 20 \text{ mm}) = 20 \text{ mm}$$

Minimální ohybový moment:

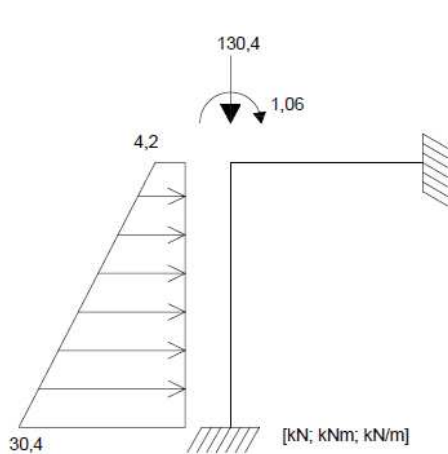
$$M_o = N_{Rd,0} * e_o = 5\,252,2 * 0,02 = 105 \text{ kNm}$$



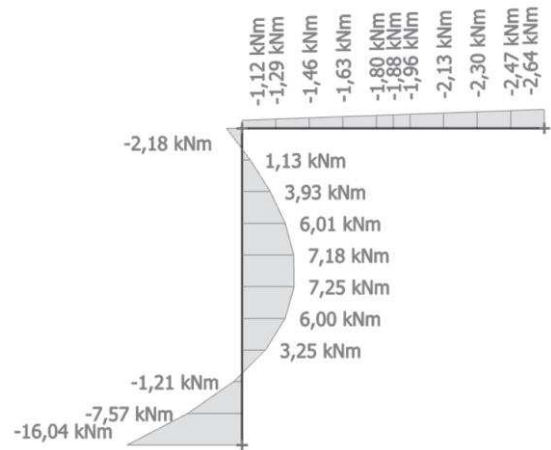
Obr. 52 Interakční diagram

## 10.4 Posouzení výztuže stěny pro MSP

Pro posouzení krátkodobých i dlouhodobých účinků zatížení bude použita stálá kombinace zatížení. Do výpočtu budou uvažovány charakteristické hodnoty stálého zatížení a hodnoty proměnných zatížení budou uvažovány zmenšené o redukční součinitel  $\psi_2$  s hodnotou 0,5.



Obr. 53 Statické schéma suterénní stěny při stálé kombinaci zatížení



Obr. 54 Průběh ohybového momentu na suterénní stěně při stálé kombinaci zatížení

### Krátkodobé účinky zatížení

#### Ideální průřez bez trhlin

$$\alpha_E = \frac{E_s}{E_c} = \frac{210\,000}{31\,000} = 6,77$$

Výška tlačené oblasti ideálního průřezu:

$$\frac{1}{2} b x_{i,I,ST}^2 = \frac{1}{2} b (h - x_{i,I,ST})^2 + \alpha_E A_s (d - x_{i,I,ST})$$

$$\frac{1}{2} * 1000 * x_{i,I,ST}^2 = \frac{1}{2} * 1000 * (300 - x_{i,I,ST})^2 + 6,77 * 314 * (252 - x_{i,I,ST})$$

$$x_{i,I,ST} = 150,7 \text{ mm}$$

$$a_{i,I,ST} = x_{i,I,ST} - \frac{h}{2} = 150,7 - \frac{300}{2} = 0,7 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti průřezu:

$$\begin{aligned} I_i &= \frac{1}{12}bh^3 + bha_{i,I,ST}^2 + \alpha_E A_s (d - x_{i,I,ST})^2 = \\ &= \frac{1}{12} * 1000 * 300^3 + 1000 * 300 * 0,7^2 + \\ &\quad + 6,77 * 314 * (252 - 150,7)^2 = \mathbf{2,27 * 10^9 mm^4} \end{aligned}$$

Ohybový moment na mezi vzniku trhlin:

$$M_{CR} = f_{ctm} * \frac{I_i}{h - x_i} = 2,6 * \frac{2,27 * 10^9}{300 - 150,7} = \mathbf{39,5 kNm}$$

$$M_{CR} > M_{Ed}$$

**39,5 > 15,57[kNm] ... Vyhovuje**

V posuzovaném průřezu při stálém zatížení nedojde ke vzniku trhlin.

## Dlouhodobé účinky zatížení

Ideální průřez bez trhlin

$$E_{c,eff} = \frac{E_c}{1 + \varphi} = \frac{31\,000}{1 + 2} = 10\,333,3 \text{ MPa}$$

$$\alpha_E = \frac{E_s}{E_c} = \frac{210\,000}{10\,333,3} = \mathbf{20,3}$$

Výška tlačené oblasti ideálního průřezu:

$$\frac{1}{2} b x_{i,I,ST}^2 = \frac{1}{2} b (h - x_{i,I,ST})^2 + \alpha_E A_s (d - x_{i,I,ST})$$

$$\frac{1}{2} * 1000 * x_{i,I,ST}^2 = \frac{1}{2} * 1000 * (300 - x_{i,I,ST})^2 + 20,3 * 314 * (252 - x_{i,I,ST})$$

$$x_{i,I,ST} = 152,1 \text{ mm}$$

$$a_{i,I,ST} = x_{i,I,ST} - \frac{h}{2} = 152,1 - \frac{300}{2} = 2,1 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti průřezu:

$$\begin{aligned} I_i &= \frac{1}{12} b h^3 + b h a_{i,I,ST}^2 + \alpha_E A_s (d - x_{i,I,ST})^2 = \\ &= \frac{1}{12} * 1000 * 300^3 + 1000 * 300 * 2,1^2 + \\ &\quad + 20,3 * 314 * (252 - 152,1)^2 = \mathbf{2,3 * 10^9 \text{ mm}^4} \end{aligned}$$

Ohybový moment na mezi vzniku trhlin:

$$M_{CR} = f_{ctm} * \frac{I_i}{h - x_i} = 2,6 * \frac{2,3 * 10^9}{300 - 152,1} = \mathbf{40,43 \text{ kNm}}$$

$$M_{CR} > M_{Ed}$$

**40,43 > 16,04 [kNm] ... Vyhovuje**

V posuzovaném průřezu při stálém zatížení nedojde ke vzniku trhlin.

# 11. Finální hodnocení

## 11.1 Ekonomické zhodnocení

Propočet bude proveden pro běžný metr suterénní stěny vysoké 2,75 m.

Plocha stěny pro běžný metr: 2.75 m<sup>2</sup>

Za předpokladu, že u železobetonových konstrukcí bude beton na staveništi ukládán pomocí čerpadla, je třeba k výdajům přičíst ještě jednorázový poplatek za přistavení vozidla, poplatek za pronájem čerpadla závislý na době pronájmu čerpadla a poplatek za čerpání betonu závislý na množství přečerpaného betonu.

### 11.1.1 Monolitický železobeton

Objem stěny pro běžný metr: 0,55 m<sup>3</sup>

Množství použité výztuže: 15 kg/bm

Beton C30/37: 3114 Kč/m<sup>3</sup> – Betonárna Cemex Malešice s.r.o.

Doprava autodomíchávačem: 155 Kč/m<sup>3</sup> – Betonárna Cemex Malešice s.r.o.

Pronájem bednění na 5 dní: 207 Kč/m<sup>2</sup> – půjčovna bednění FoxDen s.r.o.

Betonářská výztuž: 32,91 Kč/kg – Kondor s.r.o, hutní materiály

Uložení výztuže do bednění: 8 Kč/kg – Prefa Hubenov s.r.o

Položka	Měrná jednotka	Množství	Jednotková cena	Cena celkem
Beton C30/37	m <sup>3</sup>	0,55	3114	1713
Doprava autodomíchávačem (do 5 km)	m <sup>3</sup>	0,55	155	85
Pronájem bednění na 5 dní	m <sup>2</sup>	2,75	207	569
Betonářská výztuž	kg	15	32,91	494
Ukládání výztuže	kg	15	8	120
<b>Σ [Kč/bm]</b>				<b>2981</b>

Tab. 1 Cena stěny z monolitického železobetonu

### 11.1.2 Tvárnice ztraceného bednění

Objem stěny pro běžný metr:	0,495 m <sup>3</sup>
Množství použité výztuže:	18,1 kg/bm
Počet potřebných tvárnic:	44 ks

Tvárnice ztraceného bednění:	44 Kč/ks – CS Beton s.r.o.
Uložení tvárnic na vazbu:	408 Kč/m <sup>2</sup> – Ceníky řemesel s.r.o.
Beton C20/25:	2422 Kč/m <sup>3</sup> – Betonárna Cemex Malešice s.r.o.
Doprava autodomíchávačem:	155 Kč/m <sup>3</sup> – Betonárna Cemex Malešice s.r.o.
Betonářská výztuž:	32,91 Kč/kg – Kondor s.r.o, hutní materiály
Uložení výztuže do bednění:	8 Kč/kg – Prefa Hubenov s.r.o

Položka	Měrná jednotka	Množství	Jednotková cena	Cena celkem
Tvárnice ztraceného bednění	ks	44	44	1936
Uložení tvárnic	m <sup>2</sup>	2,75	408	1122
Beton C25/30	m <sup>3</sup>	0,495	2422	1199
Doprava autodomíchávačem (do 5 km)	m <sup>3</sup>	0,495	155	77
Betonářská výztuž	kg	18,1	32,91	596
Ukládání výztuže	kg	18,1	8	145
<b>Σ [Kč/bm]</b>				<b>5074</b>

Tab. 2 Cena stěny z tvarovek ztraceného bednění



### 11.1.3 Zdivo

	Tvárnice Porotherm na obyčejnou maltu	Tvárnice Porotherm na maltu pro tenké spáry	Cihla plná
Cena 1 tvárnice [Kč]	58,2	78,84	9
Spotřeba zdících prvků	16 ks/m <sup>2</sup>	16 ks/m <sup>2</sup>	333 ks/m <sup>3</sup>
Počet zdících prvků na běžný metr [ks]	44	44	259
Cena zdění [Kč/m <sup>2</sup> ]	408	408	411
Cena zdění [Kč/bm]	1122	1122	1130
Cena malty [Kč/kg]	3,65	-	3,44
Spotřeba malty [kg/m <sup>2</sup> ]	27,54	-	20,4
Cena malty [Kč/bm]	75,735	-	56,1
Cena zdících prvků [Kč/bm]	2561	3469	2331
<b>Σ Celkem [Kč/bm]</b>	<b><u>3759</u></b>	<b><u>4591</u></b>	<b><u>3517</u></b>

Tab. 3 Cena zděné stěny

Doprava všech zdících prvků a malty pro tenké spáry je zahrnuta v ceně zdících prvků. Cena zdících prvků Porotherm převzata z ceníku výrobků a služeb Wienerberger a.s., cena Cihly plné z ceníku cihelny Polom s.r.o. a ceny malty převzaty z ceníku stavebnin DEK a.s., informace o spotřebě zdících prvků a malty na m<sup>2</sup> získány z technických listů jednotlivých výrobků.

### 11.1.4 Bílá vana

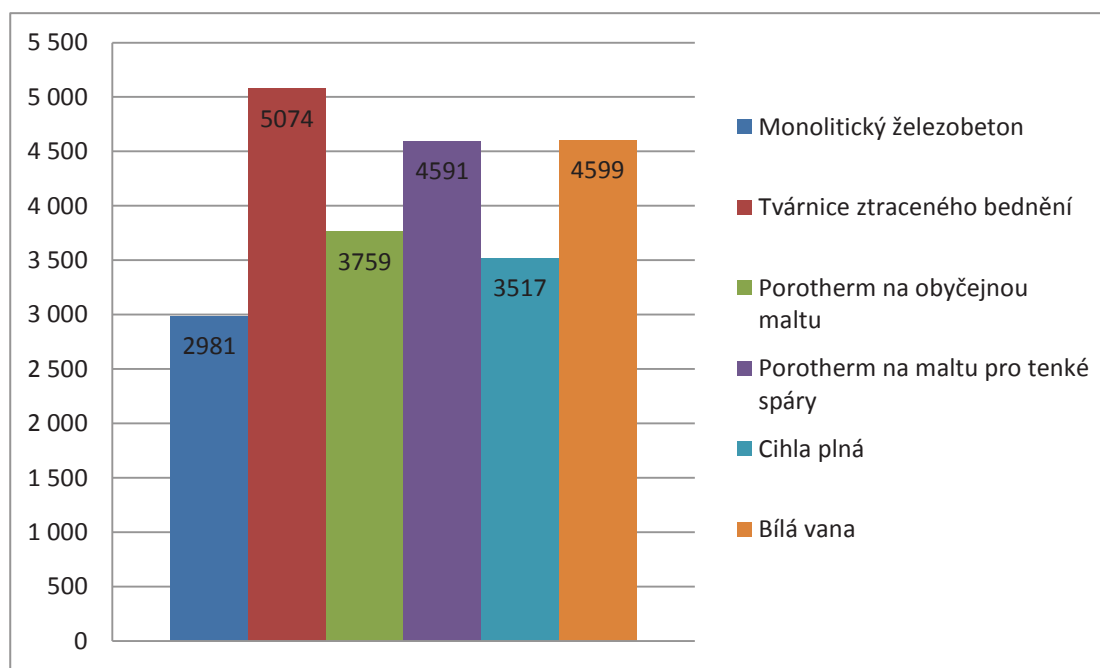
Objem stěny pro běžný metr: 0,825 m<sup>3</sup>  
Množství použité výztuže: 19,7 kg/bm

Vodonepropustný beton Permacrete: 2972 Kč/m<sup>3</sup> – TBG Metrostav s.r.o.  
Doprava autodomíchačem: 936 Kč/m<sup>3</sup> – TBG Metrostav s.r.o.  
Pronájem bednění na 5 dní: 207 Kč/m<sup>2</sup> – půjčovna bednění FoxDen s.r.o.  
Betonářská výztuž: 32,91 Kč/kg – Kondor s.r.o, hutní materiály  
Uložení výztuže do bednění: 8 Kč/kg – Prefa Hubenov s.r.o

Položka	Měrná jednotka	Množství	Jednotková cena	Cena celkem
Veodonepropustný Beton C25/30	m <sup>3</sup>	0,825	2972	2452
Doprava autodomíchávačem (do 5 km)	m <sup>3</sup>	0,825	936	772
Pronájem bednění na 5 dní	m <sup>2</sup>	2,75	207	569
Betonářská výztuž	kg	19,7	32,91	648
Ukládání výztuže	kg	19,7	8	158
<b>Σ [Kč/bm]</b>				<b>4599</b>

Tab. 4 Cena stěny z vodonepropustného betonu

K podrobnějšímu posouzení by bylo nutné ještě připočíst cenu za realizaci podlahové a stropní vrstvy konstrukce, které musí být u bílých van zhotoveny ze stejného materiálu jako stěna.



Graf 1. Porovnání cen jednotlivých variant

## 11.2 Zhodnocení jednotlivých variant

### 11.2.1 Zděné varianty

U zděných variant můžeme pozorovat vysoké rezervy v únosnosti zdiva v tlaku. Využití únosnosti v tlaku se pohybuje mezi 30 – 40%. Rozhodující je zde podmínka smyku, kde se využití únosností pohybuje mezi 75 – 90%.

Pro variantu z keramických tvárnic na obyčejnou maltu je nutné použít maltu o minimální pevnosti v tlaku 10 MPa, při použití malty o nižší pevnosti zdivo nevyhoví ve smyku. Malta o nižší pevnosti by se dala použít v případě vyššího přitížení suterénní stěny od horní stavby nebo při zvětšení tloušťky stěny. Stěna z cihel plných má maltou vyplněné i styčné spáry, což má za následek lepší únosnost ve smyku i při použití malty o nižší pevnosti v tlaku.

Parametr		Porotherm na obyčejnou maltu	Porotherm na maltu pro tenké spáry	Cihla plná
Tloušťka [mm]		300	300	290
<b>Tlaková únosnost</b>				
[kN]	v hlavě stěny	666,9	523,8	630,3
	v 1/2 výšky stěny	652,08	512,16	630,3
	v patě stěny	666,9	523,8	637,5
<b>Smyková únosnost</b>				
[kN]	v hlavě stěny	45	45	52,2
	v 1/2 výšky stěny	50,76	50,76	55,5
	v patě stěny	48	48	57
Využití tlakové únosnosti [%]		31,8	40,5	34,7
Využití smykové únosnosti [%]		89,4	89,4	75,0

Tab. 5 Porovnání únosností zděných variant

### 11.2.2 Železobetonové varianty

Monolitický železobeton, stěna z tvárnic pro ztracené bednění i vodonepropustná konstrukce bílé vany vykazují, stejně jako zdivo, vysokou rezervu při únosnosti v tlaku a bez problémů vyhoví i při použití pouze konstrukční výztuže.

Vzhledem k minimálním požadavkům na tloušťku vodonepropustné konstrukce je použita i větší plocha výztuže a tím je zvýšena i únosnost v tlaku i ohybu.

## 12. Závěr

Při vypracování této bakalářské práce bylo postupně posouzeno několik materiálových variant suterénní stěny z hlediska únosnosti a následně byl vypracován hrubý odhad jejich ceny za běžný metr realizace stěny. Mezi posuzované varianty patří monolitický železobeton, železobetonová konstrukce s použitím tvárnic ztraceného bednění, monolitická železobetonová vodonepropustná konstrukce a zděné varianty s použitím plných cihel a vylehčených keramických tvárnic na obyčejnou maltu a na maltu pro tenké spáry.

Použití vylehčených keramických bloků se ovšem příliš nedoporučuje pro suterénní zdivo z důvodu možného porušení dodatečné hydroizolace. V důsledku porušení této vrstvy je možný průnik vlhkosti do konstrukce. Vlastnostmi i cenou by pro suterénní stěnu vyhovovala stěna realizovaná z plných cihel. Jedná se ovšem o velmi pracnou variantu, což při větším půdorysném rozměru stěny může mít značný dopad na dobu výstavby. Stěna z tvárnic ztraceného bednění se stejně jako zděné varianty hodí spíše pro stavby o menších rozměrech, kvůli své pracnosti i ceně. Zásadním rozdílem mezi použitím monolitického železobetonu a tvárnic pro ztracené bednění je právě jejich pracnost. Cena jednotlivých tvárnic a cena za vyzdění výrazně převyšuje náklady na pronájem bednění. A vzhledem k tomu, že při inženýrsko-geologickém průzkumu nebyla nalezena tlaková voda, není tedy nezbytné navrhovat vodonepropustnou konstrukci a postačí klasická železobetonová konstrukce.

S přihlédnutím k materiálovým vlastnostem, mechanickým vlastnostem i ceně konstrukce, je i přes nevýhody monolitického železobetonu nejlepší navržení monolitické železobetonové konstrukce pro danou suterénní stěnu.

## 13. Zdroje

- [1] ČSN EN 1991-1-1 (Eurokód 1): Zatížení konstrukcí – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha: ČSNI, 2004
- [2] ČSN EN 1991-1-3 (Eurokód 1): Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – zatížení sněhem, ČSNI, 2004
- [3] ČSN EN 1992-1-1 (Eurokód 2): Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [4] ČSN EN 1996-1-1 (Eurokód 6): Navrhování zděných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla pro vyztužené a nevyztužené zděné konstrukce, ČSNI, 2013
- [5] ČSN EN 206-1: Beton – Část 1: specifikace, vlastnosti, výroba a shoda, ČSNI 2001
- [6] ČSN 72 1005: Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zařídování hornin – Část 1: Pojmenování a popis
- [7] *Bílé vany: vodonepropustné betonové konstrukce: sbírka přednášek, příkladů a prezentací ke školení.* Praha: ČBS Servis, 2007. ISBN 978-80-903807-6-9.
- [8] FOGLAR, Marek, Michaela FRANTOVÁ a Pavel JIŘÍČEK. *Betonové konstrukce 3: navrhování betonových konstrukcí na MSP, úvod do předpjatého betonu.* V Praze: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-80-01-04943-3.
- [9] KOŠATKA, Pavel, Karel LORENZ a Jitka VAŠKOVÁ. *Zděné konstrukce 1.* V Praze: Nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN 80-010-3463-1.
- [10] Internetové stránky některých výrobců <http://www.wienerberger.cz>;  
<http://www.dek.cz>; <http://www.rigips.cz>;

## **14. Přílohy**

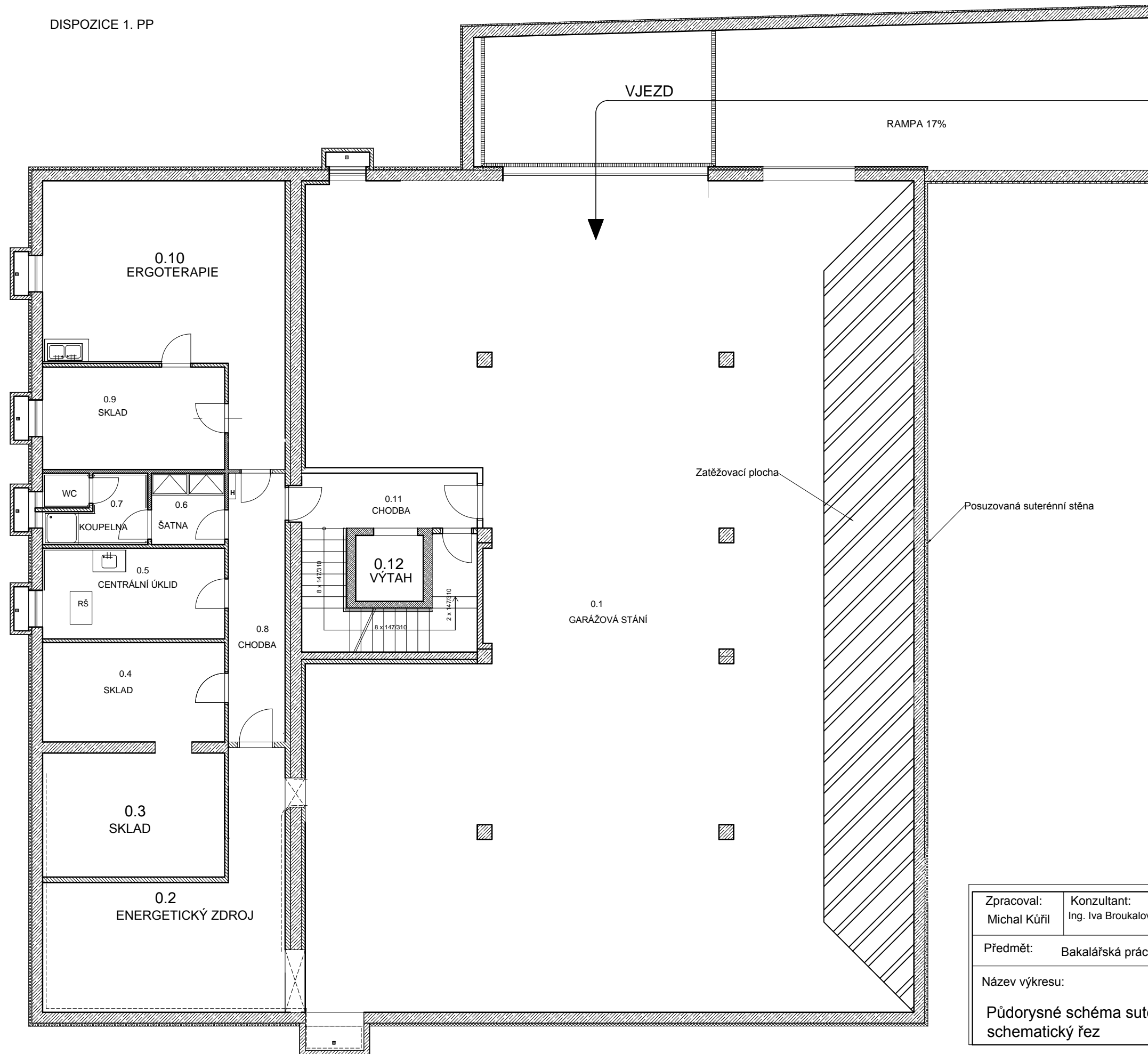
Příloha 1 – Schéma půdorysu řešené stěny a schématický řez

Příloha 2 – Výkres výztuže železobetonové suterénní stěny

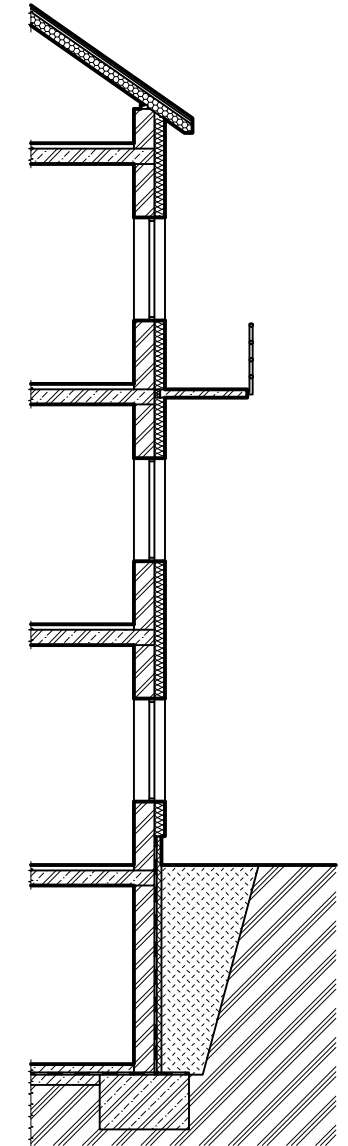
Příloha 3 – Výkres výztuže suterénní stěny z tvárnic ztraceného bednění


Příloha 3 – Výkres výztuže vodonepropustné železobetonové konstrukce

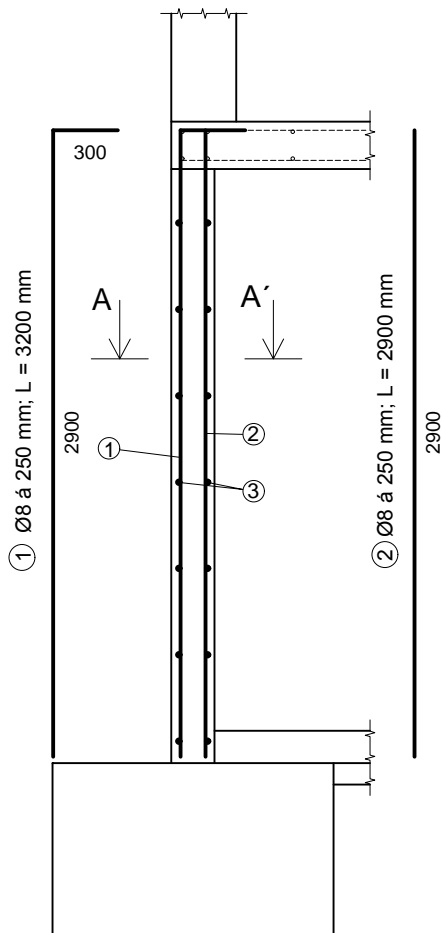
DISPOZICE 1. PP



Schematický řez pro výpočet zatížení suterénní stěny:



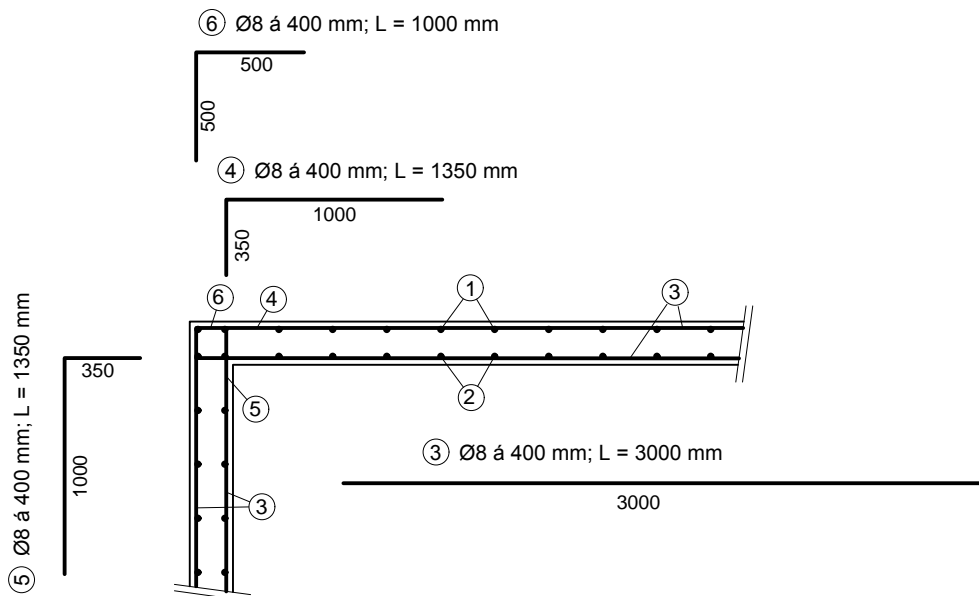
Zpracoval: Michal Kůřil	Konzultant: Ing. Iva Broukalová, Ph.D.	Akademický rok: 2017/2018	<b>Fakulta stavební</b> <b>ČVUT</b> 
Předmět: Bakalářská práce			
Název výkresu: Půdorysné schéma suterénní stěny a schematický řez			Datum: 21.3.2018 Meřítko: 1:110 Číslo výkresu: 1



Výkaz výztuže (uvažován pro 1 bm)				
Číslo	Ø [mm]	Délka prutu [mm]	Počet kusů na bm	Délka celkem [m]
1	8	3200	4	12,8
2	8	2900	4	11,6
3	8	1000*	14	14
4	8	1350	0	0
5	8	1350	0	0
6	8	1000	0	0
Celkem na metr délky stěny			38,4 m	
Jednotková hmotnost [kg/m]			0,39	
Hmotnost [kg]			15	

\* Pro účel stanovení ceny za 1 metr stěny je výpočet hmotnosti výztuže proveden pro běžný metr stěny

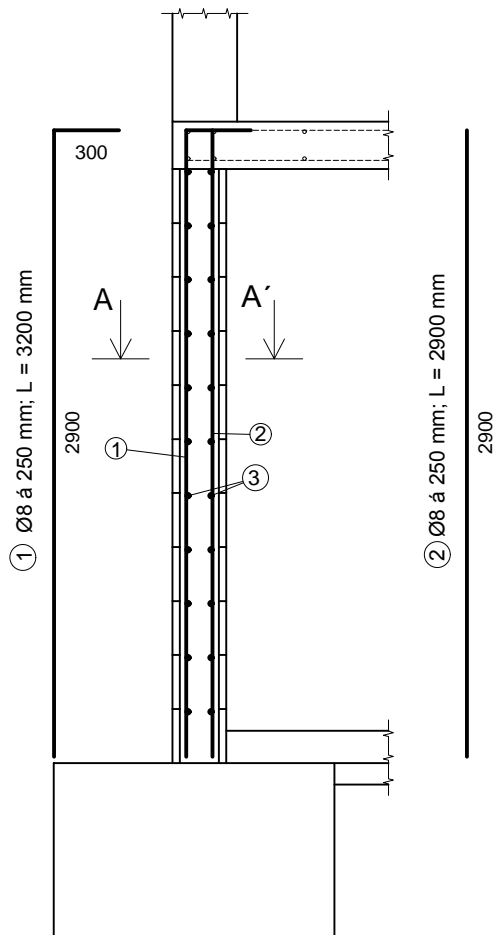
#### VODOROVNÝ ŘEZ AA':



MATERIÁLY:  
 BETON C30/37 - XC2 - Cl 0,2 - D<sub>max</sub> 16 mm - S3  
 OCEL B500B  
 KRYTÍ min. 30 mm

Zpracoval: Michal Kůřil	Konzultant: Ing. Iva Broukalová, Ph.D.	Akademický rok: 2017/2018	Fakulta stavební ČVUT
Předmět: Bakalářská práce			
Název výkresu: Výkres výztuže monolitické suterénní stěny			Datum: 21.3.2018
			Měřítko: 1:35
			Číslo výkresu: 2

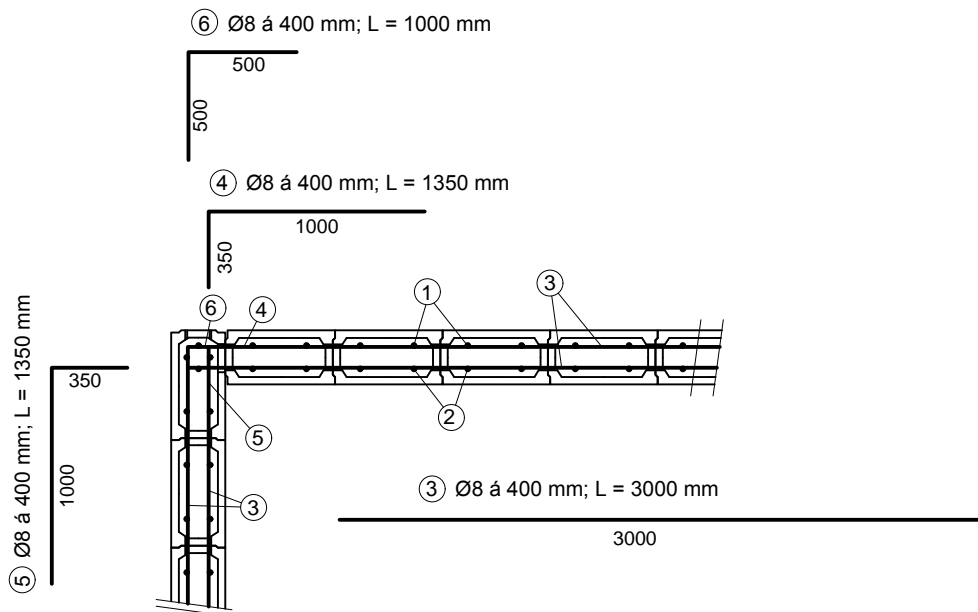




Výkaz výztuže (uvažován pro 1 bm)				
Číslo	Ø [mm]	Délka prutu [mm]	Počet kusů na bm	Délka celkem [m]
1	8	3200	4	12,8
2	8	2900	4	11,6
3	8	1000*	22	22
4	8	1350	0	0
5	8	1350	0	0
6	8	1000	0	0
Celkem na metr délky stěny			46,4 m	
Jednotková hmotnost [kg/m]			0,39	
Hmotnost [kg]			18,1	

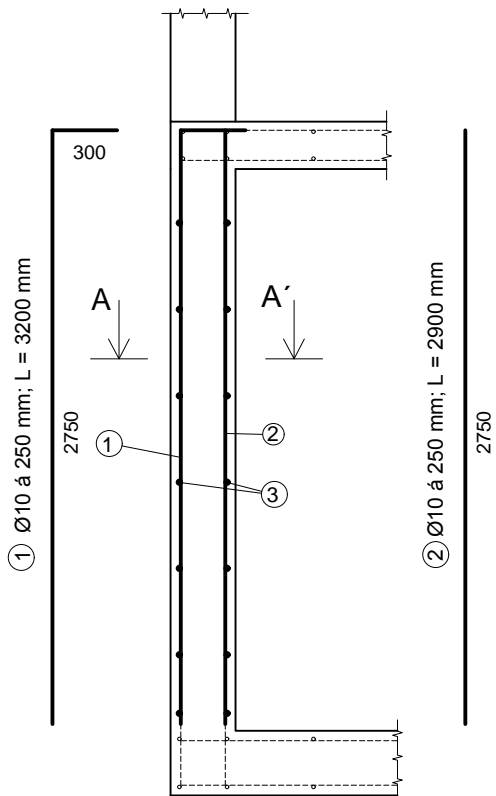
\* Pro účel stanovení ceny za 1 metr stěny je výpočet hmotnosti výztuže proveden pro běžný metr stěny

#### VODOROVNÝ ŘEZ AA':



MATERIÁLY:  
 BETON C25/30 - XC2 - Cl 0,2 - D<sub>max</sub> 16 mm - S3  
 OCEL B500B  
 KRYTÍ min. 25 mm

Zpracoval: Michal Kůřil	Konzultant: Ing. Iva Broukalová, Ph.D.	Akademický rok: 2017/2018	Fakulta stavební ČVUT
Předmět: Bakalářská práce			
Název výkresu: Výkres výztuže stěny ze ztraceného bednění			Datum: 21.3.2018
			Měřítko: 1:35
			Číslo výkresu: 3

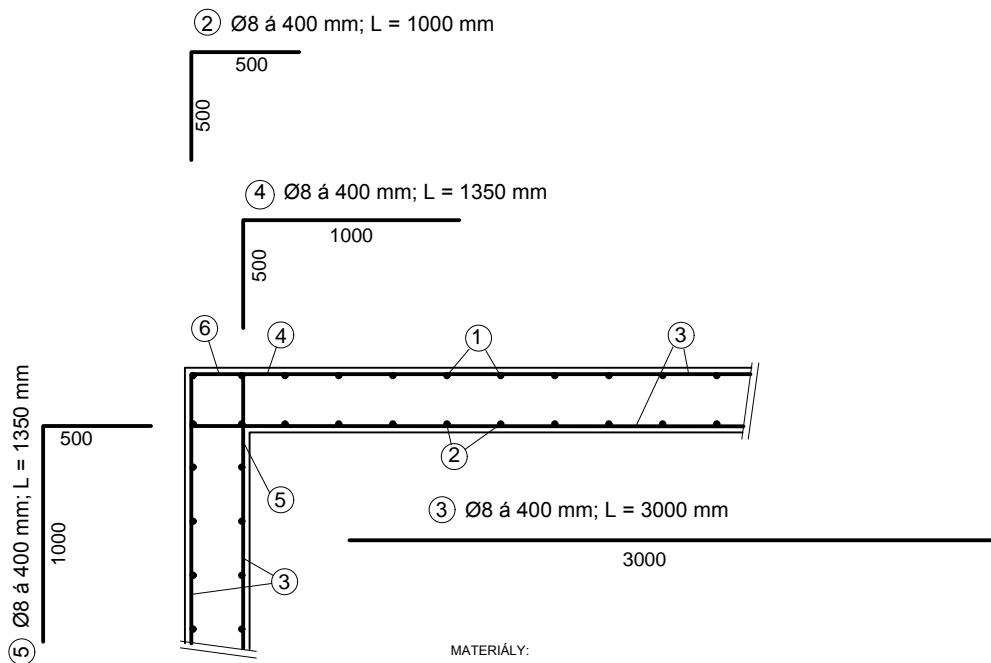


#### Výkaz výztuže; uvažován 1bm

Číslo	Ø [mm]	Délka prutu [mm]	Počet kusů na bm	Délka celkem [m]	
				Ø8	Ø10
1	10	3050	4	0	12,2
2	10	2750	4	0	11
3	8	1000*	14	14	0
4	8	1500	0	0	0
5	8	1500	0	0	0
6	8	1000	0	0	0
Celkem na metr délky stěny				14 m	23,2 m
Jednotková hmotnost [kg/m]				0,39	0,61
Hmotnost [kg]				5,5	14,2
Hmotnost celkem [kg]				19,7	

\* Pro účel stanovení ceny za 1 metr stěny je výpočet hmotnosti výztuže proveden pro běžný metr stěny

#### VODOROVNÝ ŘEZ AA':



MATERIÁLY:  
 BETON C25/30 - BS2 - XC2 - Cl 0,2 - D<sub>max</sub> 16 mm - S4  
 OCEL B500B  
 KRYTÍ min. 35 mm

Zpracoval: Michal Kůřil	Konzultant: Ing. Iva Broukalová, Ph.D.	Akademický rok: 2017/2018	Fakulta stavební ČVUT
Předmět: Bakalářská práce			
Název výkresu: Výkres výztuže bílé vany			Datum: 21.3.2018
			Měřítko: 1:35
			Číslo výkresu: 4