

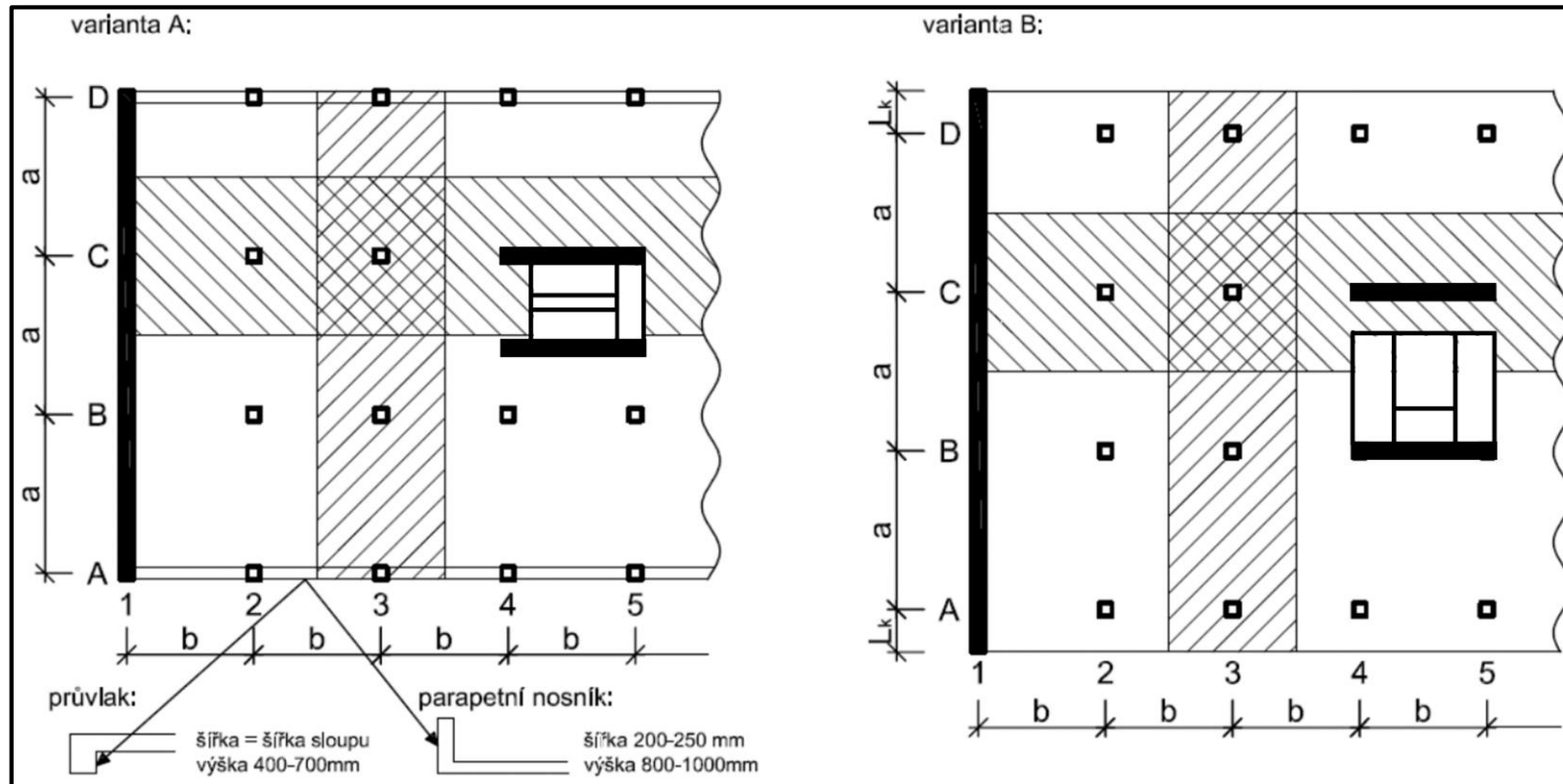
# Ztužující železobetonové stěny

Prezentace k cvičení BK01/BZKQ – Úkol 5.1

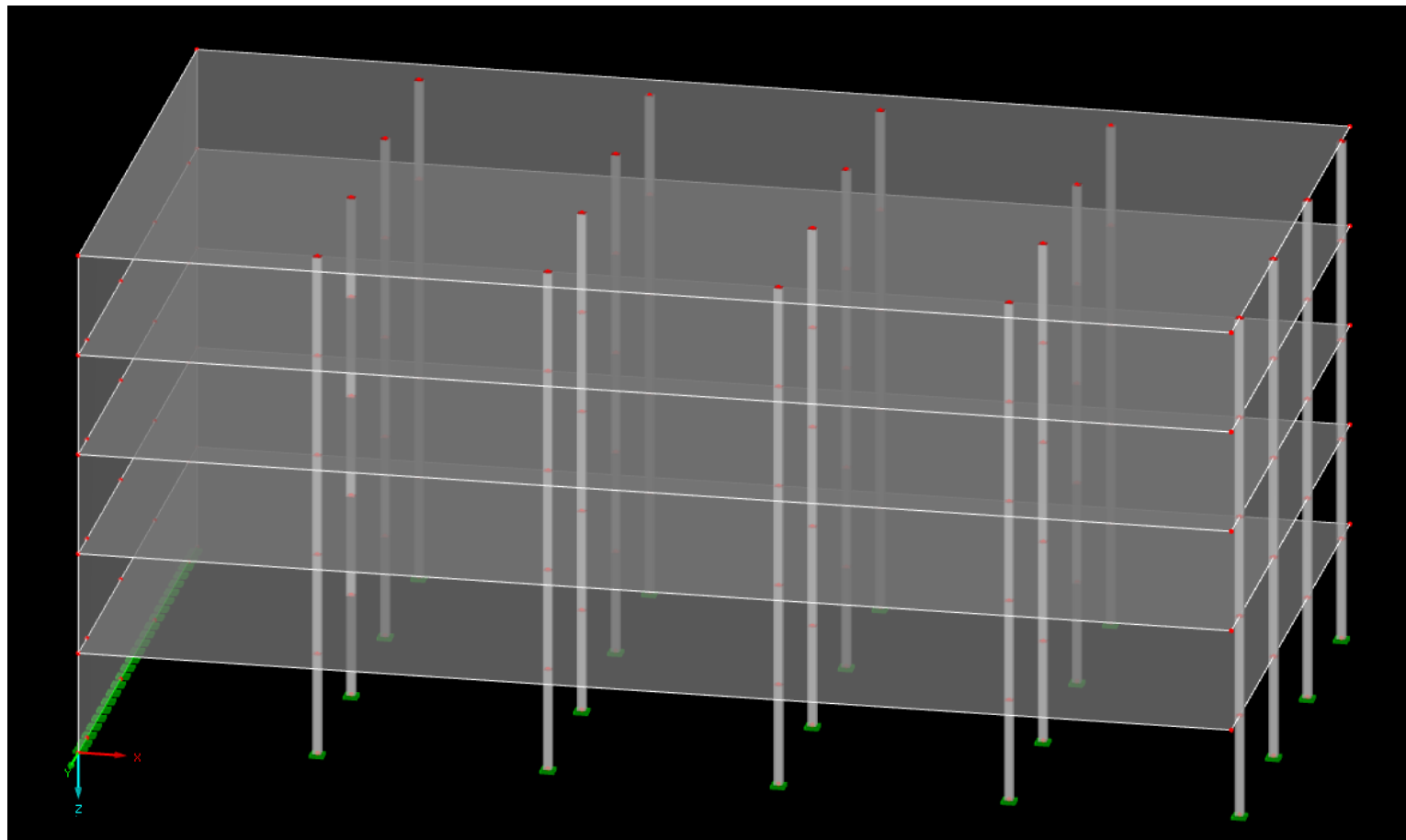
# Zadání

# Řešená konstrukce

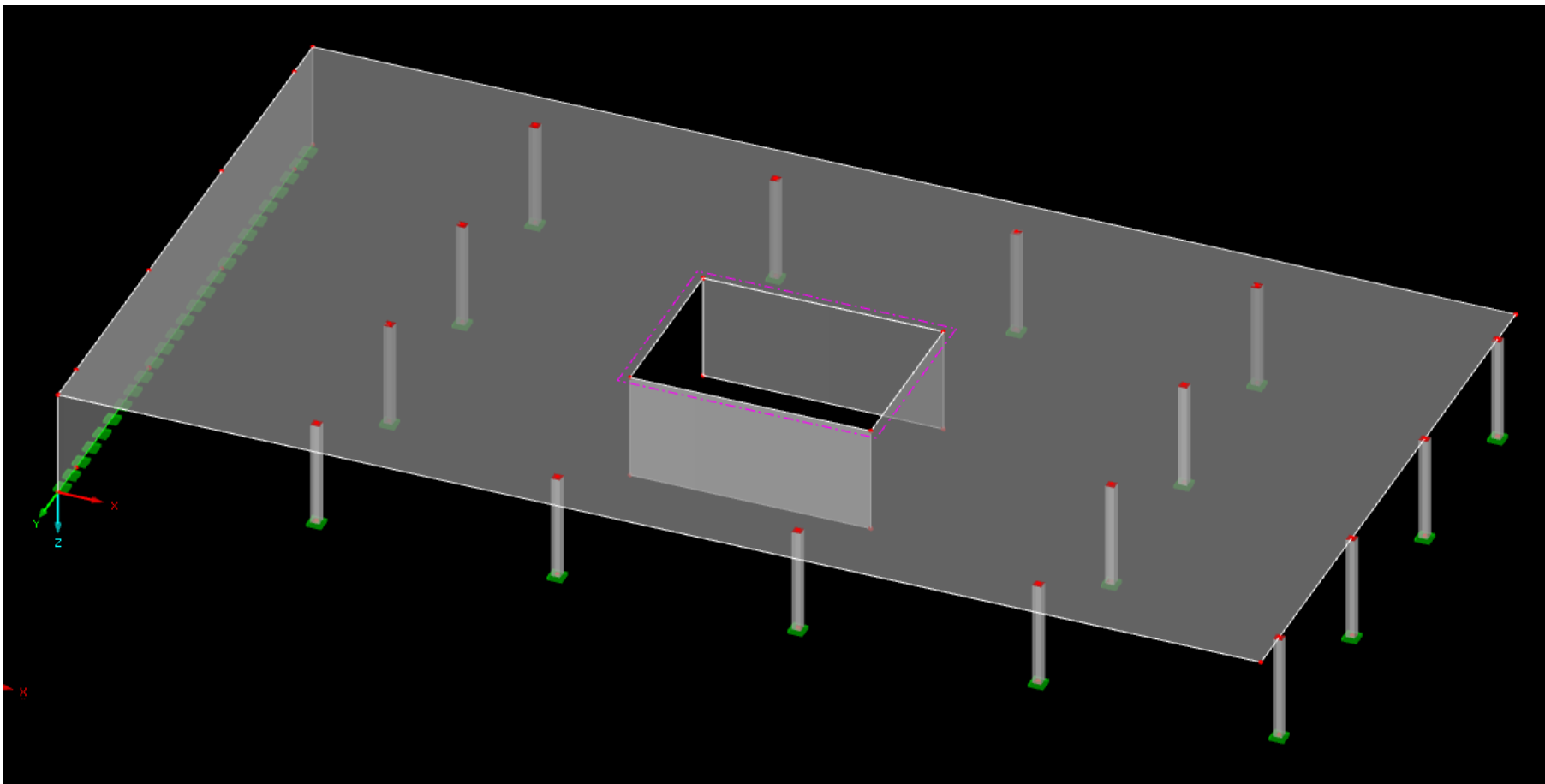
Železobetonový skelet bez vnitřních průvlaků s ŽB stěnou ve štítu a schodištěm.



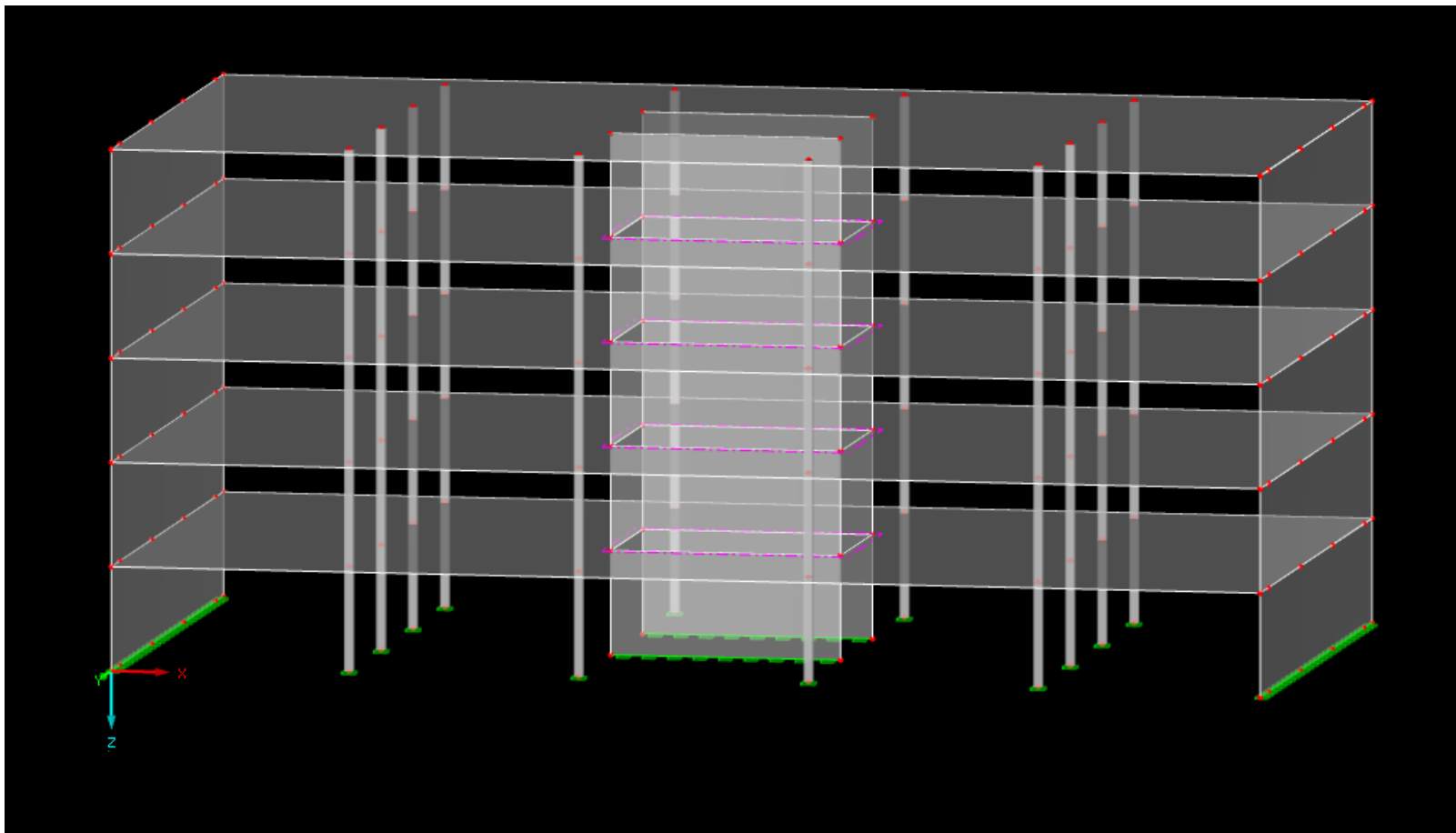
# Řešená konstrukce



# Řešená konstrukce



# Řešená konstrukce



# Úkol

Návrh **počtu a rozmístění ztužujících stěn** v podélném směru.

Ověření **napětí v patě stěn** při zatížení větrem.

# Náplň 5. úkolu

- I. **Navrhnout ztužující stěny**
- II. **Stanovit zatížení (svislé a vodorovné od větru)**
- III. **Vytvořit kombinace zatěžovacích stavů**
- IV. **Stanovit namáhání v patě stěny**
- V. **Stanovit napětí v patě stěny**
- VI. **Posoudit napětí v patě stěny**
- VII. **Navrhnout a posoudit výztuž**
- VIII. **Vytvořit skicu výztuže**



# Návrh podélných ztužujících stěn

# Návrh ztužujících stěn

**Nejprve** uvažujte ztužení **pouze stěnami navrženými ve 4. úloze** (pro podepření schodiště).

Pokud stěny konstrukce nevyhoví (tj. při KZS1 vzniknou tahy v základové spáře), proveďte úpravy – prodloužení, přidání dalších ztužujících stěn.

**Pro jednodušší výpočet navrhňte všechny ztužující stěny stejné.**

# Zatížení větrem

# Vodorovné zatížení větrem

Ve cvičení pouze zjednodušený postup:

základní dynamický tlak větru  
součinitel expozice  
součinitel vnějšího tlaku

} hodnota zatížení větrem [kN/m<sup>2</sup>]

# 1) Základní dynamický tlak větru

$$q_b = \frac{1}{2} \rho_v v_b^2$$

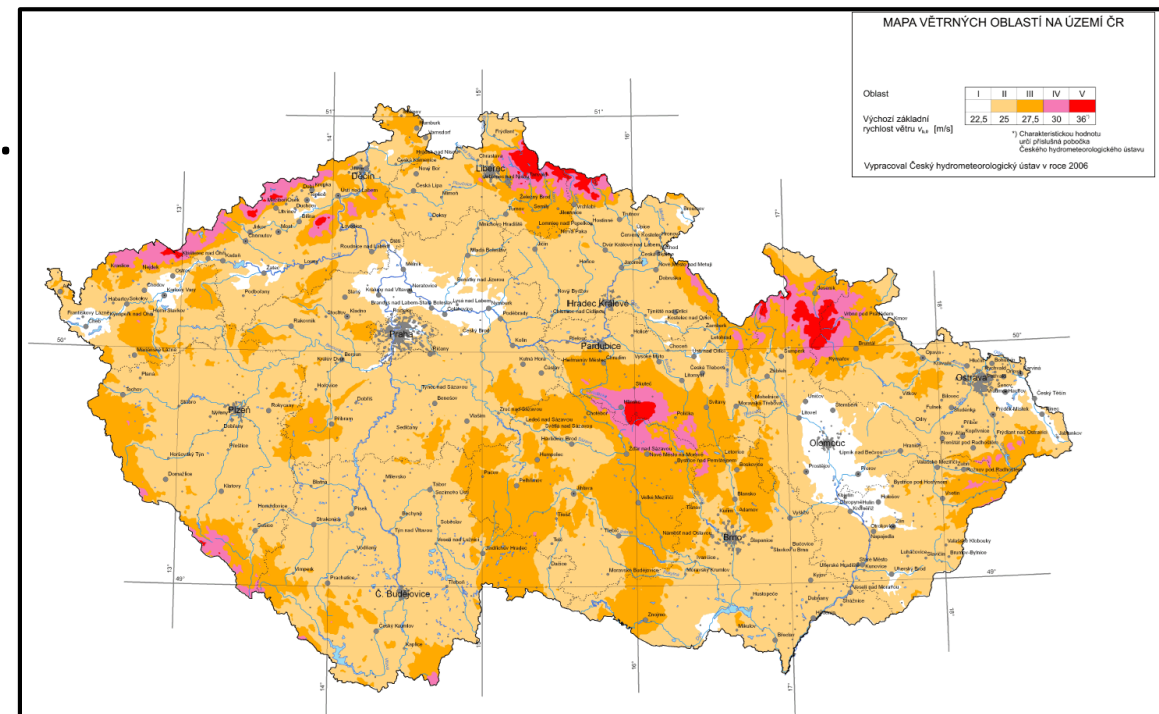
$\rho_v$  je hustota vzduchu (uvažujte  $1.25 \text{ kg/m}^3$ )

$v_b$  je základní rychlost větru (určete z mapy podle větrné oblasti)

# 1) Základní dynamický tlak větru

V mapě je uvedeno  $v_{b,0}$ .

Pro naše podmínky platí, že  $v_b = v_{b,0}$ .



Interaktivní mapa:

<https://www.dlubal.com/cs/reseni/online-sluzby/oblasti-zatizeni-snehem-vetrem-a-zemetresenim>

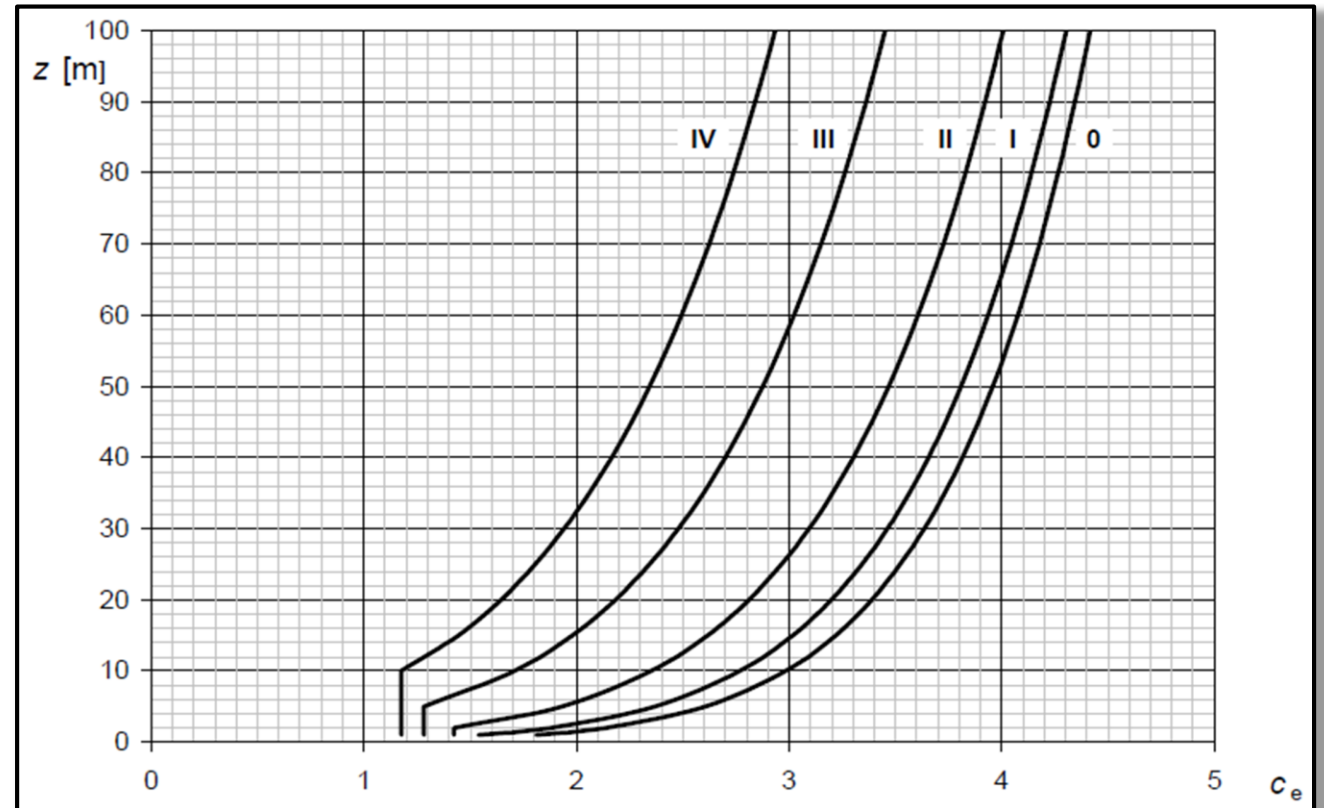
## 2) Součinitel expozice

Součinitel  $c_e(z)$  určíme z grafu podle kategorie terénu a referenční výšky budovy.

Kategorie terénu je zadána.

Referenční výšku uvažujte shodnou s výškou budovy  $H = n_{\text{podlaží}} * H_{\text{podlaží}} + 1 \text{ m (atika)}$ .

Uvažujte konstantní velikost součinitele po výšce budovy.



### 3) Součinitel vnějšího tlaku

Běžně se určuje **zvláště pro různé oblasti** budovy – podle polohy (na kraji, uprostřed) a strany (návětrná, závětrná, podélná).

**Ve cvičení uvažujte**

$$c_{pe} = 1.3$$

(tj. tlak 0.8 na návětrné straně a sání 0.5 na závětrné straně budovy).

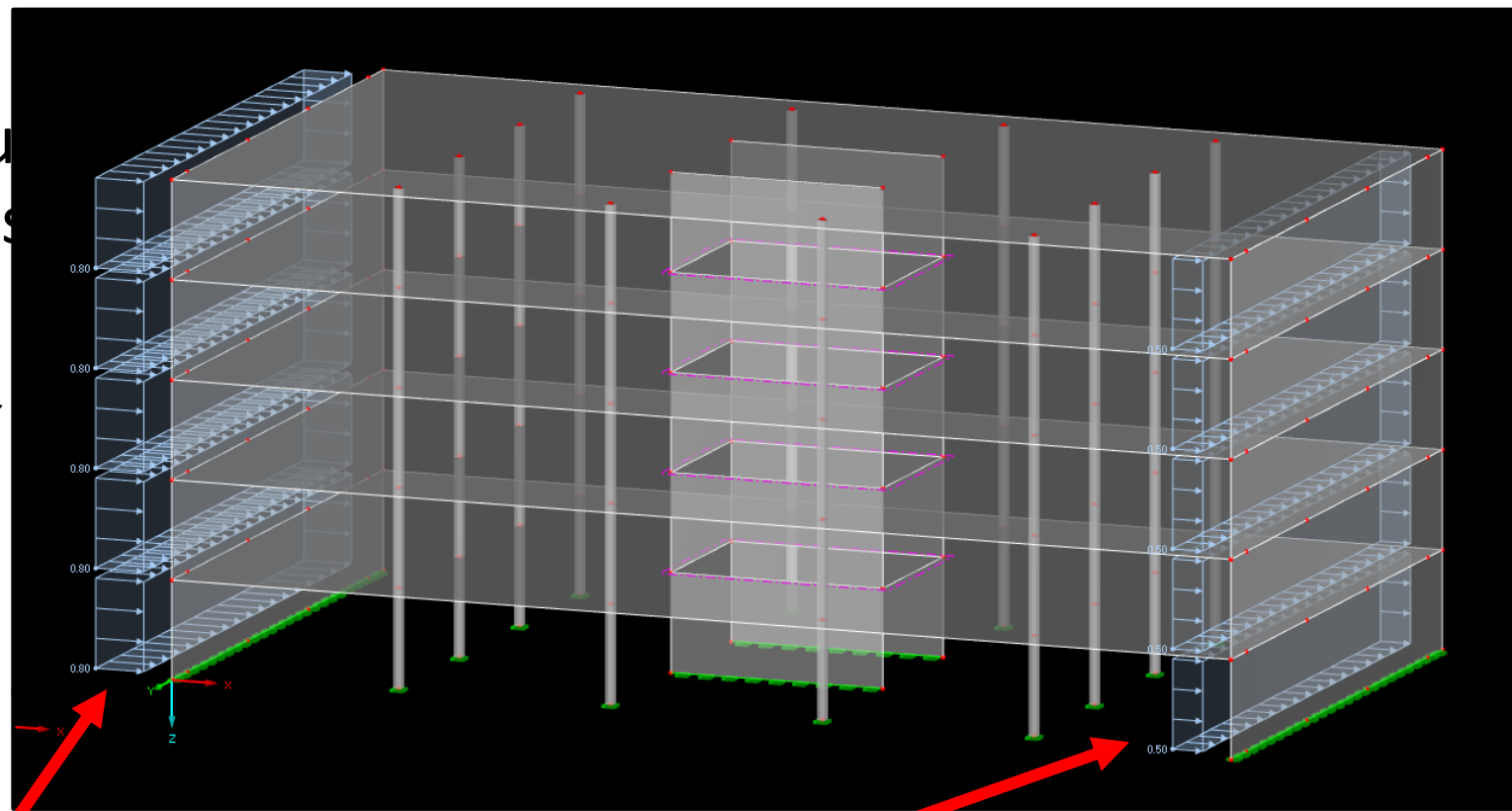


### 3) Součinitel vnějšího tlaku

Běžně se u  
kraji, upros

**Ve cvičení**

$C_p$



(tj. tlak 0.8 na návětrné straně a sání 0.5 na závětrné straně budovy).

## 4) Hodnota zatížení větrem

**Charakteristická hodnota** zatížení větrem:

$$w_k = q_b c_e(z) c_p \quad [\text{kN/m}^2]$$

**Návrhová hodnota** zatížení větrem:

$$w_d = \gamma_Q w_k \quad [\text{kN/m}^2]$$

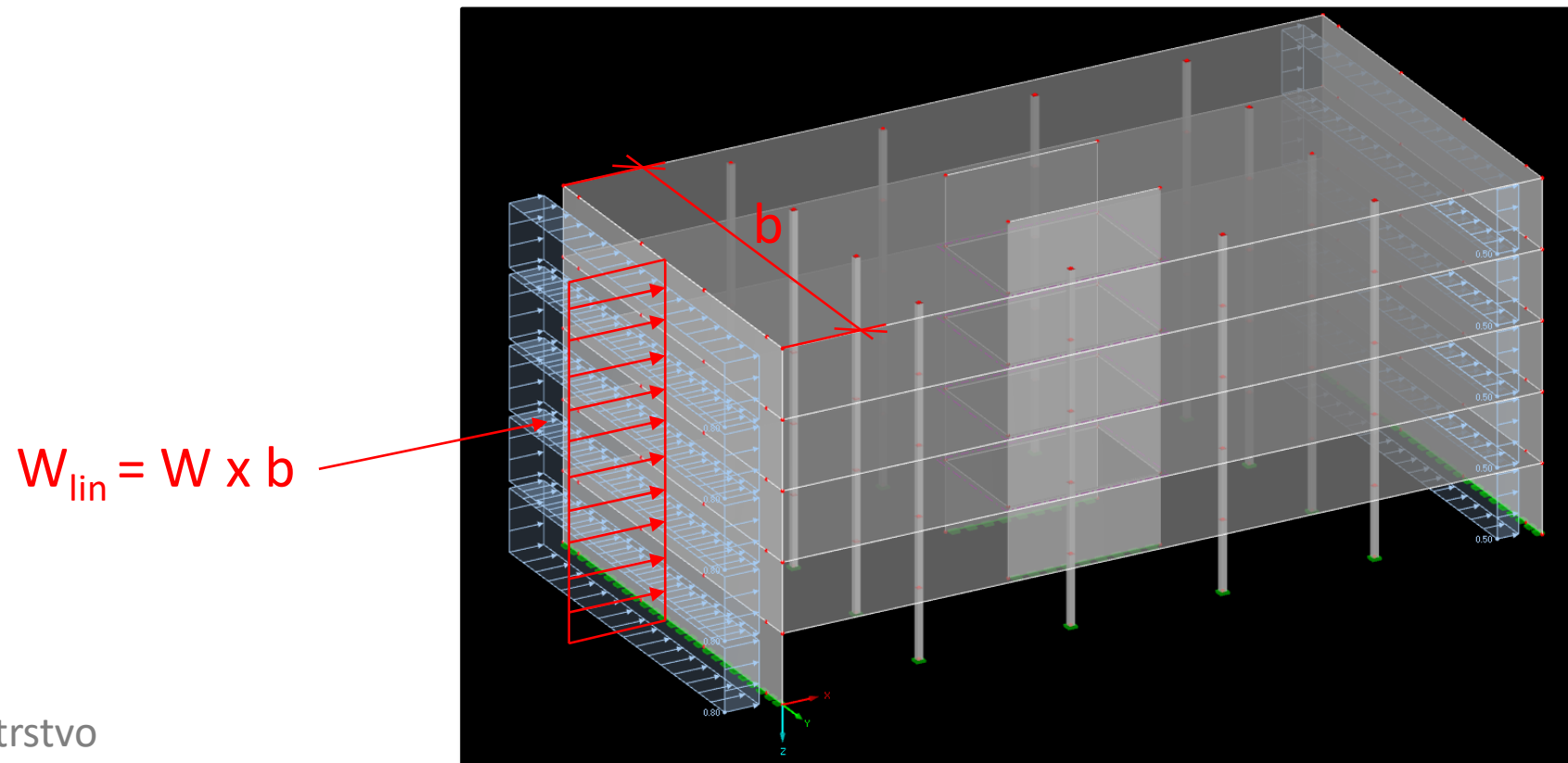
(dílčí součinitel bezpečnosti pro proměnné zatížení  $\gamma_Q = 1,5$ )

# Liniové zatížení stěny od větru

Získané hodnoty zatížení větrem  $w_k$  a  $w_d$  jsou **plošné hodnoty** zatížení působícího **na plášť budovy**.

# Liniové zatížení stěny od větru

Získané hodnoty zatížení větrem  $w_k$  a  $w_d$  jsou plošné hodnoty zatížení působícího na plášť budovy.



# Liniové zatížení stěny od větru

Získané hodnoty zatížení větrem  $w_k$  a  $w_d$  jsou **plošné hodnoty** zatížení působícího **na plášť budovy**.

Pro stanovení napětí v patě stěny budeme **potřebovat znát hodnoty** zatížení větrem působícího **na ztužující stěny**.

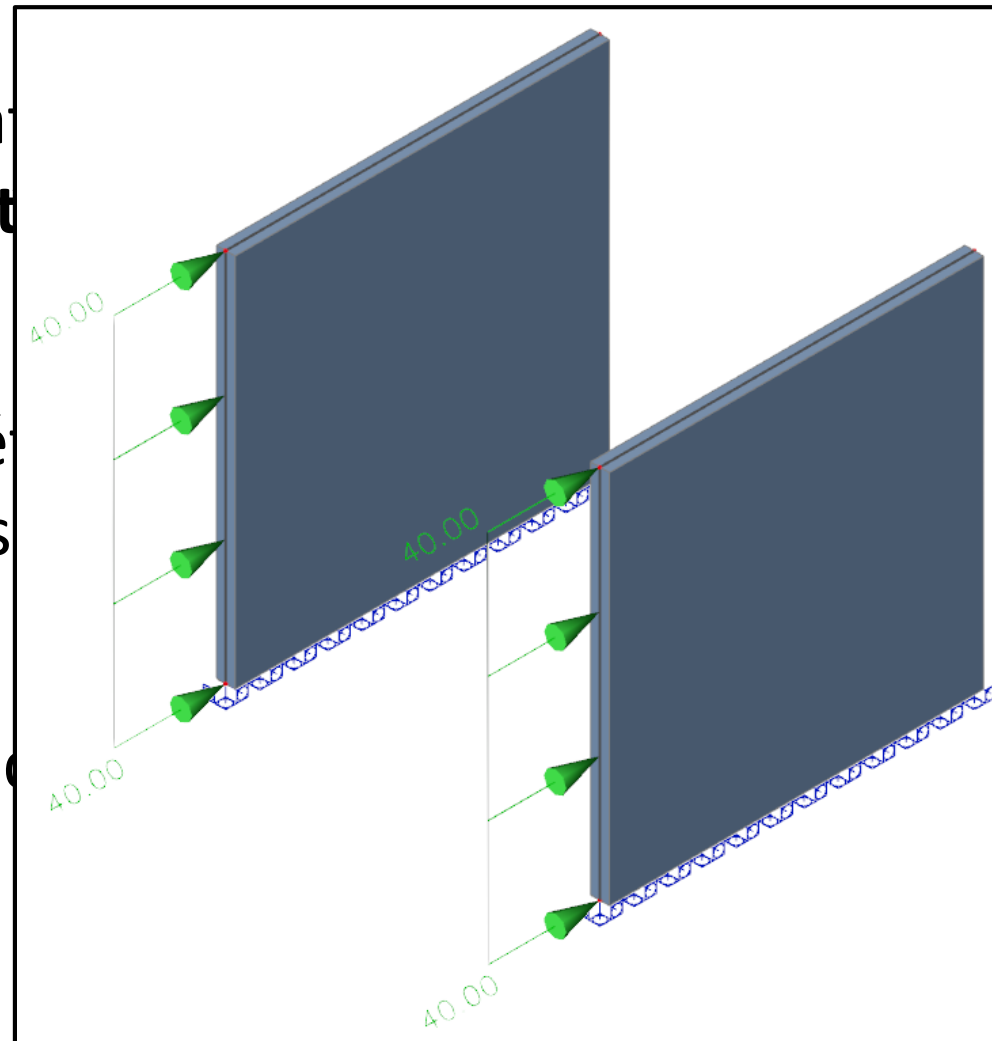
(Stěny budeme modelovat jako **konzoly vetknuté do základů**.)

# Liniové zatížení stěny od větru

Získané hodnoty zatížení  
působícího na plášť

Pro stanovení napětí  
zatížení větrem působícího

(Stěny budeme modelovat jako



é hodnoty zatížení

at znát hodnoty

základů.)

# Liniové zatížení stěny od větru

Liniové zatížení působící na jednu stěnu stanovíme ve dvou krocích.

Prvním krokem je stanovení **celkového liniového zatížení** od větru. Plošné zatížení pláště se vynásobí šířkou pláště.

$$w_{lin} = wb \quad [\text{kN/m}]$$

Druhým krokem je **rozdělení celkového zatížení na stěny**. V případě, že jsou všechny stěny stejné, se celkové zatížení rozdělí počtem stěn.

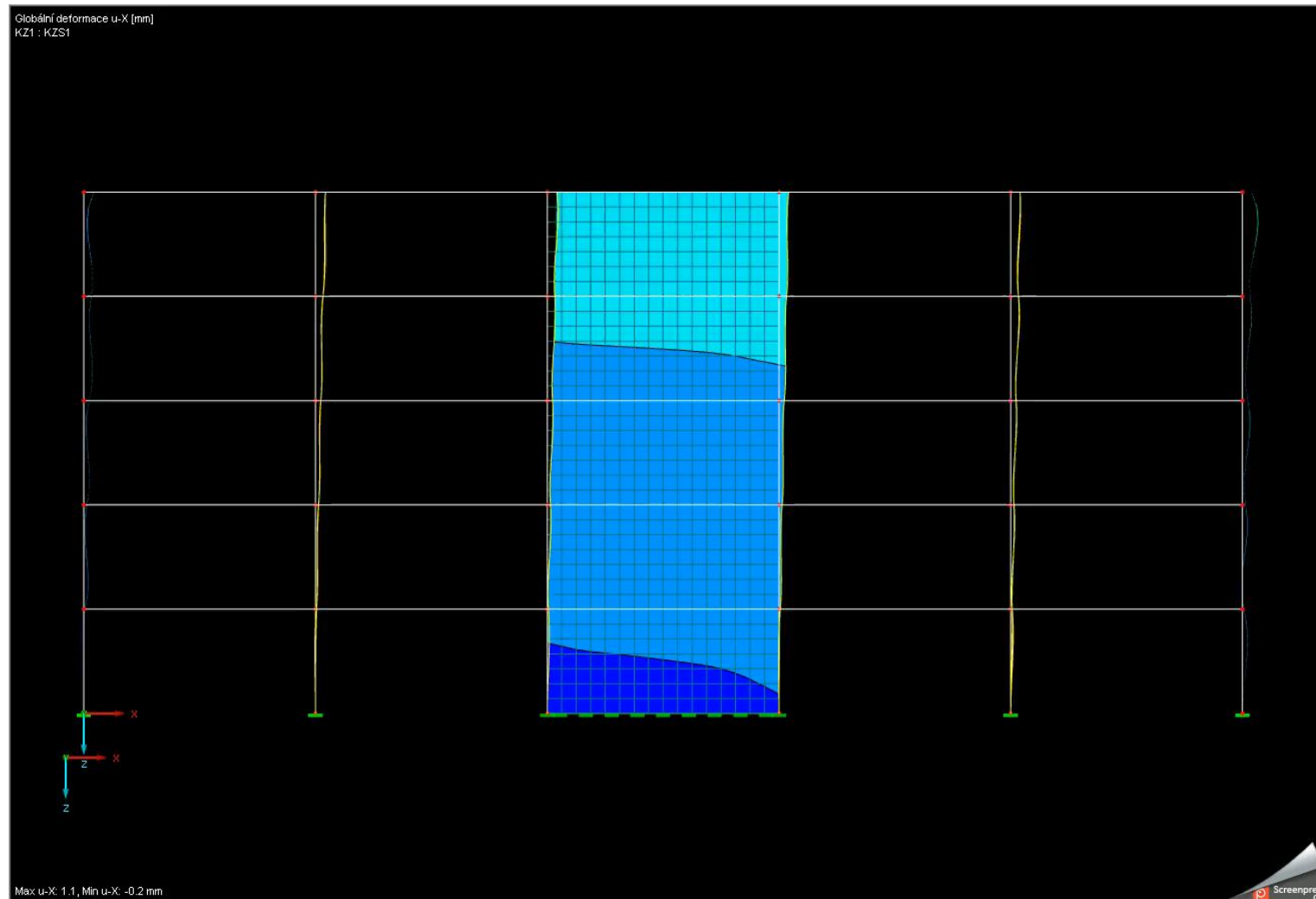
$$w_{lin,1} = \frac{1}{n} w_{lin} \quad [\text{kN/m}]$$

# Liniové zatížení stěny od větru

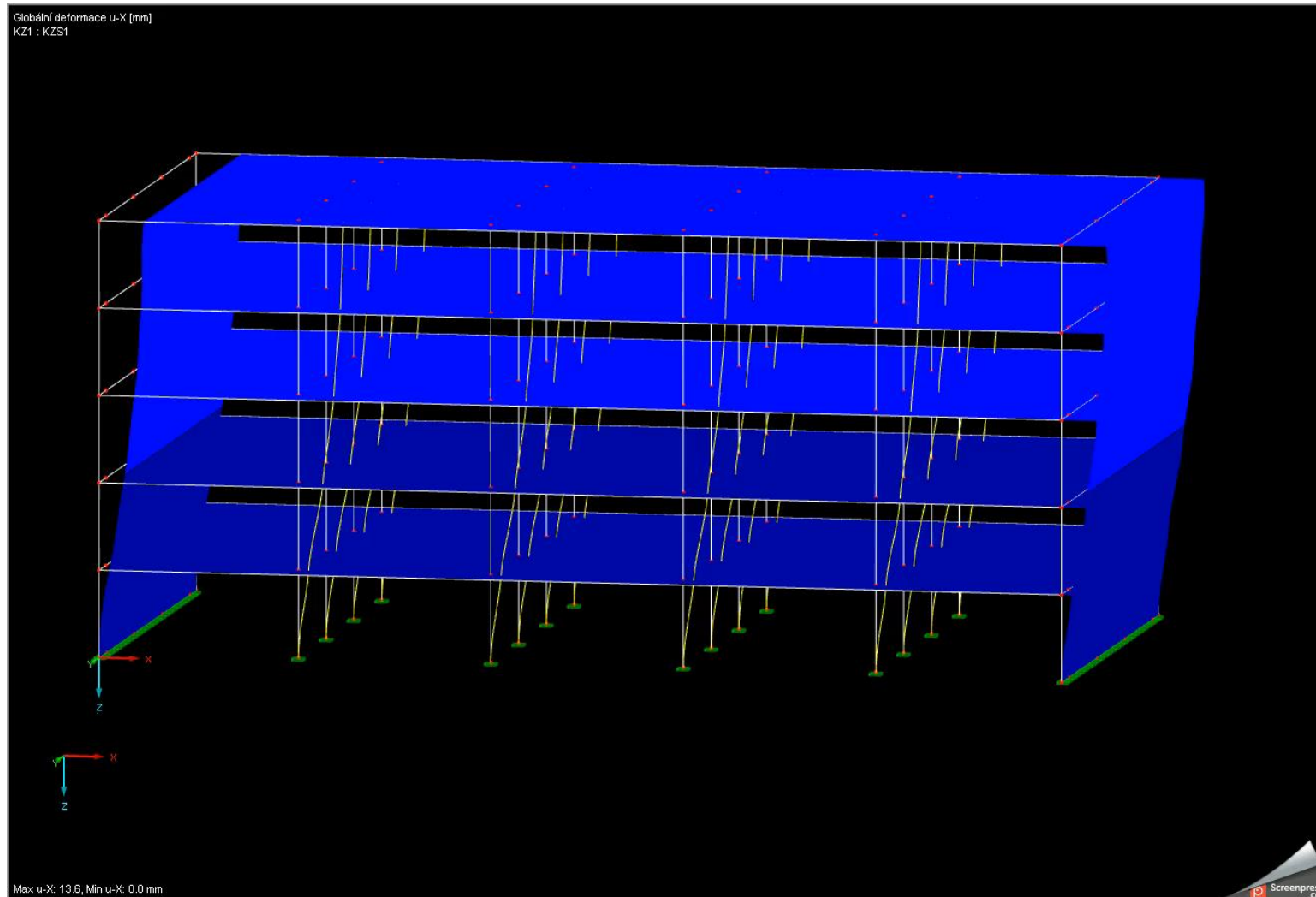
Pro každou stěnu výše uvedeným způsobem stanovíme  $w_{lin,k,1}$  (zatěžovací stav ZSW1) a  $w_{lin,d,1}$  (zatěžovací stav ZSW2).



# Účinek ztužení



# Účinek ztužení



## Navíc Rozdělení zatížení do stěn – obecně

Obecně by se celkové zatížení rozdělilo do všech svislých konstrukcí v poměru jejich ohybových tuhostí  $EI$ . Sloupy a stěny kolmé na směr působení větru však zanedbáváme\*.

V případě, že **podélné ztužující stěny nejsou stejné**, celkové zatížení se rozdělí v poměru ohybových tuhostí stěn.

$$w_{lin,i} = \frac{EI_i}{\sum_1^n EI_i} w_{lin}$$

kde  $EI_i$  je ohybová tuhost dané stěny

$\sum_1^n EI_i$  je součet ohybových tuhostí všech podélných stěn.

\* Ohybová tuhost sloupů a stěny kolmých na vyšetřovaný směr je mnohonásobně menší než ohybová tuhost stěn podélných. Jejich zanedbáním tedy vzniká pouze velice malá chyba, a proto je můžeme zanedbat. Jejich zanedbání je navíc na straně bezpečné.

# Zatížení

svislé

# Svislé zatížení – zatěžovací stavy (ZSS)

- 1) **charakteristické** zatížení od vlastní tíhy **vodorovné nosné konstrukce** (stropní desky / střešní desky / podesty / mezipodesty / ramene)
- 2) **charakteristické** zatížení od vlastní tíhy **stěny**
- 3) **návrhové** zatížení **vodorovné nosné konstrukce** (vlastní tíha, ostatní stálé a proměnné zatížení)
- 4) **návrhové** zatížení od vlastní tíhy **stěny**

Plošné zatížení desek (střešní, stropní) – hodnoty převezměte z úlohy 3 nebo vhodně zvolte.

# Kombinace zatěžovacích stavů

# Kombinace zatěžovacích stavů

Pro posouzení ztužujících stěn budeme uvažovat dvě kombinace zatížení.

**KSZ1** – kombinace, která **může nastat** a u které **hrozí**, že vlivem větru vznikne **tah** v patě stěny

**KSZ2** – kombinace, která **by neměla nastat** a při níž hrozí překročení únosnosti v **tlaku**

# Kombinace zatěžovacích stavů

**KZS1 – charakteristické** zatížení **větrem** + **minimální svislé** zatížení.

**KZS2 – návrhové** zatížení **větrem** + **maximální svislé** zatížení.

$$KZS1 = ZSW1 + (ZSS1 + ZSS2)$$

$$KZS2 = ZSW2 + (ZSS3 + ZSS4)$$



# Namáhání ztužujících stěn

# Namáhání ztužujících stěn

Stěny jsou namáhány **tlakem** (normálová síla) od svislého zatížení a **ohybem** (ohybový moment) od větru.

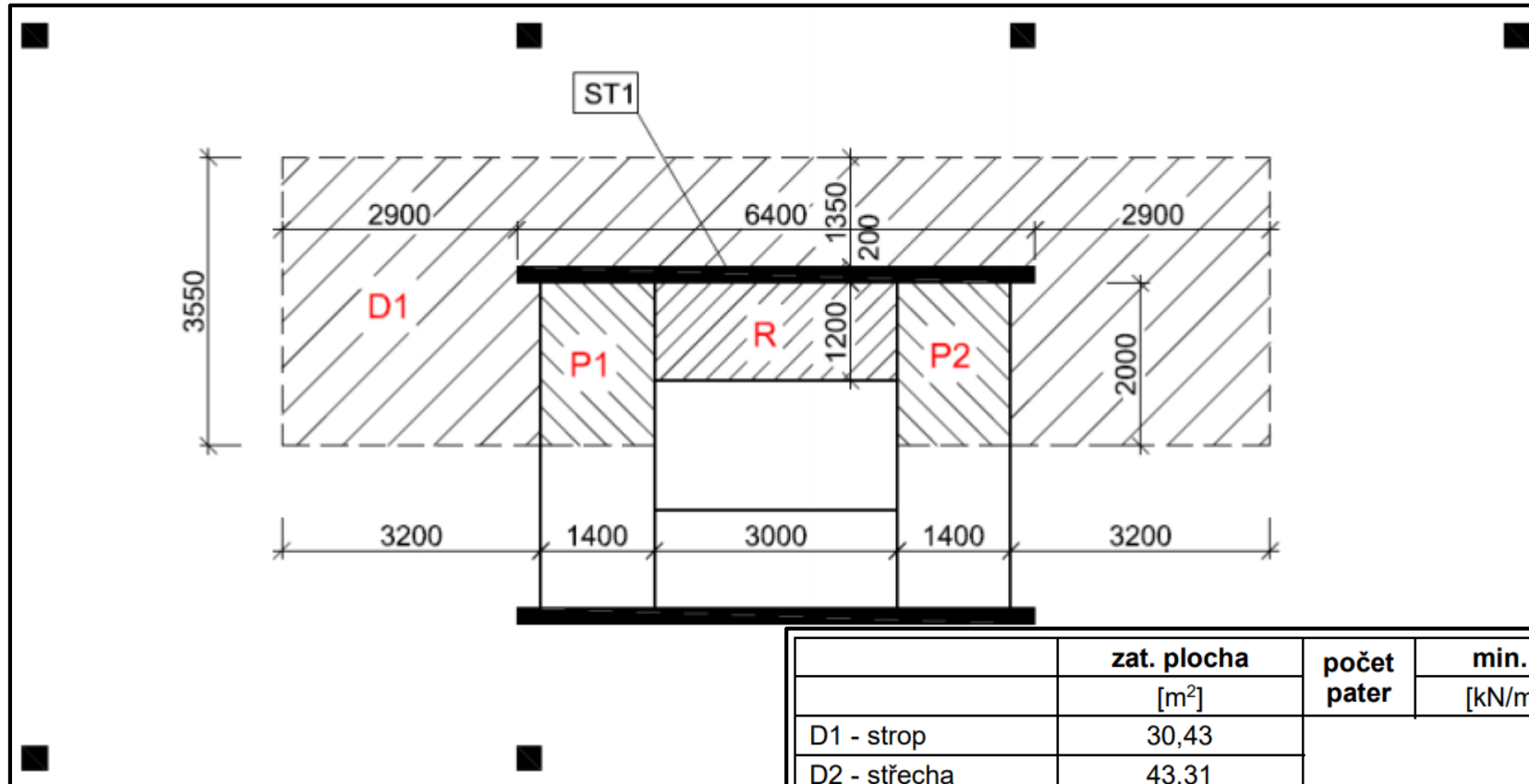
Tyto namáhání vyvozují v patní spáře **napětí**, které je nutné posoudit.

# Normálová síla od svislého zatížení

**Pro každou stěnu** stanovíme:

- 1) zatěžovací plochu stěny (plocha, ze které se vodorovné zatížení přenáší do stěny)

# Normálová síla od svislého zatížení



zatížení přenáší

	zat. plocha [m <sup>2</sup> ]	počet pater	min. zatížení ( $g_{0,k}$ )		max. zatížení ( $g+q$ ) <sub>d</sub>	
			[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN]
D1 - strop	30,43					
D2 - střecha	43,31					
P1 - podesta	2,80					
P2 - mezipodesta	2,80					
R - rameno	3,60					

# Normálová síla od svislého zatížení

**Pro každou stěnu** stanovíme:

- 1) zatěžovací plochu stěny (plocha, ze které se vodorovné zatížení přenáší do stěny)
- 2) síly přenášené z vodorovných konstrukcí (stropní deska / střešní deska / podesta / mezipodesta / rameno) do stěny

# Normálová síla od svislého zatížení

Pro každou stěnu stanovíme:

1	zat. plocha [m <sup>2</sup> ]	počet pater	min. zatížení ( $g_{0,k}$ )		max. zatížení ( $g+q$ ) <sub>d</sub>	
			[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN]
2	D1 - strop	4	6,25	760,75	15,23	1854,10
	D2 - střecha	1	6,25	270,69	12,53	542,78
	P1 - podesta	4	6,25	70,00	15,23	170,60
	P2 - mezipodesta	4	3,5	39,20	10,85	121,46
	R - rameno	4	6,31	90,86	13,02	187,49

# Normálová síla od svislého zatížení

**Pro každou stěnu** stanovíme:

- 1) zatěžovací plochu stěny (plocha, ze které se vodorovné zatížení přenáší do stěny)
- 2) síly přenášené z vodorovných konstrukcí (stropní deska / střešní deska / podesta / mezipodesta / rameno) do stěny
- 3) sílu v patě stěny od její vlastní tíhy

# Normálová síla od svislého zatížení

Pro každou stěnu stanovíme:

1	zat. plocha [m <sup>2</sup> ]	počet pater	min. zatížení ( $g_{0,k}$ )		max. zatížení ( $g+q$ ) <sub>d</sub>	
			[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN]
2	D1 - strop	4	6,25	760,75	15,23	1854,10
	D2 - střecha	1	6,25	270,69	12,53	542,78
3	P1 - podesta	4	6,25	70,00	15,23	170,60
	P2 - mezipodesta	4	3,5	39,20	10,85	121,46
	R - rameno	4	6,31	90,86	13,02	187,49
	ŽB stěna	3,5 . 6,4 . 0,2 . 25	5	-	560,00	756,00



# Normálová síla od svislého zatížení

**Pro každou stěnu** stanovíme:

- 1) zatěžovací plochu stěny (plocha, ze které se vodorovné zatížení přenáší do stěny)
- 2) síly přenášené z vodorovných konstrukcí (stropní deska / střešní deska / podesta / mezipodesta / rameno) do stěny
- 3) sílu v patě stěny od její vlastní tíhy
- 4) celkovou reakci v patě stěny (R)

# Normálová síla od svislého zatížení

Pro každou stěnu stanovíme:

1	zat. plocha [m <sup>2</sup> ]	počet pater	min. zatížení ( $g_{0,k}$ )		max. zatížení ( $g+q$ ) <sub>d</sub>	
			[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN]
2	D1 - strop	4	6,25	760,75	15,23	1854,10
	D2 - střecha	1	6,25	270,69	12,53	542,78
3	P1 - podesta	4	6,25	70,00	15,23	170,60
	P2 - mezipodesta	4	3,5	39,20	10,85	121,46
	R - rameno	4	6,31	90,86	13,02	187,49
4	ŽB stěna	5	-	560,00		756,00
			<b>R<sub>min</sub> =</b>	<b>1791,50</b>	<b>R<sub>max</sub> =</b>	<b>3632,44</b>

# Normálová síla od svislého zatížení

**Pro každou stěnu** stanovíme:

- 1) zatěžovací plochu stěny (plocha, ze které se vodorovné zatížení přenáší do stěny)
- 2) síly přenášené z vodorovných konstrukcí (stropní deska / střešní deska / podesta / mezipodesta / rameno) do stěny
- 3) sílu v patě stěny od její vlastní tíhy
- 4) celkovou reakci v patě stěn ( $R$ )

**Pro každou stěnu** tedy získáme reakci  $R_k$  pro (ZSS1 + ZSS2) a  $R_d$  pro (ZSS3 + ZSS5).

# Ohybový moment od zatížení větrem

Ohybový moment od zatížení větrem v patě ztužující stěny je

$$M_{w,1} = \frac{1}{2} w_{lin,1} H^2,$$

kde  $w_{lin,1}$  je liniové (charakteristické nebo návrhové) zatížení stěny od větru

$H$  je výška budovy

Ohybový moment stanovíme pro ZSW1 ( $M_{w,k,1}$ ) a pro ZSW2 ( $M_{w,d,1}$ ).

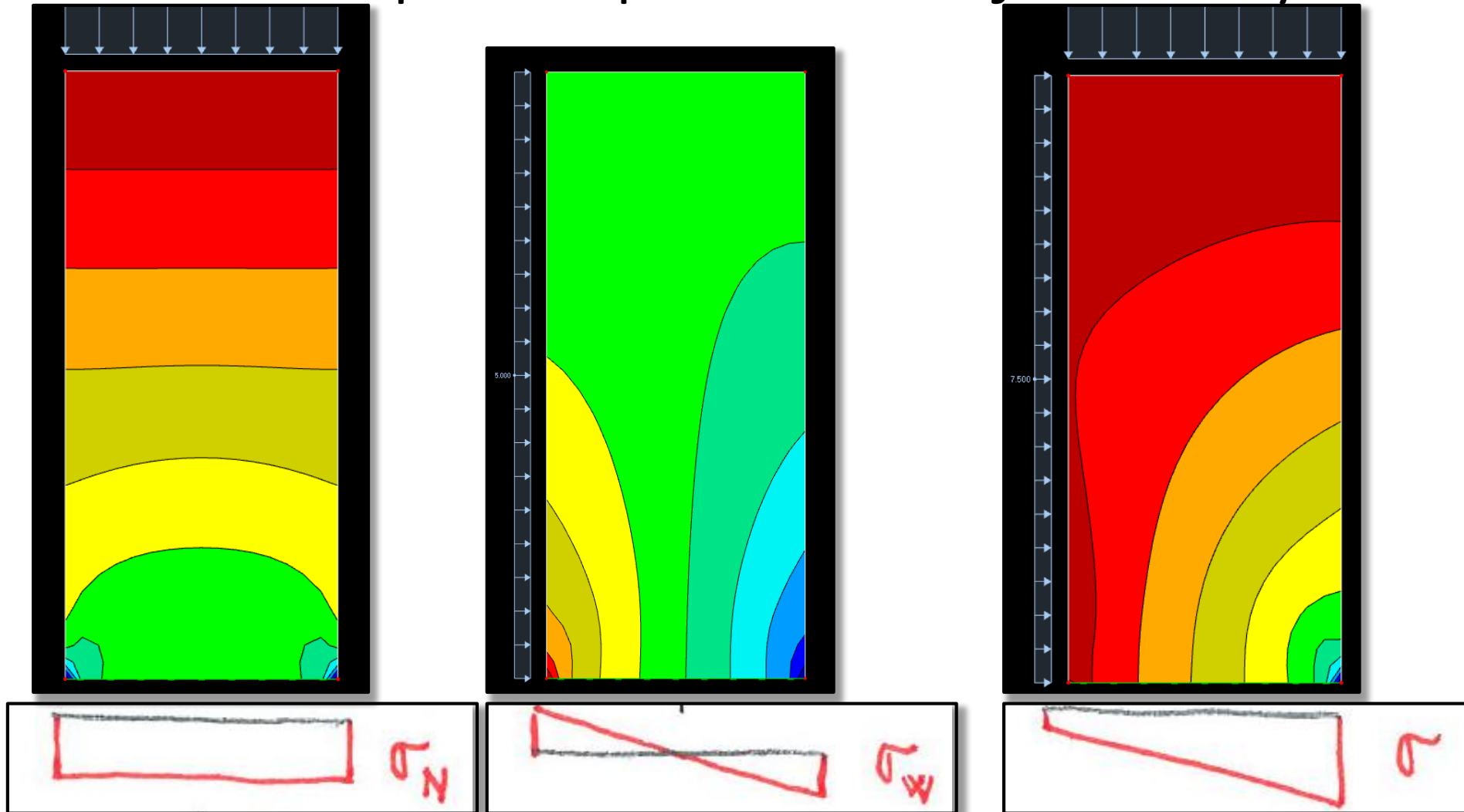
# Stanovení napětí v patě ztužující stěny

# Napětí v patě ztužující stěny

**Normálové napětí** v patní spáře je **způsobeno**:

- 1) normálovou silou** od svislého zatížení
- 2) ohybovým momentem** od větru (vodorovné síly)

# Napětí v patě ztužující stěny



# 1) Napětí od normálové síly

Napětí od normálové síly v patě dané stěny je

$$\sigma_N = \frac{R_i}{A_i},$$

kde  $R_i$  je celková reakce v patě stěny

$A_i$  je průřezová plocha této stěny v patě ( $A_i = tL$ ).

**Pro každou stěnu** stanovíme  $\sigma_{N,k}$  pro (ZSS1 + ZSS2) a  $\sigma_{N,d}$  pro (ZSS3 + ZSS4).



## 2) Napětí od ohybového momentu

Napětí od ohybového momentu v patě dané stěny je

$$\sigma_W = \frac{M_{w,1}}{W},$$

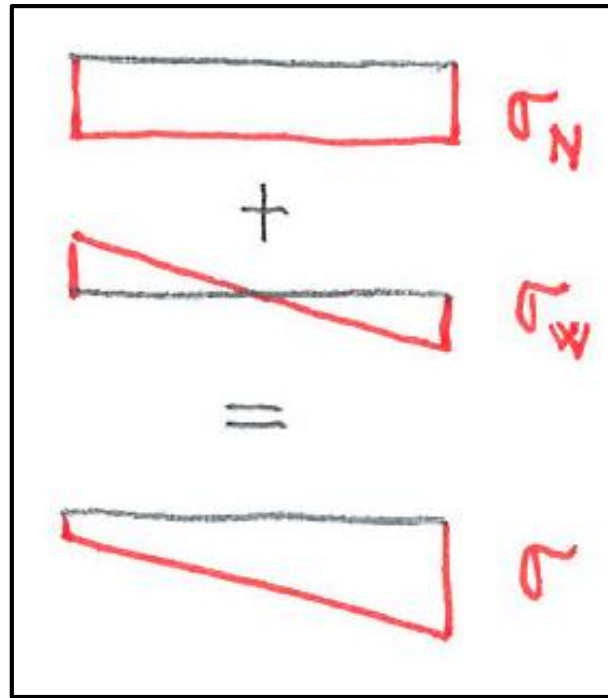
kde  $M_{w,1}$  je moment od zatížení větrem v patě ztužující stěny

$W$  je průřezový modul stěny ( $W = tL^2/6$ ).

**Pro každou stěnu stanovíme  $\sigma_{W,k}$  pro (ZSW1) a  $\sigma_{W,d}$  pro (ZSW2).**

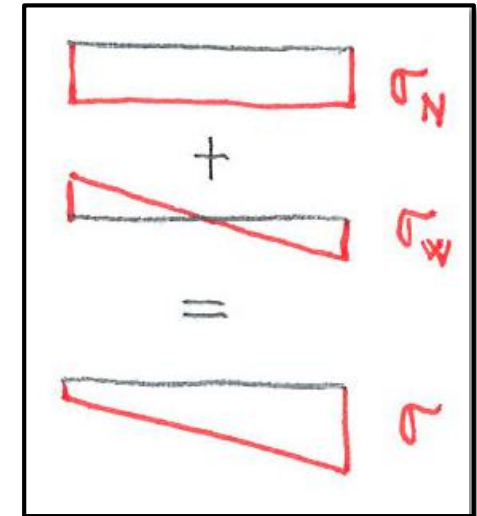
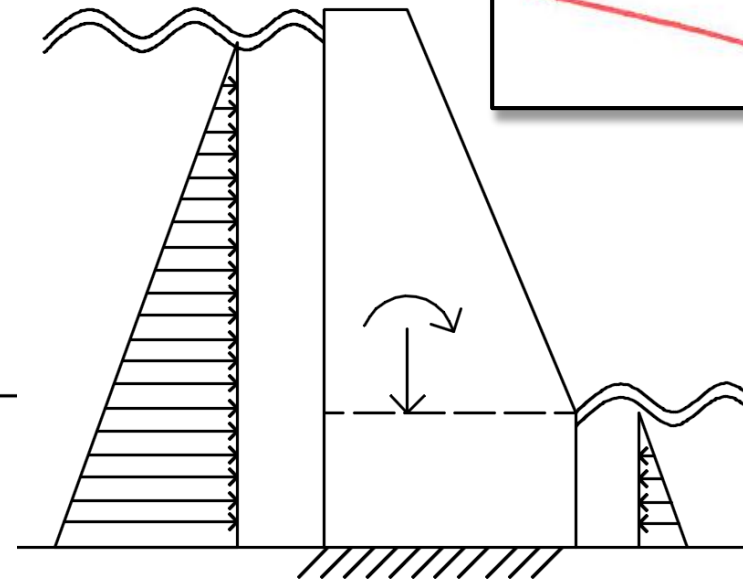
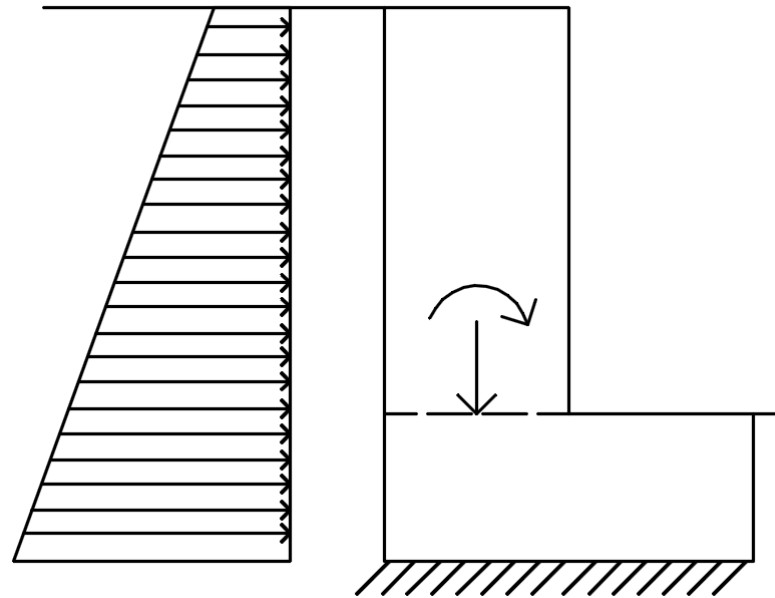
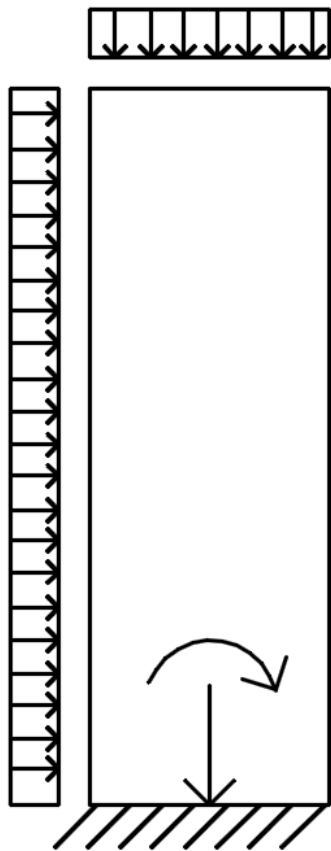
# Výsledné napětí v patní spáře

**Výsledné napětí v patě ztužující stěny je součtem napětí  $\sigma_N$  a  $\sigma_W$ .**



**Pro každou stěnu stanovíme  $\sigma_k$  pro (KZS1) a  $\sigma_d$  pro (KZS2).**

# Kombinace napětí od normálové síly a momentu



# Posouzení napětí v patě ztužující stěny

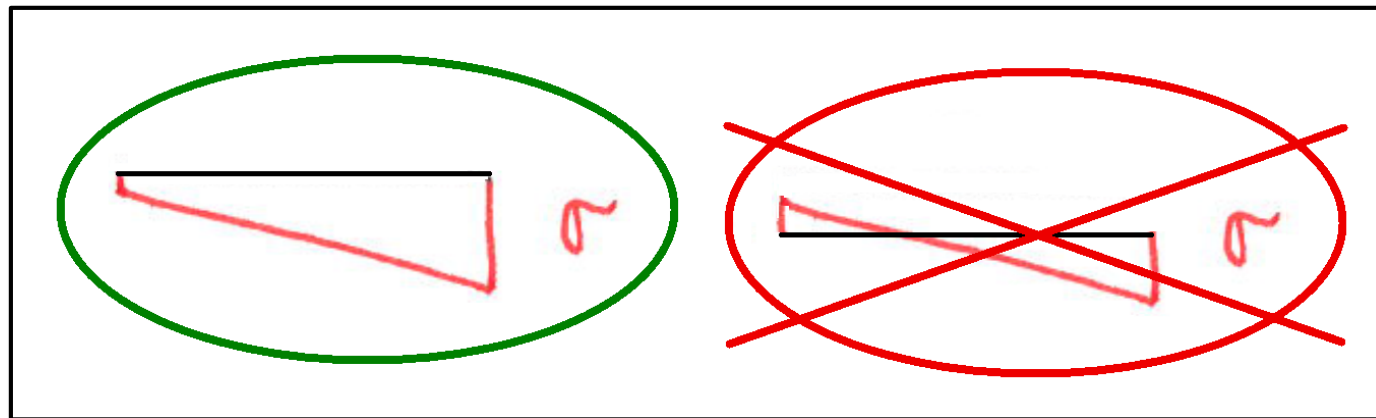
# Posouzení napětí v patní spáře stěny

Při posouzení budeme posuzovat dvě podmínky

- 1) Při **KZS1 nesmí vznikat tah** v patní spáře
- 2) Při **KZS2 nesmí být překročena únosnost v tlaku** v patní spáře

# Posouzení KSZ1

V zatěžovacím stavu **KZS1** nesmí v žádném místě patní spáry **nevznikat tahová napětí**.



Pokud v patní spáře stěny při KZS1 **vznikne** tahové napětí → **změníme návrh** (zvětšíme počet stěn nebo změníme jejich geometrii) a **výpočet opakujeme**.

## Případná úprava návrhu

Úpravu návrhu (stěn) provádějte rozumně vzhledem ke konstrukčnímu systému, například:

- protáhněte stěnu na celé pole (tj. od sloupu ke sloupu)
- protáhněte stěnu do dalšího pole (3, 4, 5, ...)
- přidejte stěnu do dalšího pole (B, C, D, ...)

Neprovádějte úpravu bezmyšlenkovitě – například „Přidáme 3x tu stejnou stěnu.“

# Návrh a posouzení výztuže



# Návrh výztuže

**Pro vybranou** stěnu navrhujeme výztuž.

- Svislá výztuž
- Vodorovná výztuž
- Příčná výztuž (spony)

Pro návrh výztuže budeme uvažovat největší napětí (tj. napětí při **KZS2**)  
– tedy  $\sigma_d$ .

# Návrh výztuže – konstrukční zásady

Nejprve výztuž navrhujeme po celé ploše dle konstrukčních zásad.

## Svislá výztuž

Min. plocha výztuže (ke každému povrchu polovinu $A_{s,min}$ )	$\geq 0,002 A_c$
Max.plocha výztuže (mimo přesah)	$0,04 A_c$
Osová vzdálenost	$\leq 3 t$ ( $t \dots$ tloušťka stěny) $\leq 400\text{mm}$

## Vodorovná výztuž

Min. plocha	25% plochy svislé výztuže $\geq 0,001 A_c$
Osová vzdálenost	$\leq 400\text{mm}$

Příčná výztuž = spony; jsou předepsané,  
pokud plocha svislé výztuže je větší než:  $0,02 A_c$

Svislá:

$\emptyset X \text{ à } Y \text{ mm}$  ( $A_{s,prov} = Z \text{ mm}^2/\text{m}'$ )

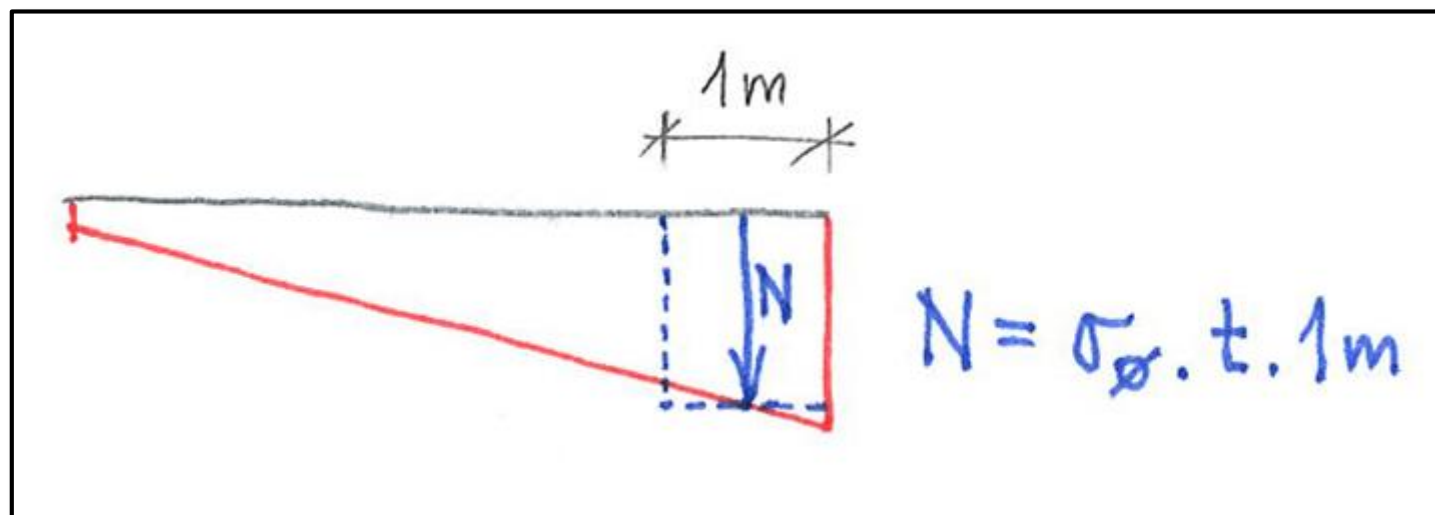
Vodorovná:

$\emptyset X \text{ à } Y \text{ mm}$  ( $A_{s,prov} = Z \text{ mm}^2/\text{m}'$ )

# Návrh svislé výztuže – vnitřní síly

Výztuž je nutné navrhnout také vzhledem k působícím vnitřním silám. Vnitřní síly stanovíme z průběh napětí  $\sigma_d$  pomocí „**segmentové metody**“.

- 1) Stěnu **rozdělíme na jednotlivé** části (segmenty) po jednom metru.
- 2) V každé části určíme **průměrné napětí**, a z něj **normálovou sílu**  $N_{Ed}$ .



# Návrh svislé výztuže

Pro sílu  $N_{Ed}$  navrhujeme **potřebnou plochu svislé výztuže**. Pro návrh (zjednodušeně) použijeme **podmínku dostředného tlaku**.

$$A_{s,req} = \frac{N_{Ed} - 0.8A_c f_{cd}}{\sigma_s},$$

kde  $A_c$  je plocha betonu ( $A_c = t \cdot 1 \text{ m}$ )

$\sigma_s$  je napětí ve výztuži ( $\sigma_s = 400 \text{ MPa}$ )

Výztuž navrhujeme s **určitou rezervou** (cca 15 až 30 %) pro zohlednění jednoduchosti návrhu a posouzení (zanedbán vliv štíhlosti a imperfekcí).

# Návrh svislé výztuže

Nejprve navrhujeme výztuž **pro nejvíce tlačný** (krajní) segment.

Pokud je **nutná plocha** výztuže pro přenesení vnitřních sil **větší než** plocha pomocí **konstrukčních zásad**, **upravíme návrh** výztuže v tomto segmentu.

Příklad:

$$A_{s,min} = 489 \text{ mm}^2/\text{m}'$$

$$A_{s,req} = 695 \text{ mm}^2/\text{m}'$$

→ **NÁVRH**  $\varnothing 10$  po 200 mm (10ks / 1m';  $A_{s,prov} = 785 \text{ mm}^2/\text{m}'$ )

# Návrh svislé výztuže

Nejprve navrhujeme výztuž **pro nejvíce tlačivý**

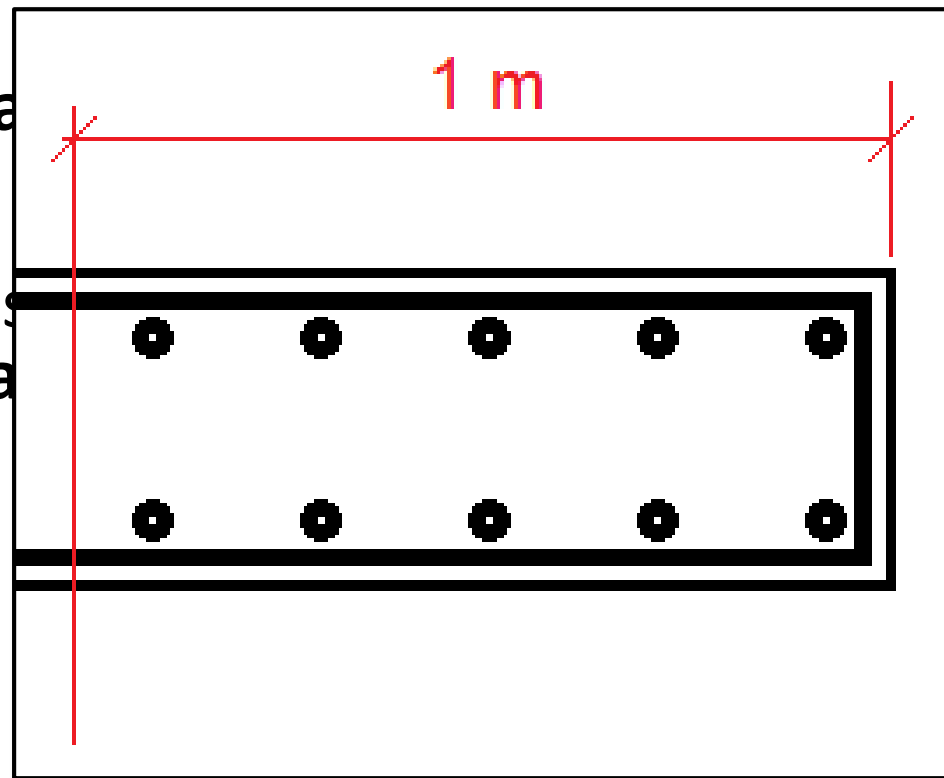
Pokud je **nutná plocha** výztuže pro přenesení  
plocha pomocí **konstrukčních zásad**, upravené  
segmentu.

Příklad:

$$A_{s,min} = 489 \text{ mm}^2/\text{m}'$$

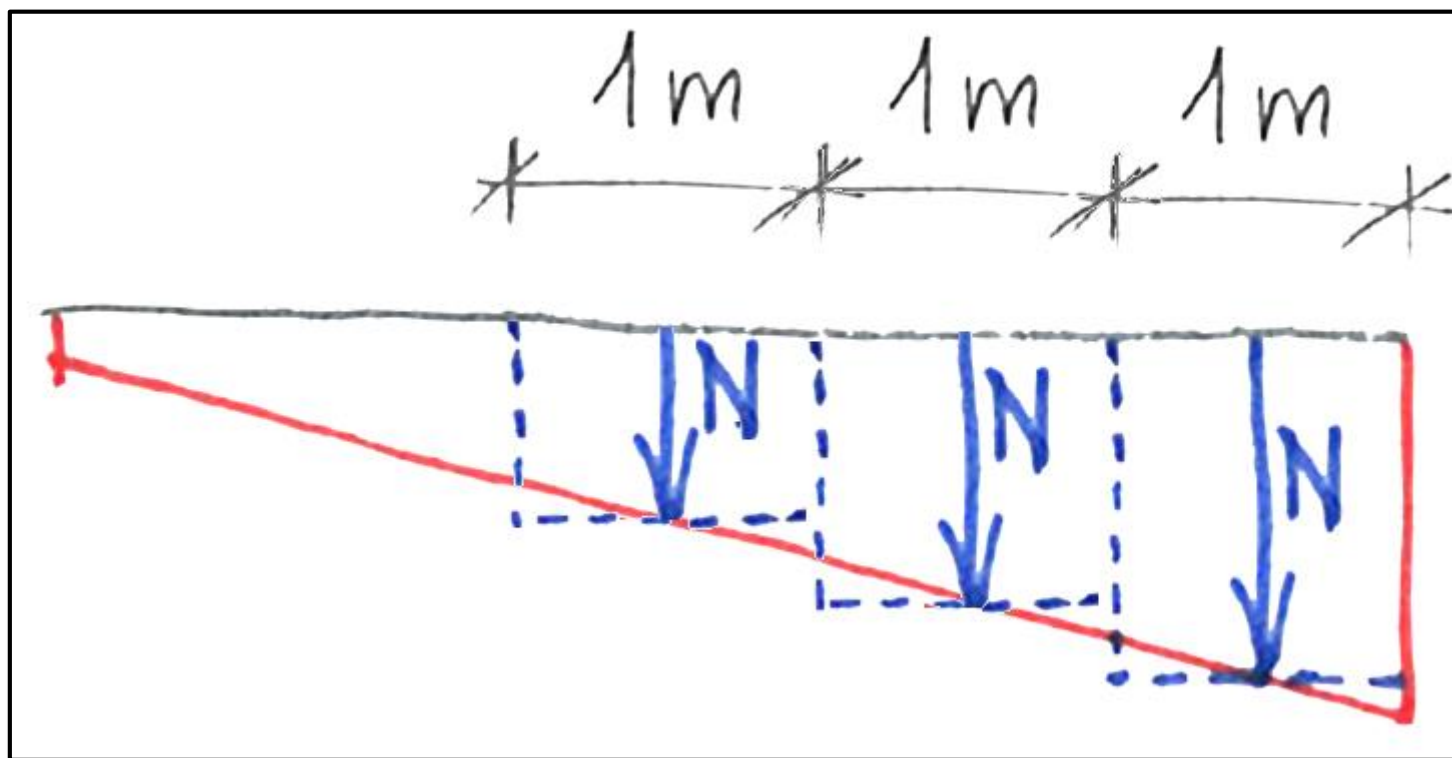
$$A_{s,req} = 695 \text{ mm}^2/\text{m}'$$

→ **NÁVRH**  $\varnothing 10$  po 200 mm (10ks / 1m';  $A_{s,prov} = 785 \text{ mm}^2/\text{m}'$ )



# Návrh svislé výztuže

Pro **další segmenty** postupujeme stejně, **dokud** není **nutná plocha** výztuže **menší než** plocha pomocí **konstrukčních zásad**.



# Návrh vodorovné výztuže

**Minimální plocha vodorovné výztuže je 25 % plochy svislé výztuže.**

**S úpravou svislé výztuže je tedy nutné upravit i množství vodorovné výztuže.**

**V oblasti stykování svislé výztuže zahustíme vodorovnou výztuž na poloviční rozteč.**



## Navíc Posouzení svislé výztuže – nepovinné

Posouzení stěny by se provedlo stejným postupem, jako posouzení sloupu (výpočet vlivu geometrických imperfekcí, stanovení štíhlosti, posouzení pomocí interakčního diagramu).

**Ve cvičeních posouzení nemusíte provádět.**

Navíc

## Další KZS – nepovinné

Správně bychom měli ještě stanovit průběh napětí v patě stěny od KZS3 (návrhová hodnota zatížení od větru + minimální svislé).

Pokud bychom získali tahová napětí, bylo by nutno pro tato napětí navrženou výztuž ověřit z hlediska únosnosti v prostém tahu.

Ve cvičeních nemusíte provádět výpočet pro KZS3.

# Skica výztuže

# Skica výztuže

Skica výztuže má obsahovat:

- půdorys,
- svislý řez,
- vodorovný řez.

Do skici zakreslete

- tvar konstrukce + kóty,
- výztuž (svislou, vodorovnou, případně spony) + kóty rozložení výztuže.

**Výztuž musí být symetrická** (tzn. že zahuštěné výztuž ve krajním segmentu bude na obou krajích), protože „vítr může foukat z obou stran“.

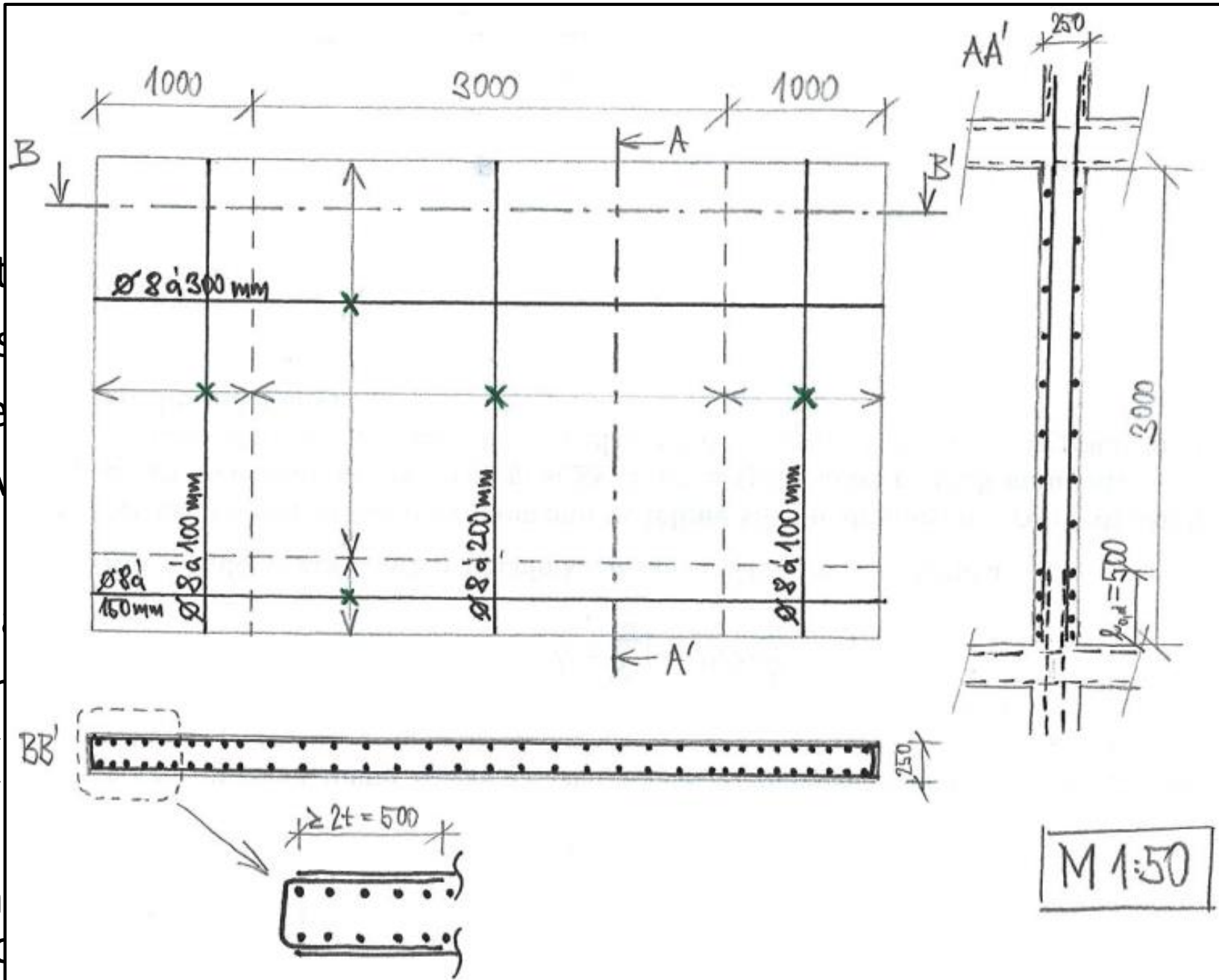
Skica výztuže

- půdorys
- svislý řez
- vodorovný řez

Do skici zahrňte

- tvar koruny
- výztuž (výztužník)

Výztuž musí být  
bude na č...



uže.

mentu

Díky za pozornost

# Poděkování

Děkuji **Radku Štefanovi, Tomáši Trtíkovi, a Hance Schreiberové** za časté konzultace při vypracovávání prezentace.

Děkuji **Stáňovi Zažirejovi** za poskytnutí vizualizací a obrázků.

Děkuji **Petru Bílému a Martinovi Tipkovi** za vytvoření a udržování oficiálních podkladů, ze kterých vychází tato prezentace.