

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA STAVEBNÍ**

**Katedra betonových a zděných konstrukcí**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Příloha 1: Statický výpočet**

**Dodatečné provádění otvorů v nosných stěnách  
panelových objektů**

## **Materiály**

### **C16/20**

$$f_{ck} = 16 \text{ MPa}, f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_m} = \frac{16}{1,5} = 10,67 \text{ MPa} =$$

$$f_{ctk,0,05} = 1,3 \text{ MPa}, f_{ctd,0,05} = \frac{f_{ctk,0,05}}{\gamma_m} = \frac{1,3}{1,5} = 0,87 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 27,5 \text{ GPa}$$

$$\nu = 0,2$$

Pozn.: C16/20 použit jako ekvivalent pro B20

### **C12/15**

$$f_{ck} = 12 \text{ MPa}, f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_m} = \frac{12}{1,5} = 8 \text{ MPa} =$$

$$f_{ctk,0,05} = 1,1 \text{ MPa}, f_{ctd,0,05} = \frac{f_{ctk,0,05}}{\gamma_m} = \frac{1,1}{1,5} = 0,73 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 26 \text{ GPa}$$

Pozn.: C12/15 použit jako ekvivalent pro B15

### **Ocel 10 335**

$$f_{yk} = 300 \text{ MPa}, f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_m} = \frac{300}{1,15} = 261 \text{ MPa}$$

### **CFRP výztuž**

Lamely: CarboLamela typ M

$$E = 210 \text{ GPa}$$

$$f_{t,CFRP} = 2480 \text{ MPa}$$

$$f_{t,CFRP,d} = \frac{f_{t,CFRP,k}}{\gamma_{FRP,m}} \frac{2480}{1,2} = 2067 \text{ MPa}$$

Tkanina: CarboWrap typ C

$$E = 235 \text{ GPa}$$

$$f_{t,CFRP} = 4410 \text{ MPa}$$

$$f_{t,CFRP,d} = \frac{f_{t,CFRP,k}}{\gamma_{FRP,m}} \frac{4410}{1,2} = 3675 \text{ MPa}$$

## Zatížení

### Přehled uvažovaného zatížení

#### Vlastní tíha nosných konstrukcí

Typ	Zatížení		Výpočet	Char. Zat. [kN/m]	Souč.	Návrh. Zat. [kN/m]
Stálé	Vlastní tíha	ŽB stěnový panel	-	9,14	1,35	12,3
		ŽB stropní panel	-	13,5	1,35	18,23
		Nadpraží otvoru	-	2,25	1,35	3,03

Pozn.: Charakteristické zatížení od panelových dílců je přepočítáno na základě hmotnosti panelů uváděných v Rochlových tabulkách.

#### Ostatní stálé zatížení

Typ	Zatížení		Výpočet	Char. Zat. [kN/m]	Souč.	Návrh. Zat. [kN/m]
Stálé	Strop	Omítka	0,01*18*3,6	0,65	1,35	0,87
		Bet. mazanina	0,05*23*3,6	4,14	1,35	5,59
		PVC	0,02*14*3,6	1,01	1,35	1,36
		<b>Celkem ostatní stálé stropu</b>		<b>5,8</b>	<b>1,35</b>	<b>7,82</b>
	střecha	Omítka	0,01*18*3,6	0,65	1,35	0,87
		Škvárový násyp	0,15*15*3,6	8,1	1,35	10,94
		Asfaltové pásy	0,01*13*3,6	0,47	1,35	0,63
		<b>Celkem ostatní stálé střechy</b>		<b>9,22</b>	<b>1,35</b>	<b>12,44</b>

#### Proměnné zatížení běžného podlaží na stěnu

Typ	Zatížení	Výpočet	Char. Zat. [kN/m]	Souč.	Návrh. Zat. [kN/m]
Proměnné	Užitné	1,5*3,6	5,4	1,5	8,1

Pozn.: Užitné zatížení uvažováno dle EN 1991-1-1 pro kategorii A (plochy pro domácí a obytné činnosti).

### Proměnné zatížení střechy na stěnu

Typ	Zatížení	Výpočet	Char. Zat. [kN/m]	Souč.	Návrh. Zat. [kN/m]
Proměnné	Užitné	$0,75 \cdot 3,6$	2,70	1,5	4,05
Proměnné	Sníh	$(0,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,8) \cdot 3,6$	2,02	1,5	3,02
<b>Celkem</b>			<b>4,54</b>	<b>1,5</b>	<b>7,07</b>

Pozn.: Užitné zatížení uvažováno dle EN 1991-1-1 pro kategorii H (nepřístupné střechy s výjimkou běžné údržby a oprav).

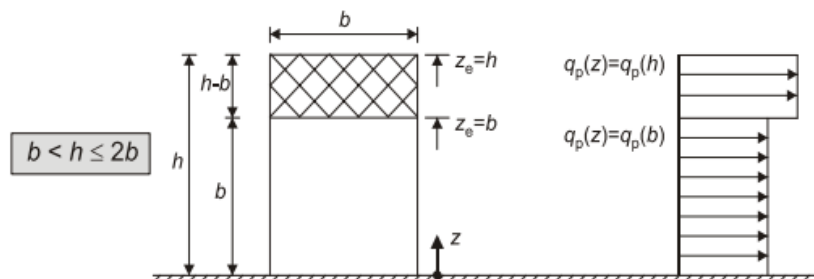
Sněhová oblast I (Děčín) – charakteristické zatížení  $0,7 \text{ kN/m}^2$ , součinitel expozice pro normální typ krajiny  $C_e = 1$ , tepelný součinitel bezpečně uvažován  $C_t = 1$ , tvarový součinitel pro plochou střechu  $\mu_1 = 0,8$ .

### **Zatížení větrem**

- Děčín – větrná oblast II -> základní rychlost větru:  $v_b = 25 \text{ m/s}$ 
  - o Základní tlak větru:  $q_b = 0,5 \cdot \rho \cdot v_b^2 = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 25^2 = 0,39 \text{ kPa}$
- Kategorie terénu: III – plocha rovnoměrně pokrytá vegetací, budovami a překážkami
- Výška atiky nad terénem:  $h = 23 \text{ m}$
- Půdorysné rozměry  $12 \times 18 \text{ m}$  (posuzován panelový objekt s jednou sekcí)

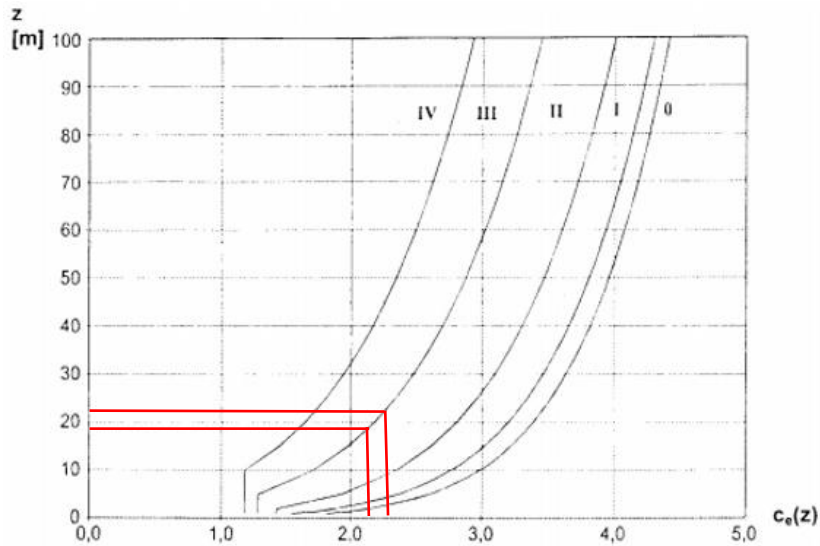
### Příčný vítr

- $b = 18 \leq h = 23 \leq 2b = 36 \text{ [m]}$



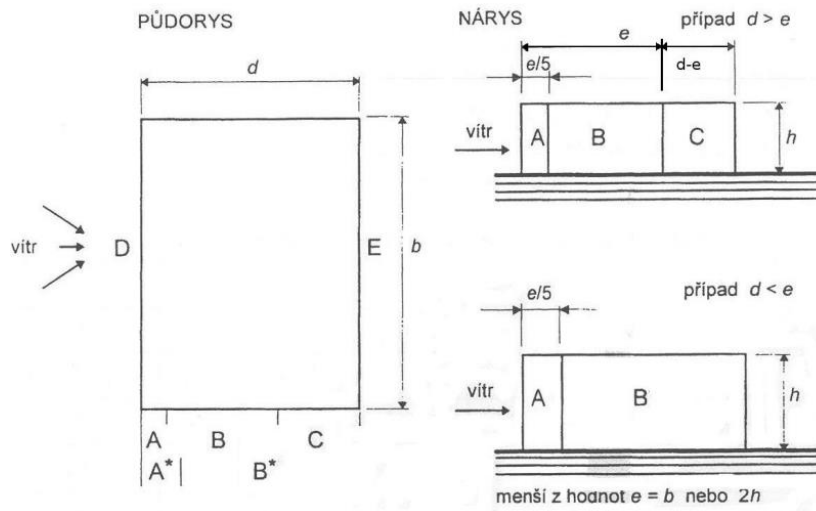
Referenční výška budovy

- $z_{e1} = 18 \text{ m}, z_{e2} = 23 \text{ m}$



Součinitel expozice  $c_e(z)$

-  $c_e(z)_1 = 2.1, c_e(z)_2 = 2.3$



Součinitel vnějšího tlaku  $c_{pe}$  – oblasti pro svislé stěny

Oblast	A		B		C		D		E	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5	-0,5	+0,8	+1,0	-0,7	-0,7
1	-1,2	-1,4	-1,4	-1,1	-0,5	-0,5	+0,8	+1,0	-0,5	-0,5
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5	-0,5	+0,7	+1,0	-0,3	-0,3
v tabulce lze interpolovat										

Součinitel vnějšího tlaku pro svislé stěny pozemních staveb s pravoúhlým půdorysem

- $h/d = 23/18 = 1,28$
- $D = 0,8$
- $E = -0,5 - (-0,2/4) * 0,28 = -0,51$

Charakteristická hodnota zatížení větrem se pak stanoví jako:

$$w_k = q_b * c_e(z) * c_{pe}$$

$$w_{kD1} = 0,39 * 2,1 * 0,8 = 0,66 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{kD2} = 0,39 * 2,3 * 0,8 = 0,72 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{kE1} = 0,39 * 2,1 * (-0,51) = -0,42 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{kE2} = 0,39 * 2,3 * (-0,51) = -0,46 \text{ kN/m}^2$$

Pozn.: Hodnoty  $w_{kD1}$  a  $w_{kD2}$  představují charakteristické zatížení od větru na návětrné straně a  $w_{kE1}$  a  $w_{kE2}$  charakteristické hodnoty zatížení od větru na závětrné straně. Pro zatížení na stěnu musíme hodnoty vynásobit zatěžovací šířkou (3,6 m).

## **Ověření správnosti výpočtů výpočetního modelu**

### **2D model**

#### Ruční výpočet:

Ostatní stálé, střecha: 22,72 kN/m

Ostatní stálé, běžné podlaží: 19,3 kN/

Tloušťka stěnového panelu: 140 mm

Objemová hmotnost materiálu panelu: 25kN/m<sup>3</sup>

Konstrukční výška patra: 2800 mm

Počet podlaží: 2

Zatěžovací šířka: 1000 mm

---


$$N_y = - 22,72 * 1 * 1,35 + 19,3 * 1 * 1,35 + 0,14 * 25 * 2,8 * 2 * 1 = - 83,2 \text{ kN/m}$$

$$-83,2 \text{ kN/m} \approx -85,3 \text{ kN/m}$$

### **3D model**

#### Ruční výpočet:

Tloušťka stropního panelu: 150 mm

Objemová hmotnost materiálu panelu: 25kN/m<sup>3</sup>

Ostatní stálé zatížení: 1,61 kN/m<sup>2</sup>

Rozpon nosníku: 3600 mm

Zatěžovací šířka: 1000 mm

---

$$g_{0k} = 0,15 \cdot 1 \cdot 25 = 3,75 \text{ kN/m}$$

$$f_d = (3,75 + 1,61 \cdot 1) \cdot 1,35 = 7,24$$

$$M_y = 1/8 \cdot f \cdot l^2$$

$$M_y = 1/8 \cdot 7,24 \cdot 3,6^2$$

$$M_y = 11,72 \text{ kNm/m}$$

$$11,72 \text{ kNm/m} \approx 11,43 \text{ kNm/m}$$

### **Statické ověření varianty 1**

Ve variantě 1 je posuzován samostatný otvor vytvořený v plném panelu, vytvořený pro propojení dvou bytových jednotek.

#### Geometrické parametry panelu:

Výška panelu  $h = 2650 \text{ mm}$

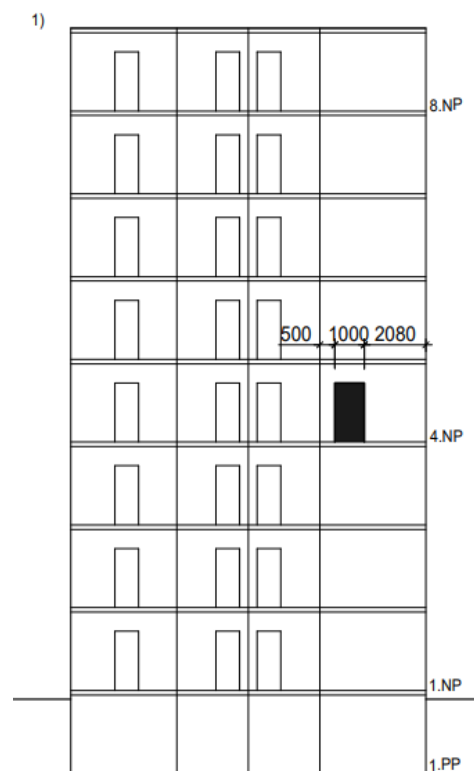
Šířka panelu  $b = 3580 \text{ mm}$

Tloušťka panelu  $t = 140 \text{ mm}$

Výška otvoru  $h_o = 1000 \text{ mm}$

Šířka otvoru  $b_o = 1000 \text{ mm}$

#### Schéma řešení varianty:



### Posouzení nově vzniklého pilíře na únosnost v tlaku:

$$b_p = 500 \text{ mm}$$

$$t = 140 \text{ mm}$$

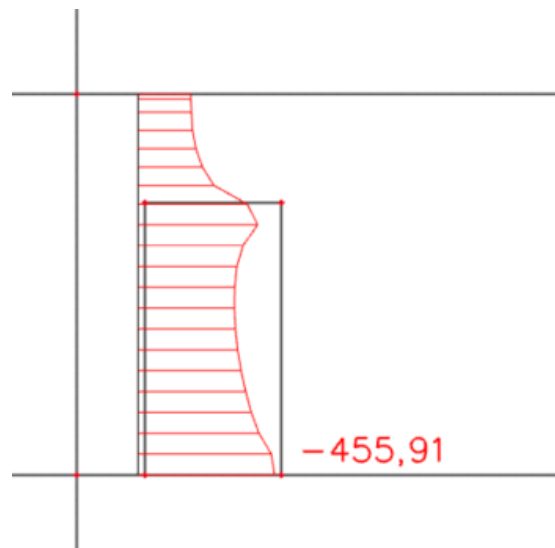
$$h = 2650 \text{ mm}$$

C16/20

$$f_{ck} = 16 \text{ MPa}$$

$$e = 20 \text{ mm}$$

Maximální posouvající síla v nově vzniklém pilíři od kombinace zatížení



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

$$N_{Rd} = \eta * f_{cd} * b_p * t * (1 - 2e/h)$$

$$\eta = 1, \quad \text{dle čl. 3.1.7 Eurokódu 2}$$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c = 0,8 * 16 / 1,5 = 8,53 \text{ MPa}$$

$$N_{Rd} = 1 * 8,53 * 500 * 140 * (1 - 2 * 20 / 2650) = 588\,087 \text{ N} = 588,1 \text{ kN}$$

$$\underline{N_{Rd} = 588,1 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 456 \text{ kN} \quad \text{Vyhoví}}$$



## Návrh výztuže z CFRP materiálů

**Přepočet staticky nutné betonářské výztuže ve směru x na potřebnou plochu vyztužujících lamel**

Zesilující CFRP lamely:

Typ lamely: CarboLamela Typ M

Šířka lamely  $b_{\text{CFRP}} = 50 \text{ mm}$

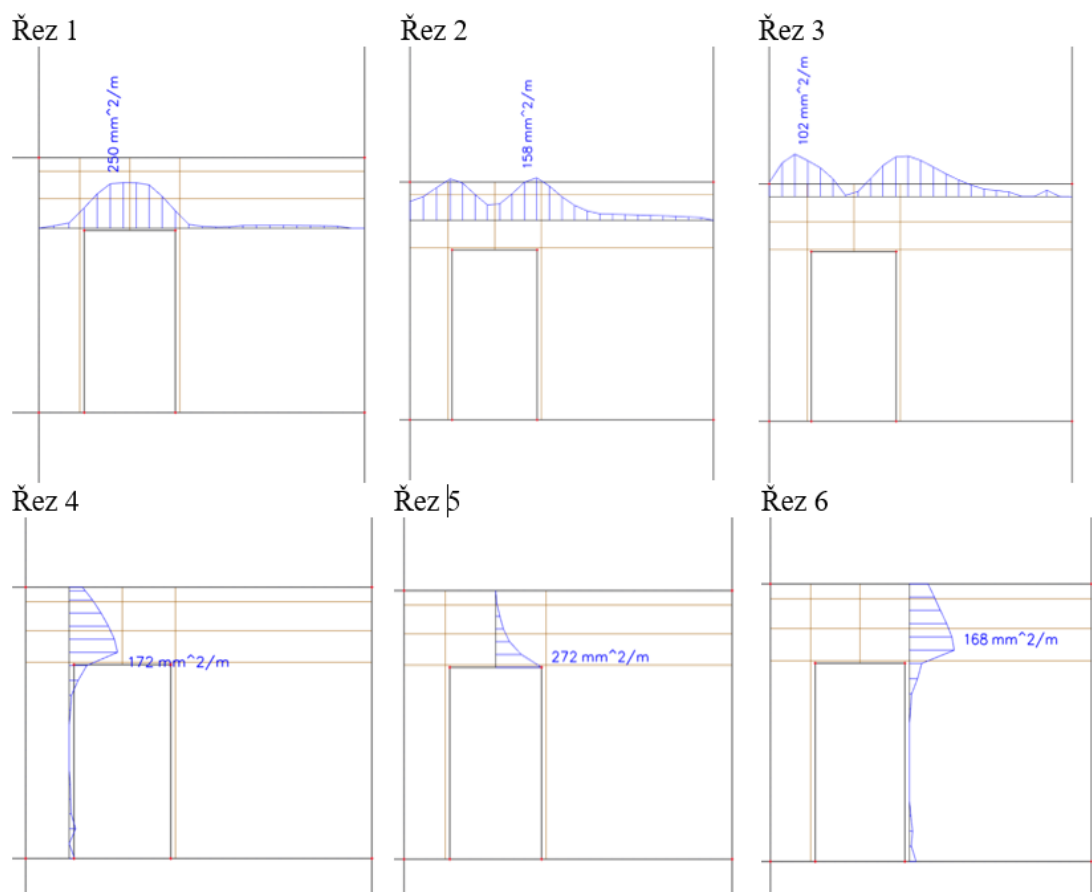
Tloušťka lamely  $t_{\text{CFRP}} = 1,4 \text{ mm}$

Modul pružnosti  $E = 210 \text{ GPa}$

Mez pevnosti v tahu  $f_{t,\text{CFRP}} = 2480 \text{ MPa}$

---

Staticky nutná výztuž ve směru x (vodorovná výztuž)



- Předpoklad dosažení meze kluzu v nutné betonářské výztuži:  $\sigma = 435 \text{ MPa}$
- Potřebná plocha výztuže bude uvažována 239 mm<sup>2</sup>/m, maximální hodnota 285 mm<sup>2</sup>/m z řezu 5 nebude uvažována, jedná se o extrém na hraně plochy, který neodpovídá reálnému působení konstrukce

$$F = A * f_{yd} = 250 * 435 = 108\,750\text{N}$$

$$A = \frac{F}{f_{t,\text{CFRP},d}} = \frac{108\,750}{2067} = 52,6 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$f_{t,\text{CFRP},d} = \frac{f_{t,\text{CFRP},k}}{\gamma_{\text{FRP},m}} \frac{2480}{1,2} = 2067 \text{ MPa}$$

Návrh CarboLamela Typ M 50/1,4 mm ( $A = 70 \text{ mm}^2/\text{m}$ ) délky 2 m, při obou površích

**Přepočet staticky nutné betonářské výztuže ve směru y na potřebnou plochu zesilující CFRP tkaniny**

Zesilující CFRP tkanina

Typ tkaniny: CarboWrap Typ G

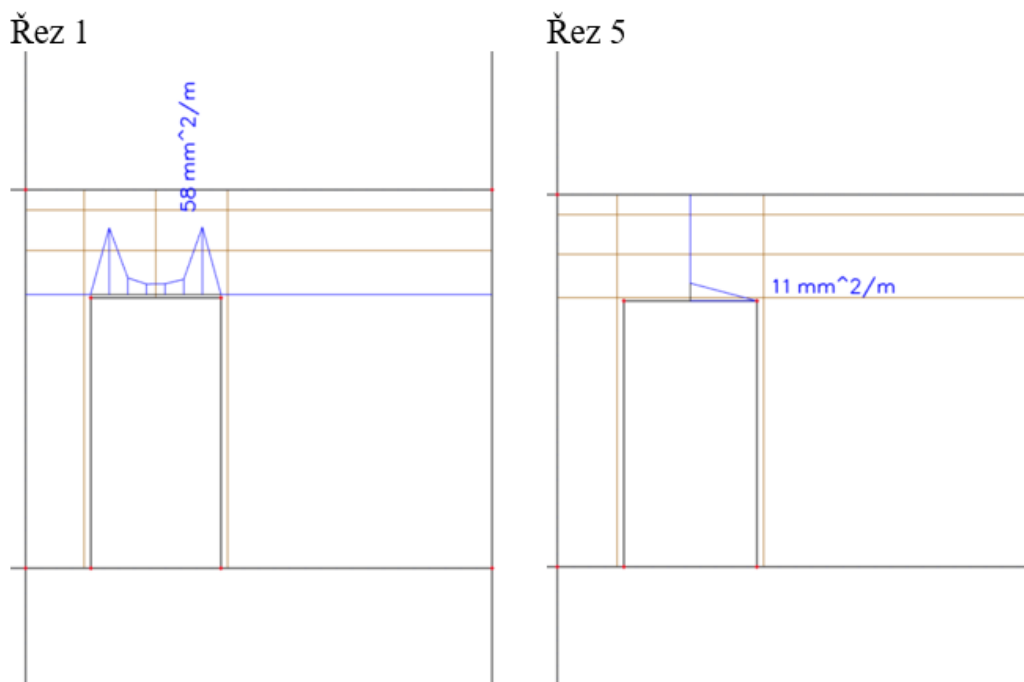
Šířka pásů:  $b_{\text{CFRP}} = 300 \text{ mm}$

Tloušťka tkaniny  $t_{\text{CFRP}} = 0,167 \text{ mm}$

Modul pružnosti  $E = 210 \text{ GPa}$

Pevnost v tahu  $f_{t,\text{CFRP}} = 4300 \text{ MPa}$

Staticky nutná výztuž ve směru y (svislém směru)



Pozn.: V řezech 2,3, 4 a 6 je staticky nutná výztuž ve směru y rovna  $0 \text{ mm}^2/\text{m}$ .

$$F = A * f_{yd} = 58 * 435 = 25\,230\text{N}$$

$$A = \frac{F}{f_{t,\text{CFRP},d}} = \frac{25230}{3583,3} = 7,1 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$f_{t,\text{CFRP},d} = \frac{f_{t,\text{CFRP},k}}{\gamma_{\text{FRP},m}} \frac{4300}{1,2} = 3583,3 \text{ MPa}$$

Návrh CarboWrap Typ G 300/0,167 mm (A = 50,1 mm<sup>2</sup>/m) délky 650 mm, při obou površích

### Výpočet Metodou stěnového nosníku

- Moment v poli uvažován jako  $1/12fl^2$
- Vzhledem k rozpětí zatížení uvažované jen z jednoho podlaží

Typ	Zatížení	Výpočet	Char. Zat. [kN/m]	Souč.	Návrh. Zat. [kN/m]
Stálé	Stropní panel	0,15*25*3,6	13,5	1,35	18,23
	Skladba podlahy	5,8	5,8	1,35	7,83
	Nadpraží otvoru	0,14*25*0,65	2,28	1,35	3,07
Stálé celkem			<b>21,58</b>		<b>29,13</b>
Prom.	Užitné	1,5*3,6	5,4	1,5	8,1
Zatížení celkem			<b>26,98</b>		<b>37,23</b>

$$M_{Ed} = 1/12 * f * l^2$$

$$M_{Ed} = 1/12 * 37,23 * 1^2 = 3,1 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = (0,8 * f_{ctm}/\gamma_c) * A * r$$

$$r = 0,6 \quad h = 0,6 * 650 = 390 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = (0,8 * 1300/1,5) * 0,18/2 * 0,14 * 0,390 = 3,41 \text{ kNm}$$

$$\underline{M_{Rd} = 3,41 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 3,1 \text{ kNm}}$$

## Statické ověření varianty 2

Ve variantě 2 je posuzován samostatný otvor vytvořený v plném panelu za předpokladu, že v 5.NP již byl v minulosti otvor proveden. Otvory jsou provedeny nad sebou.

### Geometrické parametry panelu:

Výška panelu  $h = 2650$  mm

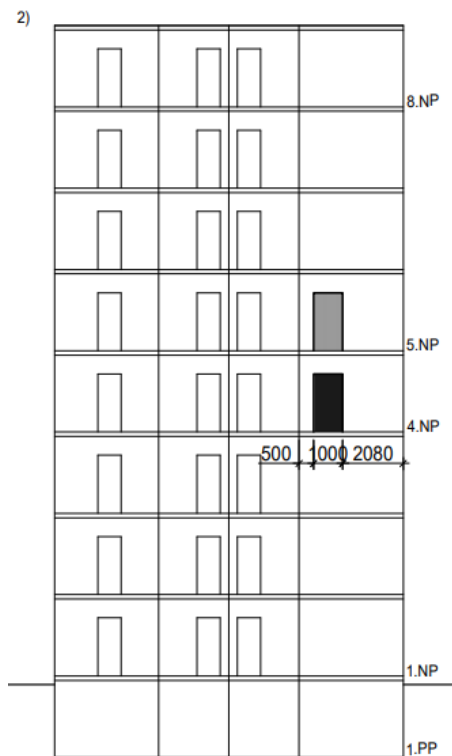
Šířka panelu  $b = 3580$  mm

Tloušťka panelu  $t = 140$  mm

Výška otvoru  $h_o = 1000$  mm

Šířka otvoru  $b_o = 1000$  mm

### Schéma řešené varianty:



### Posouzení nově vzniklého pilíře na únosnost v tlaku:

$$b_p = 500 \text{ mm}$$

$$t = 140 \text{ mm}$$

$$h = 2650 \text{ mm}$$

C16/20

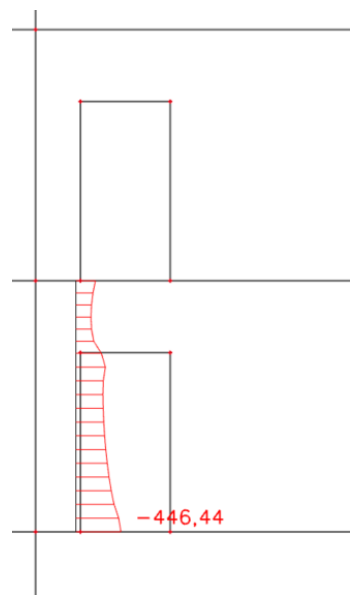
$$f_{ck} = 16 \text{ MPa}$$

$$e = 20 \text{ mm}$$

$$N_{Rd} = -588,1 \text{ kN (viz varianta 1)}$$

---

Maximální posouvající síla v nově vzniklém pilíři od kombinace zatížení



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

$$N_{Rd} = 588,1 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 446,4 \text{ kN} \quad \text{Vyhoví}$$

### Návrh výztuže z CFRP materiálů

**Přepočet staticky nutné betonářské výztuže ve směru x na potřebnou plochu vyztužujících CFRP lamel**

Zesilující CFRP lamely:

Typ lamely: CarboLamela Typ M

Šířka lamely  $b_{CFRP} = 50 \text{ mm}$

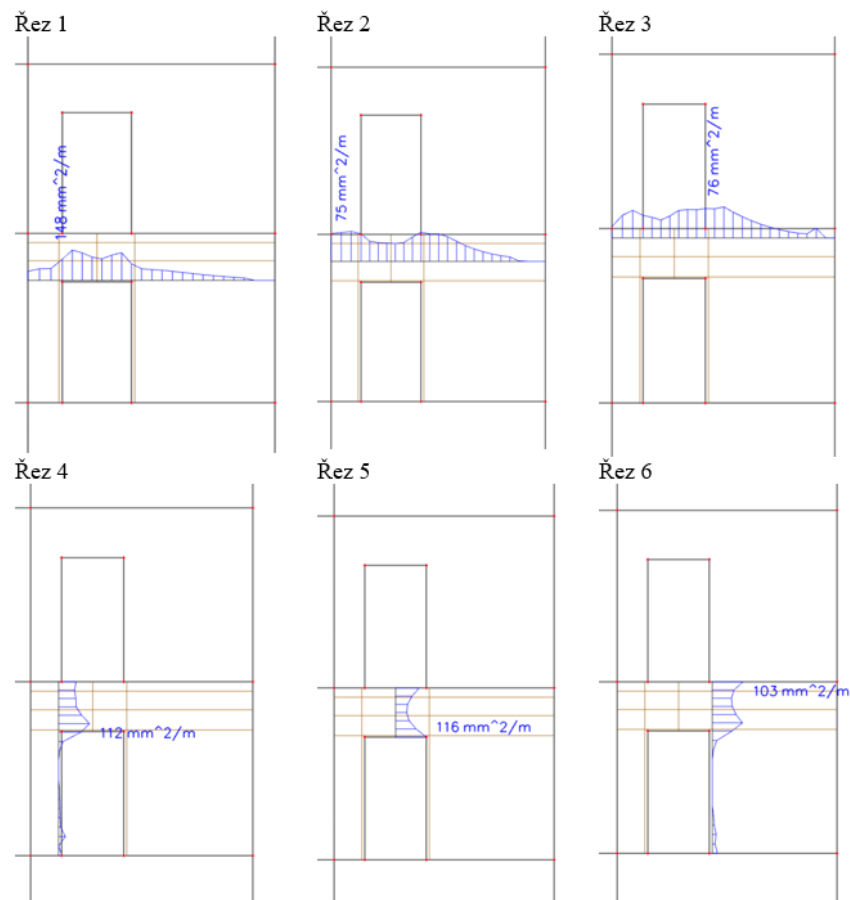
Tloušťka lamely  $t_{CFRP} = 1,4 \text{ mm}$

Modul pružnosti  $E = 210 \text{ GPa}$

Mez pevnosti v tahu  $f_{t,CFRP} = 2480 \text{ MPa}$

---

Statically nutná výztuž ve směru x (vodorovná výztuž)



- Předpoklad dosažení meze kluzu v nutné betonářské výztuži:  $\sigma = 435 \text{ MPa}$
- Potřebná plocha výztuže bude uvažována  $148 \text{ mm}^2/\text{m}$

$$F = A * f_{yd} = 148 * 435 = 64\,380 \text{ N}$$

$$A = \frac{F}{f_{t,\text{CFRP},d}} = \frac{64\,380}{2067} = 31,1 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$f_{t,\text{CFRP},d} = \frac{f_{t,\text{CFRP},k}}{\gamma_{\text{FRP},m}} \frac{2480}{1,2} = 2067 \text{ MPa}$$

Návrh CarboLamela Typ M 50/1,4 mm ( $A = 70 \text{ mm}^2/\text{m}$ ) délky 2 m, při obou površích

## Přepočet staticky nutné betonářské výztuže ve směru y na potřebnou plochu zesilující CFRP tkaniny

### Zesilující CFRP tkanina

Typ tkaniny: CarboWrap Typ G

Šířka pásů:  $b_{CFRP} = 300 \text{ mm}$

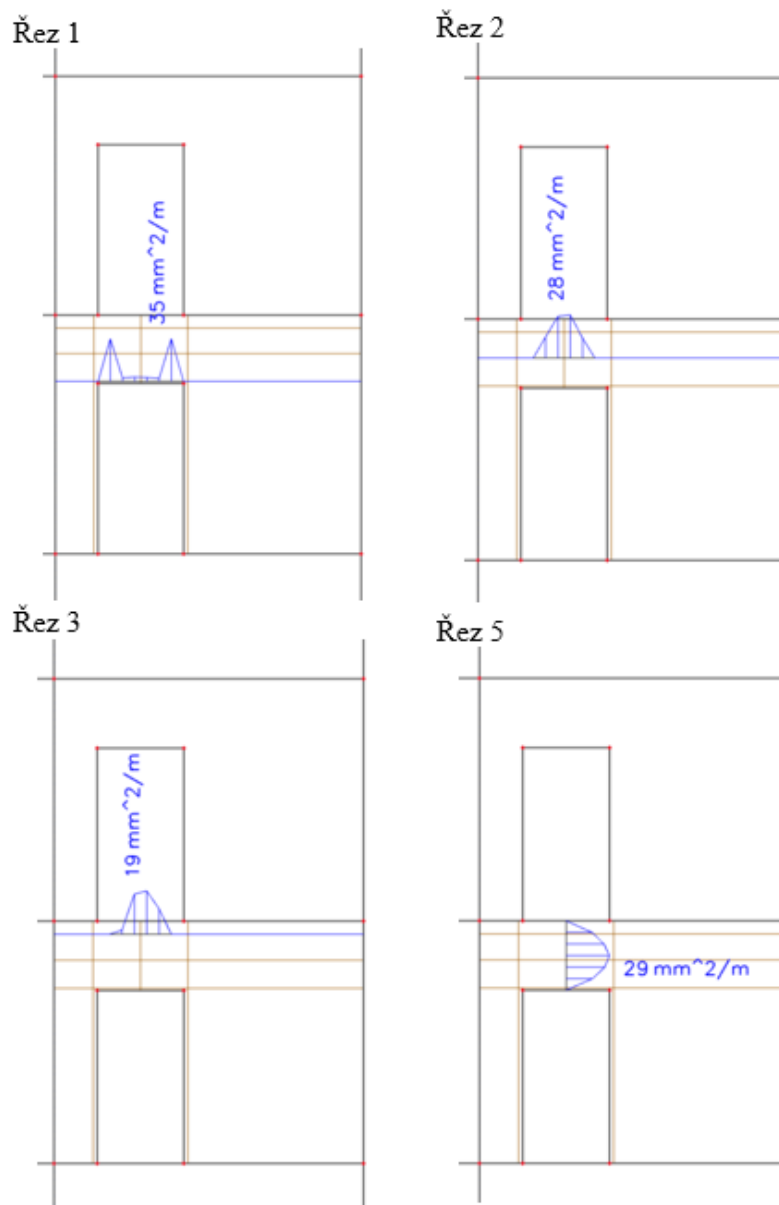
Tloušťka tkaniny  $t_{CFRP} = 0,167 \text{ mm}$

Modul pružnosti  $E = 210 \text{ GPa}$

Pevnost v tahu  $f_{t,CFRP} = 4300 \text{ MPa}$

---

Staticky nutná výztuž ve směru y (svislém směru)



Pozn.: V řezech 2,3, 4 a 6 je staticky nutná výztuž ve směru y rovna 0 mm<sup>2</sup>/m.

$$F = A * f_{yd} = 35 * 435 = 15\,225\text{N}$$

$$A = \frac{F}{f_{t,\text{CFRP},d}} = \frac{15225}{3583,3} = 4,3 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$f_{t,\text{CFRP},d} = \frac{f_{t,\text{CFRP},k}}{\gamma_{\text{FRP},m}} \frac{4300}{1,2} = 3583,3 \text{ MPa}$$

Návrh CarboWrap Typ G 300/0,167 mm ( $A = 50,1 \text{ mm}^2/\text{m}$ ) délky 650 mm, při obou površích

### **Statické ověření varianty 3**

Ve variantě 3 je posuzován samostatný otvor vytvořený v plném panelu za předpokladu, že v 5.NP již byl v minulosti otvor proveden. Otvory nejsou nad sebou, ale u opačných okrajů stěnového panelu.

Geometrické parametry panelu:

Výška panelu  $h = 2650 \text{ mm}$

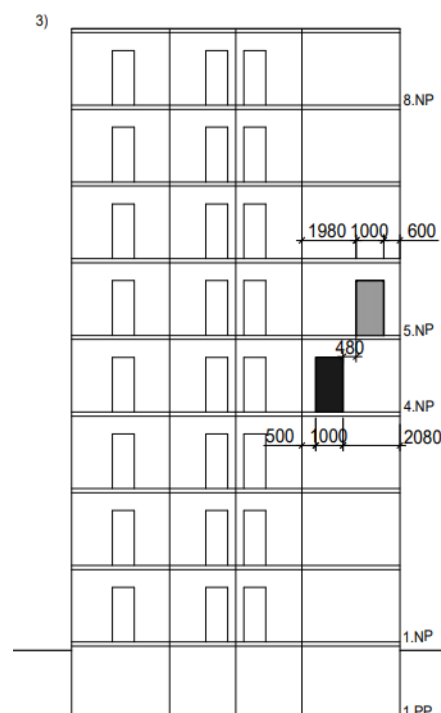
Šířka panelu  $b = 3580 \text{ mm}$

Tloušťka panelu  $t = 140 \text{ mm}$

Výška otvoru  $h_o = 1000 \text{ mm}$

Šířka otvoru  $b_o = 1000 \text{ mm}$

Schéma řešené varianty





### Posouzení svislého pilíře na únosnost v tlaku

$$b_p = 500 \text{ mm}$$

$$b_{p1} = 480 \text{ mm}$$

$$t = 140 \text{ mm}$$

$$h = 2650 \text{ mm}$$

C16/20

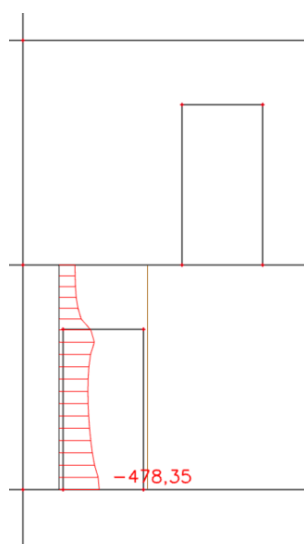
$$f_{ck} = 16 \text{ MPa}$$

$$e = 20 \text{ mm}$$

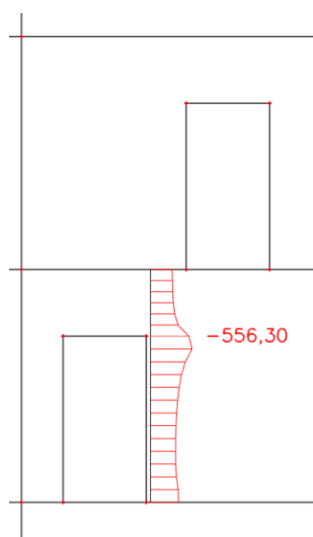
$$N_{Rd} = -588,1 \text{ kN (viz varianta 1)}$$

---

Maximální posouvající síla v nově vzniklém pilíři od kombinace zatížení



Maximální posouvající síla v nově vzniklém středovém pilíři od kombinace zatížení



### Posouzení pro krajní pilíř:

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

$$N_{Rd} = 588,1 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 478,4 \text{ kN} \quad \textbf{Vyhoví}$$

### Posouzení pro středový pilíř

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

$$N_{Rd} = \eta * f_{cd} * b_p * t * (1 - 2e/h)$$

$$\eta = 1, \quad \text{dle čl. 3.1.7 Eurokódu 2}$$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c = 0,8 * 16 / 1,5 = 8,53 \text{ MPa}$$

$$N_{Rd} = 1 * 8,53 * 480 * 140 * (1 - 2 * 20 / 2650) = 564\,564 \text{ N} = 564,6 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = 564,6 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 556,3 \text{ kN} \quad \textbf{Vyhoví}$$

### Návrh výztuže z CFRP materiálů

#### **Přepočet staticky nutné betonářské výztuže ve směru x na potřebnou plochu vyztužujících CFRP lamel**

##### Zesilující CFRP lamely:

Typ lamely: CarboLamela Typ M

Šířka lamely  $b_{CFRP} = 50 \text{ mm}$

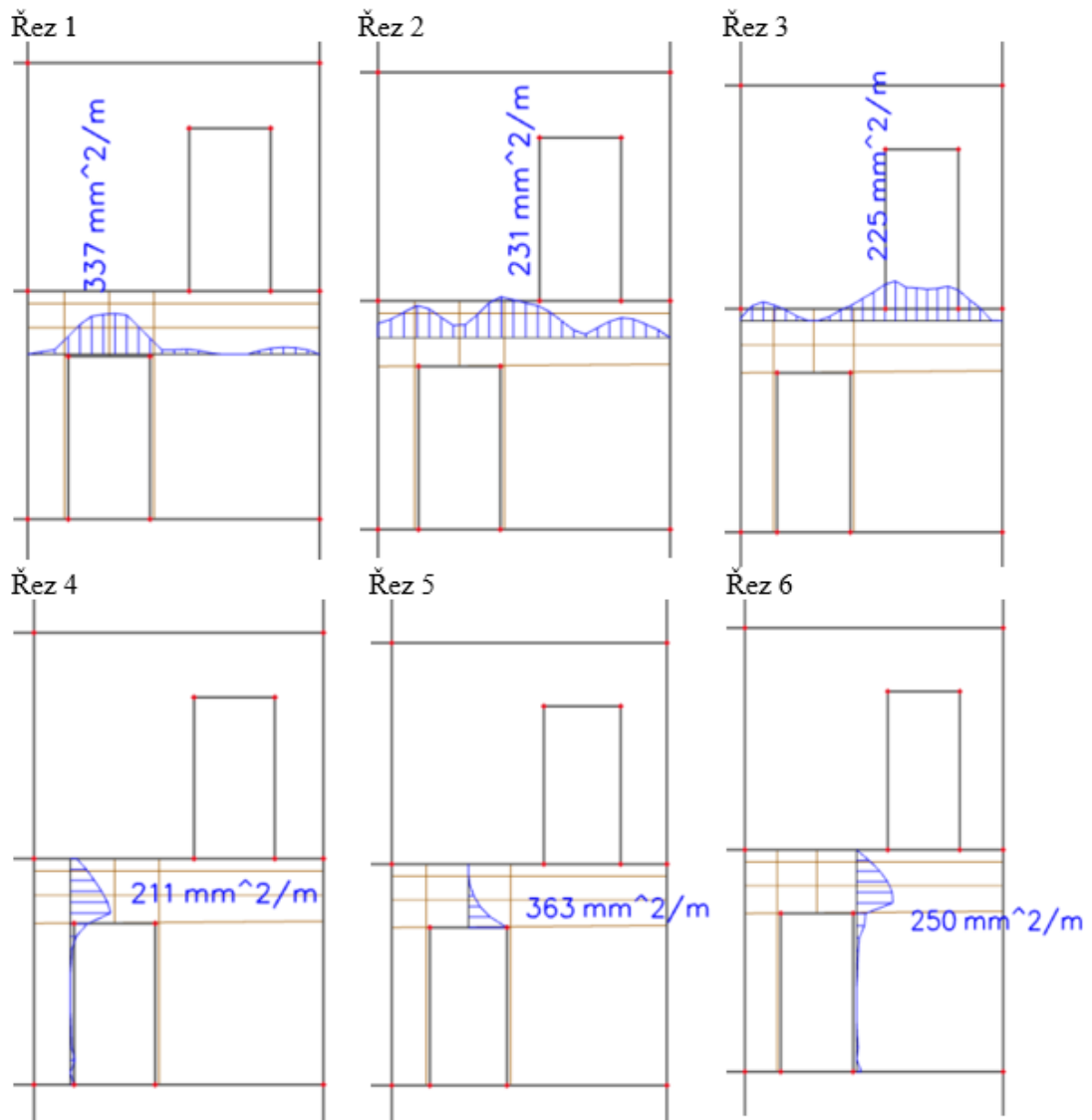
Tloušťka lamely  $t_{CFRP} = 1,4 \text{ mm}$

Modul pružnosti  $E = 210 \text{ GPa}$

Mez pevnosti v tahu  $f_{t,CFRP} = 2480 \text{ MPa}$

---

Staticky nutná výztuž ve směru x (vodorovná výztuž)



- Předpoklad dosažení meze kluzu v nutné betonářské výztuži:  $\sigma = 435 \text{ MPa}$
- Potřebná plocha výztuže bude uvažována  $337 \text{ mm}^2/\text{m}$ , maximální hodnota  $363 \text{ mm}^2/\text{m}$  z řezu 5 nebude uvažována, jedná se o extrém na hraně plochy, který neodpovídá reálnému působení konstrukce

$$F = A * f_{yd} = 337 * 435 = 146\,595 \text{ N}$$

$$A = \frac{F}{f_{t,\text{CFRP},d}} = \frac{146591}{2067} = 71 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$f_{t,\text{CFRP},d} = \frac{f_{t,\text{CFRP},k}}{\gamma_{\text{FRP},m}} \frac{2480}{1,2} = 2067 \text{ MPa}$$

Návrh CarboLamela Typ M 80/1,4 mm ( $A = 112 \text{ mm}^2/\text{m}$ ) délky 2 m

## Přepočet staticky nutné betonářské výztuže ve směru x na potřebnou plochu vyztužujících CFRP lamel

Zesílení CFRP tkaninou:

Typ tkaniny: CarboWrap Typ G

Šířka pásů  $b_{\text{CFRP}} = 300 \text{ mm}$

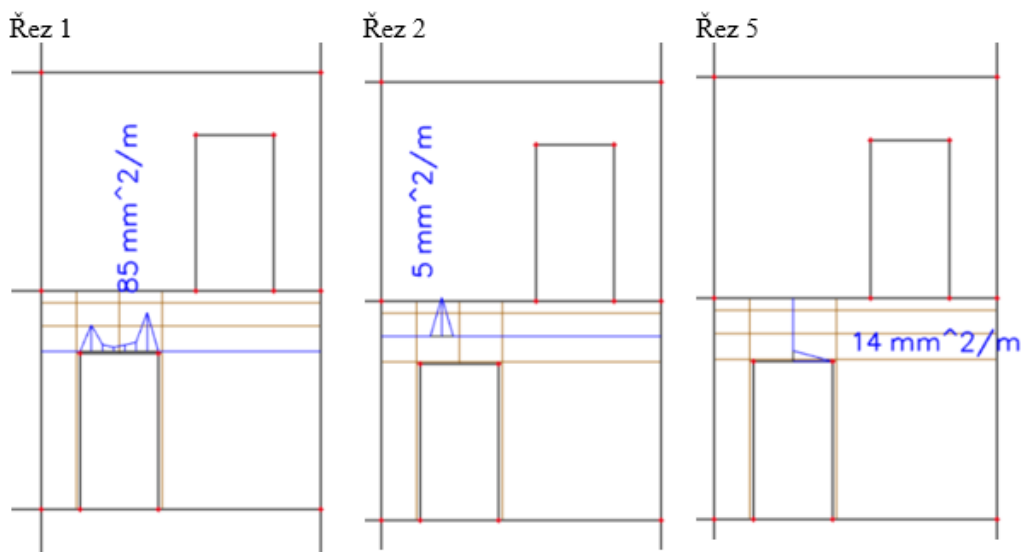
Tloušťka lamely  $t_{\text{CFRP}} = 0,167 \text{ mm}$

Modul pružnosti  $E = 210 \text{ GPa}$

Pevnost v tahu  $f_{t,\text{CFRP}} = 4300 \text{ MPa}$

---

Staticky nutná výztuž ve směru y (svislá výztuž)



Pozn.: V řezech 3, 4 a 6 je staticky nutná výztuž ve směru y rovna  $0 \text{ mm}^2/\text{m}$ .

$$F = A * f_{yd} = 85 * 435 = 36\,975 \text{ N}$$

$$A = \frac{F}{f_{t,\text{CFRP},d}} = \frac{36975}{3583,3} = 10,4 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$f_{t,\text{CFRP},d} = \frac{f_{t,\text{CFRP},k}}{\gamma_{\text{FRP},m}} \frac{4300}{1,2} = 3583,3 \text{ MPa}$$

Návrh CarboWrap Typ G 300/0,167 mm ( $A = 50,1 \text{ mm}^2/\text{m}$ ) délky 650 mm

## Statické ověření varianty 4

Ve variantě 4 je posuzováno rozšíření stávajícího otvoru mezi kuchyní a pokojem z původních 800 mm na 2000 mm.

### Geometrické parametry panelu:

Výška panelu  $h = 2650$  mm

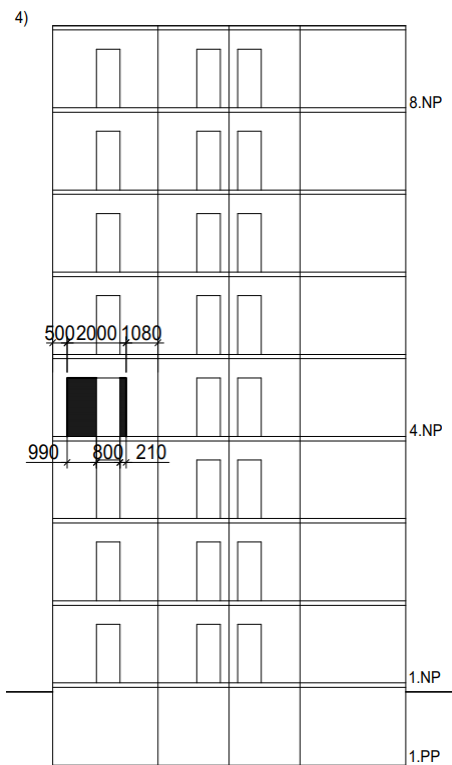
Šířka panelu  $b = 3580$  mm

Tloušťka panelu  $t = 140$  mm

Výška otvoru  $h_o = 2000$  mm

Šířka otvoru  $b_o = 2000$  mm

### Schéma řešené varianty



## Posouzení svislého pilíře na únosnost v tlaku

$$b_p = 500 \text{ mm}$$

$$t = 140 \text{ mm}$$

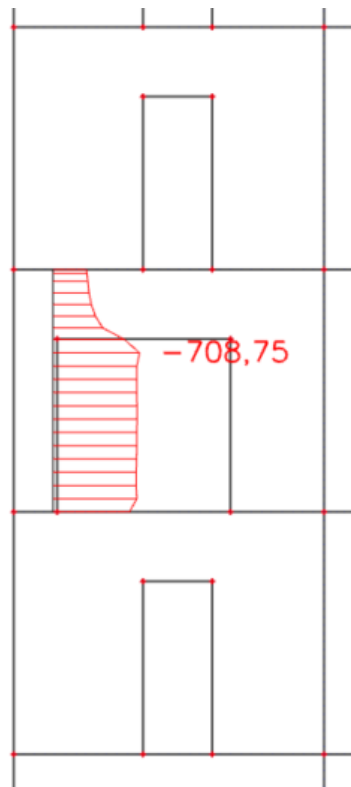
$$h = 2650 \text{ mm}$$

C16/20

$$f_{ck} = 16 \text{ MPa}$$

$$e = 20 \text{ mm}$$

Maximální posouvající síla v nově vzniklém užším pilíři od kombinace zatížení



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

$$N_{Rd} = \eta * f_{cd} * b_p * t * (1 - 2e/h)$$

$$\eta = 1, \quad \text{dle čl. 3.1.7 Eurokódu 2}$$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c = 0,8 * 16 / 1,5 = 8,53 \text{ MPa}$$

$$N_{Rd} = 1 * 8,53 * 500 * 140 * (1 - 2 * 20 / 2650) = 588\,087 \text{ N} = 588,1 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = 588,1 \text{ kN} \leq N_{Ed} = 708,8 \text{ kN} \quad \text{NEvyhoví}$$

Zesílení CFRP lamelou:

Typ tkaniny: CarboLamela Typ M

Šířka  $b_{CFRP} = 80 \text{ mm}$

Tloušťka lamely  $t_{CFRP} = 1,4 \text{ mm}$

Aplikovaná při obou površích po celé výšce pilíře

Modul pružnosti  $E = 210 \text{ GPa}$

Pevnost v tahu  $f_{t,\text{CFRP}} = 2480 \text{ MPa}$

Pevnost v tlaku  $f_{c,\text{CFRP}} = 40\% f_{t,\text{CFRP}} = 992 \text{ MPa}$

---

Pozn.: Pro pevnost v tlaku je bezpečně uvažováno 40% tahové pevnosti, ze zkoušek vychází, že tlaková pevnost odpovídá 50% tahové pevnosti **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**

$$F = A * f_{t,\text{CFRP}} = 2 * 1,4 * 80 * 826,7 = 185\,173,3 \text{ N}$$

$$f_{t,\text{CFRP,d}} = \frac{f_{t,\text{CFRP,k}}}{\gamma_{\text{FRP,m}}} = \frac{992}{1,2} = 826,7 \text{ MPa}$$

Navýšení únosnosti je 185,2 kN

Původní únosnost: 588,1 kN

Celková únosnost: kN

$$N_{Rd} = 773,3 \text{ kN} \leq N_{Ed} = 708,8 \text{ kN} \quad \text{Vyhoví}$$

Návrh CarboLamela Typ M 80/1,4 mm ( $A = 112 \text{ mm}^2/\text{m}$ ), při obou površích

### **Návrh výztuže z CFRP materiálů**

**Přepočet staticky nutné betonářské výztuže ve směru x na potřebnou plochu vyztužujících lamel**

Zesilující CFRP lamely:

Typ lamely: CarboLamela Typ M

Šířka lamely  $b_{\text{CFRP}} = 50 \text{ mm}$

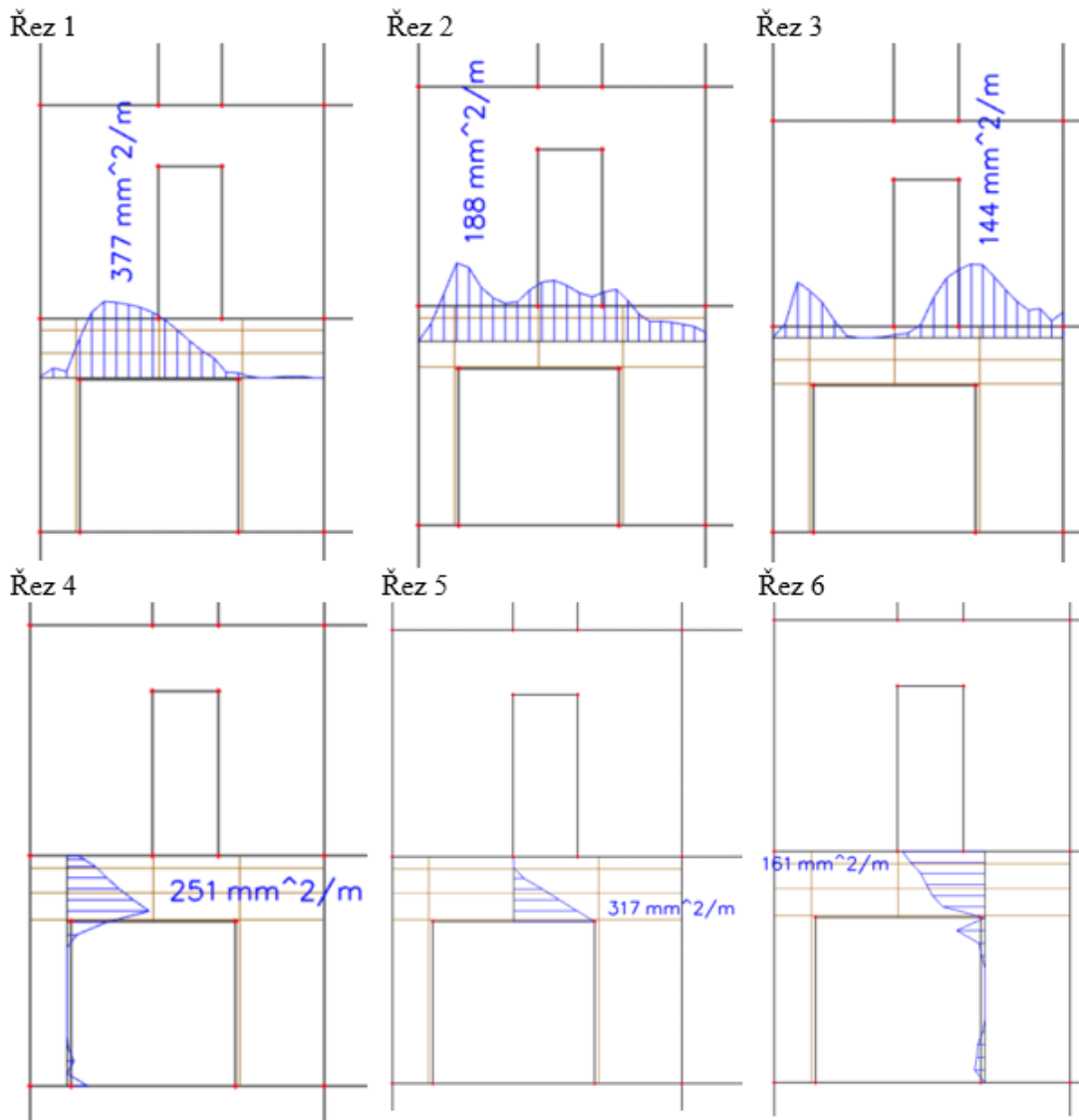
Tloušťka lamely  $t_{\text{CFRP}} = 1,4 \text{ mm}$

Modul pružnosti  $E = 210 \text{ GPa}$

Mez pevnosti v tahu  $f_{t,\text{CFRP}} = 2480 \text{ MPa}$

---

Statically nutná výztuž ve směru x (vodorovná výztuž)



- Předpoklad dosažení meze kluzu v nutné betonářské výztuži:  $\sigma = 435 \text{ MPa}$
- Potřebná plocha výztuže bude uvažována  $377 \text{ mm}^2/\text{m}$

$$F = A * f_{yd} = 377 * 435 = 163\,995 \text{ N}$$

$$A = \frac{F}{f_{t,CFRP,d}} = \frac{163995}{2067} = 79,3 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$f_{t,CFRP,d} = \frac{f_{t,CFRP,k}}{\gamma_{FRP,m}} \frac{2480}{1,2} = 2067 \text{ MPa}$$

Návrh CarboLamela Typ M 80/1,4 mm ( $A = 112 \text{ mm}^2/\text{m}$ ) délky 3 m, při obou površích



## Přepočet staticky nutné betonářské výztuže ve směru y na potřebnou plochu zesilující CFRP tkaniny

Zesílení CFRP tkaninou:

Typ tkaniny: CarboWrap Typ G

Šířka pásů  $b_{CFRP} = 300 \text{ mm}$

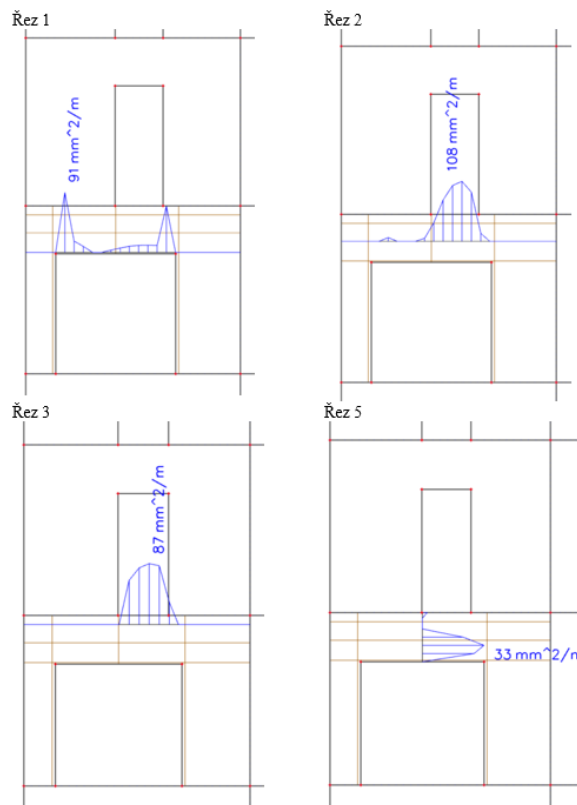
Tloušťka lamely  $t_{CFRP} = 0,167 \text{ mm}$

Modul pružnosti  $E = 210 \text{ GPa}$

Pevnost v tahu  $f_{t,CFRP} = 4300 \text{ MPa}$

---

Staticky nutná výztuž ve směru y (svislá výztuž)



Pozn.: v řezech 4 a 6 je staticky nutná výztuž ve směru y rovna  $0 \text{ mm}^2/\text{m}$

$$F = A * f_{yd} = 108 * 435 = 46\,980 \text{ N}$$

$$A = \frac{F}{f_{t,CFRP,d}} = \frac{46980}{3583,3} = 13,1 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$f_{t,CFRP,d} = \frac{f_{t,CFRP,k}}{\gamma_{FRP,m}} \frac{4300}{1,2} = 3583,3 \text{ MPa}$$

Návrh CarboWrap Typ G 300/0,167 mm ( $A = 50,1 \text{ mm}^2/\text{m}$ ) délky 650 mm, při obou površích