



Příklad analýzy stěnového nosníku s otvorem

Petr Bílý

kancelář B731

e-mail: petr.bily@fsv.cvut.cz

web: people.fsv.cvut.cz/www/bilypet1

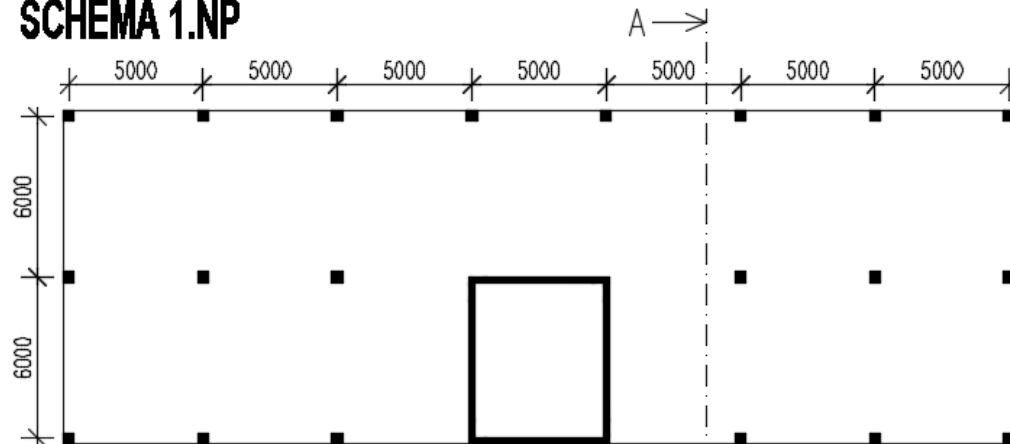
Motivace

- Stěnový nosník s otvorem = běžný konstrukční prvek (přechodová patra)
- Nelze řešit lineární analýzou

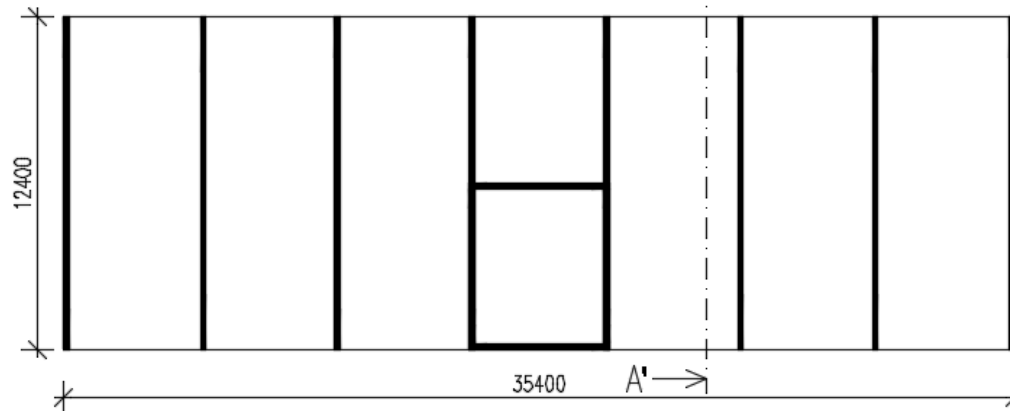


Příklad

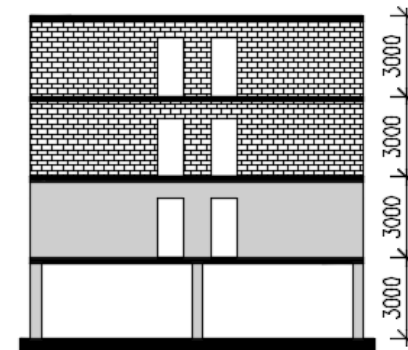
SCHEMA 1.NP



SCHEMA 2.NP - 4.NP



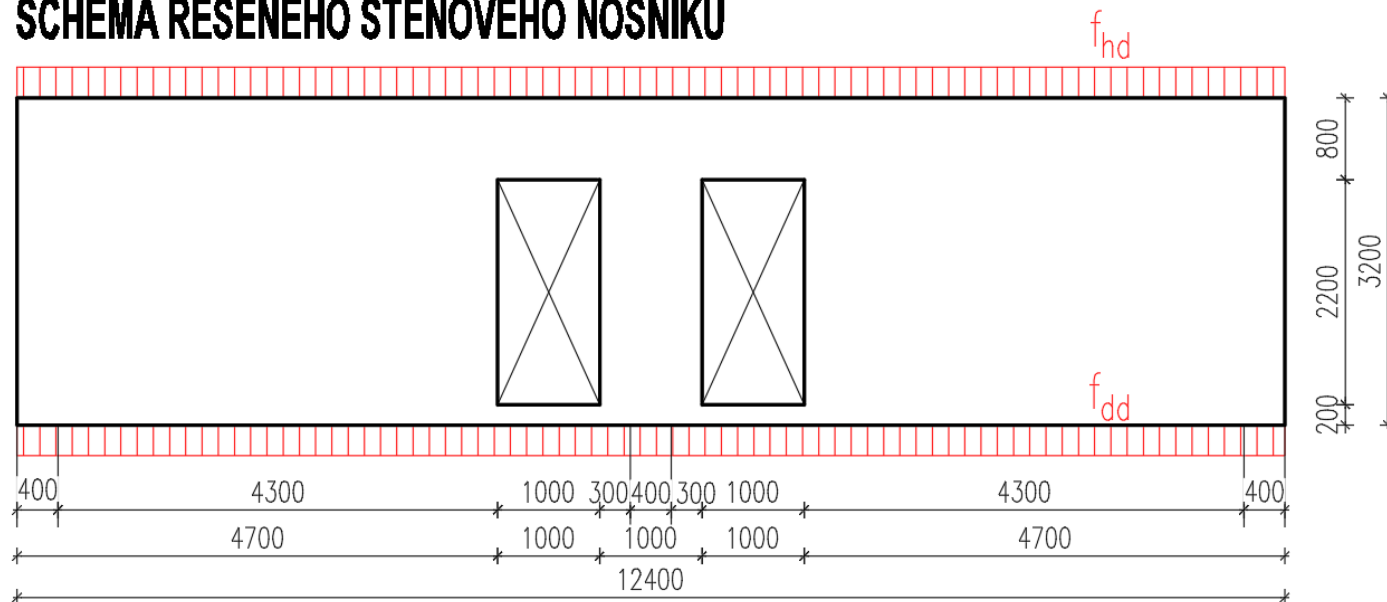
ŘEZ AA'



- 1.NP – otevřená dispozice (garáže, obchody)
- 3.NP+4.NP – zděné stěny
- ⇒ Ve 2.NP nutné přechodové patro – ŽB stěnové nosníky

Příklad

SCHEMA ŘEŠENÉHO STĚNOVÉHO NOSNÍKU



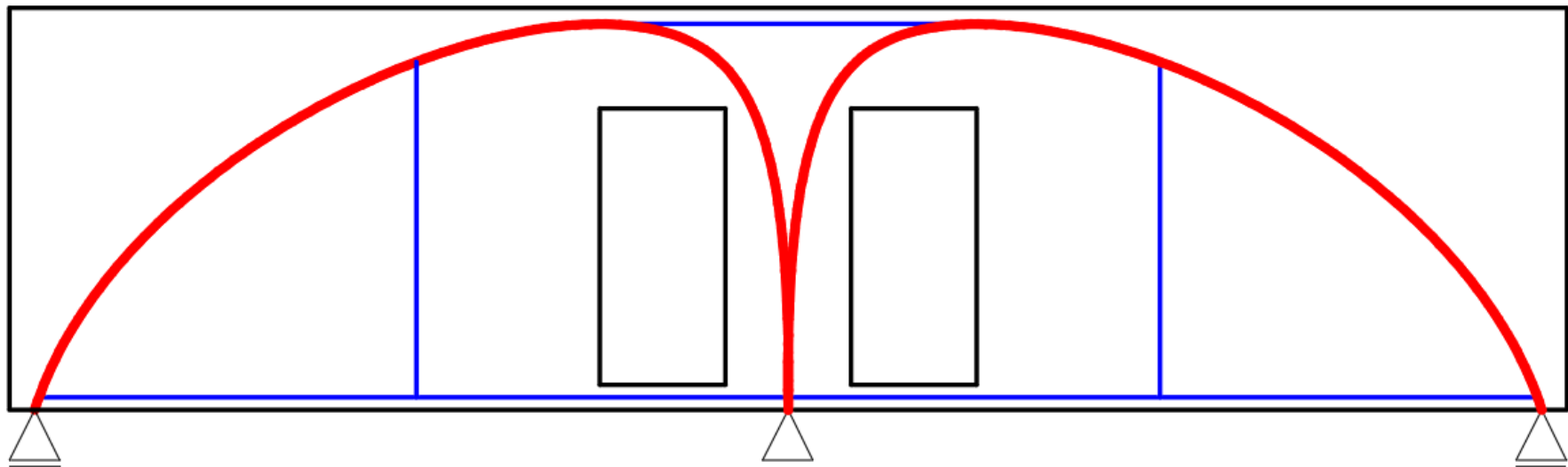
Tloušťka stěnového nosníku 200 mm

Sloupy 400x400 mm

Beton C30/37, krytí 20 mm

Zatížení $f_{hd} = 190$ kN/m, $f_{dd} = 60$ kN/m

Názor na chování konstrukce



Tvorba příhradového modelu

- Hlavní tlaky

2D napětí/přetvoření

Hodnoty: σ_2

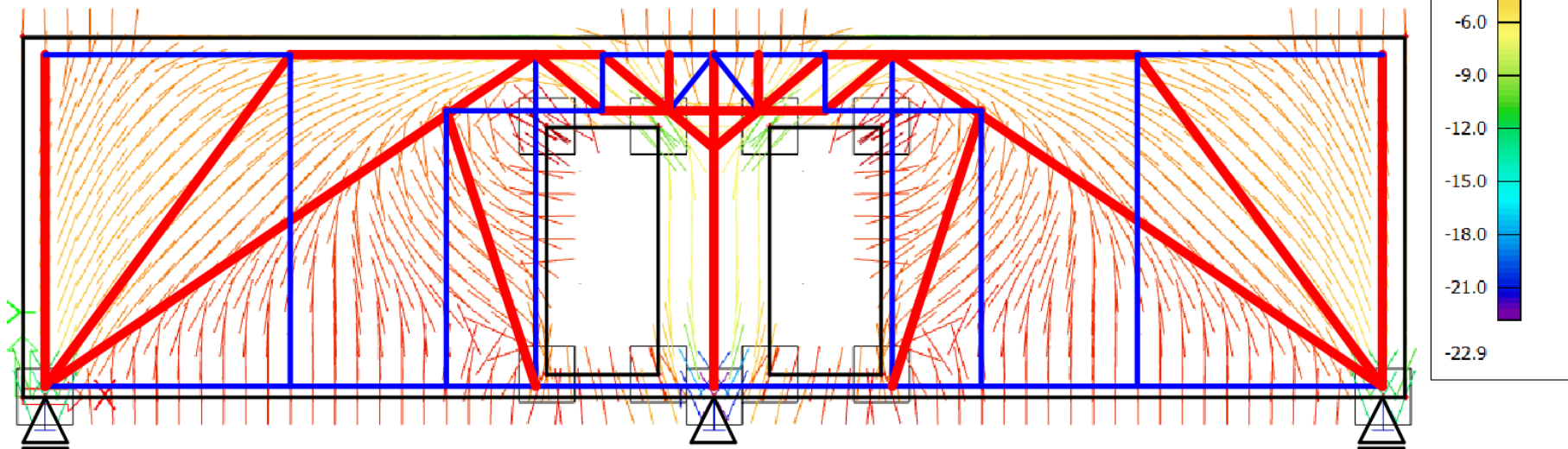
Lineární výpočet

Kombinace: MSU

Extrém: Globální

Výběr: Vše

Pořadí: V uzlech s průměrováním na makro. Systém: LSS prvku sítě



Tvorba příhradového modelu

- Hlavní tahy

2D napětí/přetvoření

Hodnoty: σ_1 -

Lineární výpočet

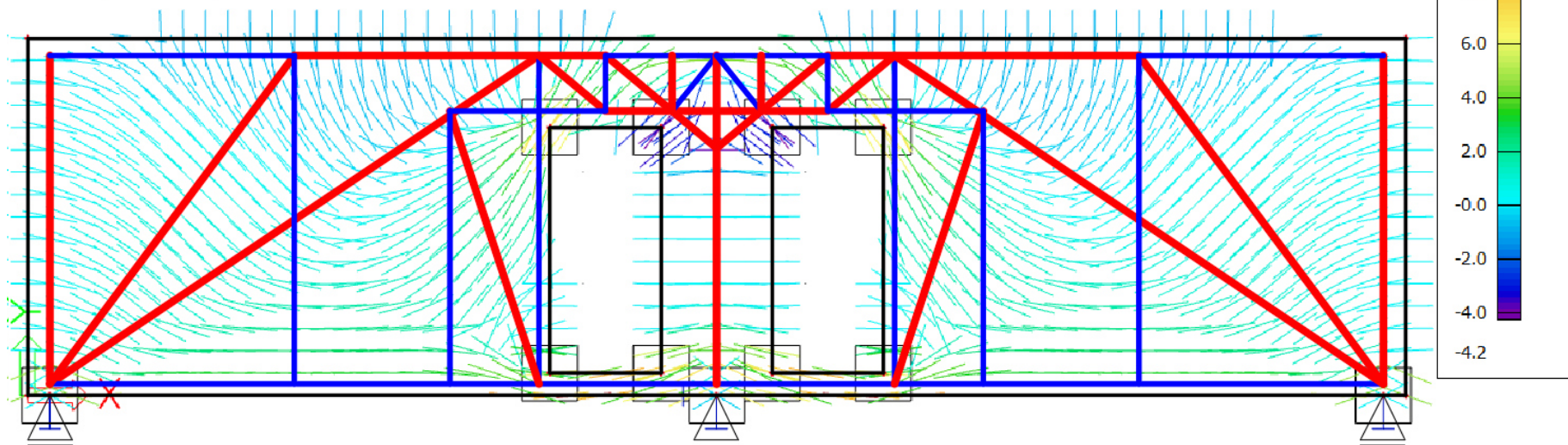
Kombinace: MSU

Extrém: Globální

Výběr: Vše

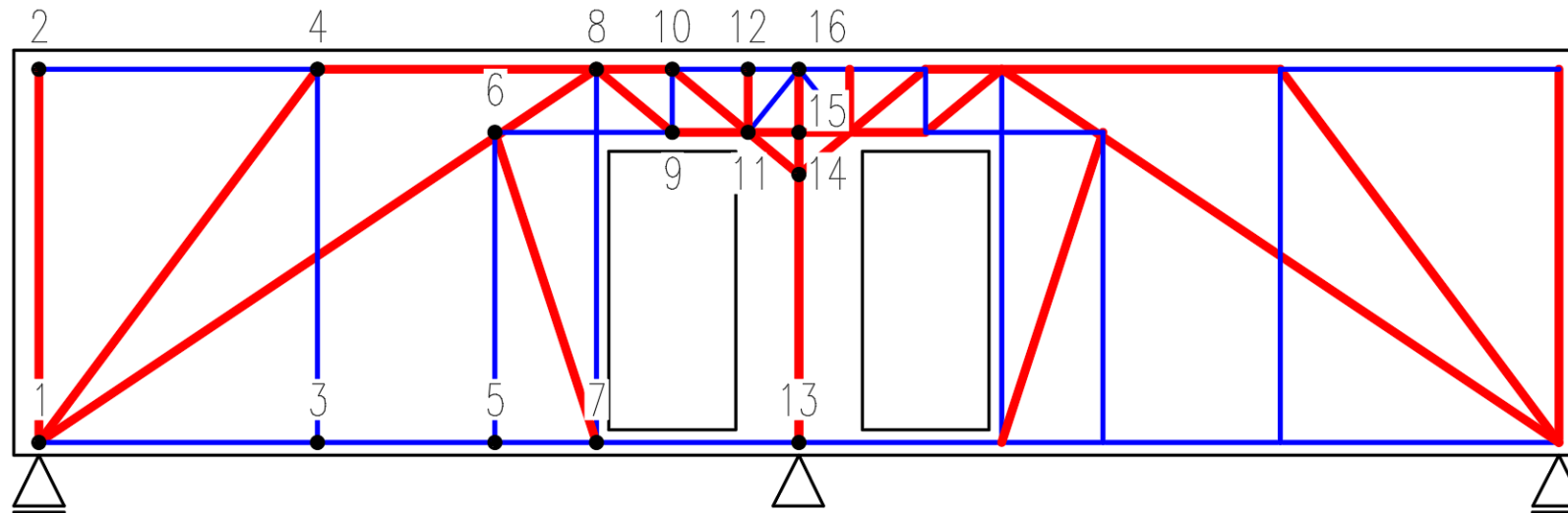
Poloha: V uzlech s průměrováním na

makro. Systém: LSS prvku síť



Tvorba příhradového modelu

- Navržený model



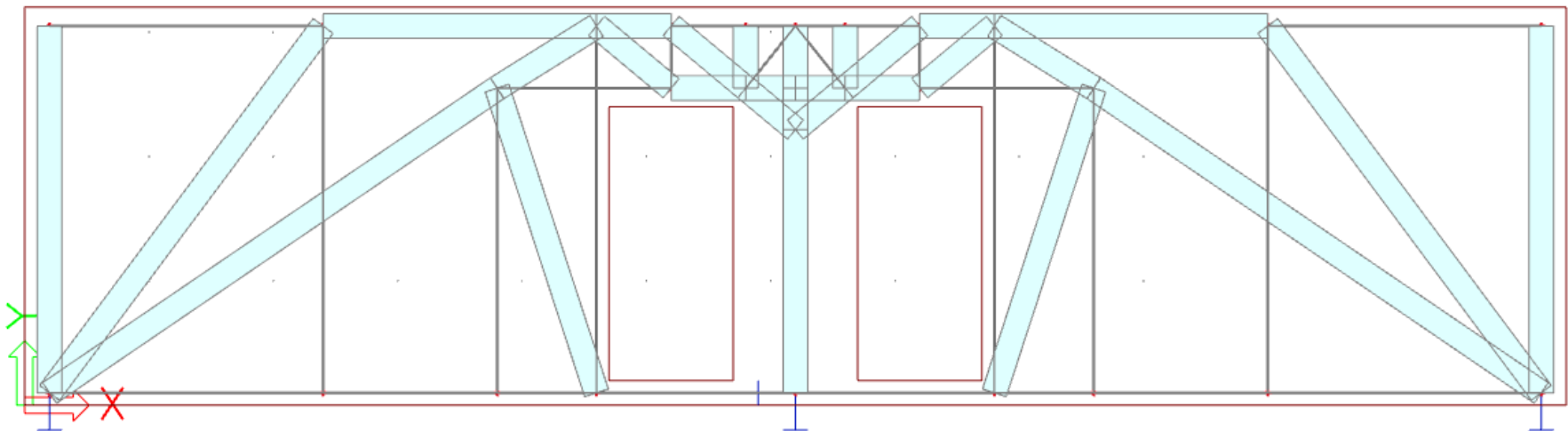
Bod	X [mm]	Y [mm]	Bod	X [mm]	Y [mm]
1	200	100	9	5200	2550
2	200	3050	10	5200	3050
3	2400	100	11	5800	2550
4	2400	3050	12	5800	3050
5	3800	100	13	6200	100
6	3800	2550	14	6200	2217
7	4600	100	15	6200	2550
8	4600	3050	16	6200	3050

Tvorba příhradového modelu

- Model je staticky neurčitý

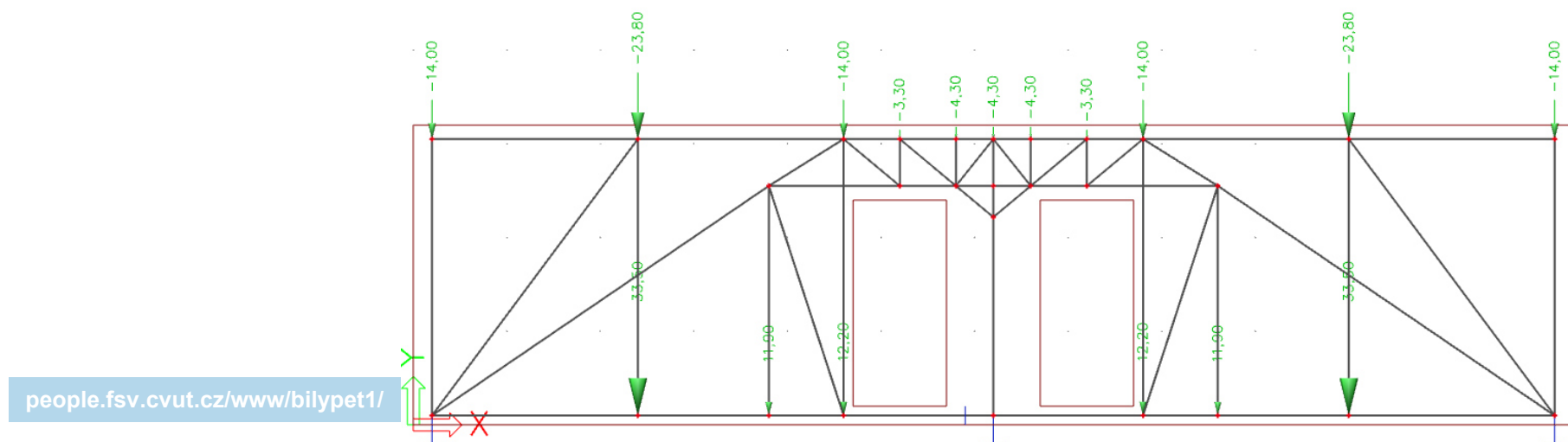
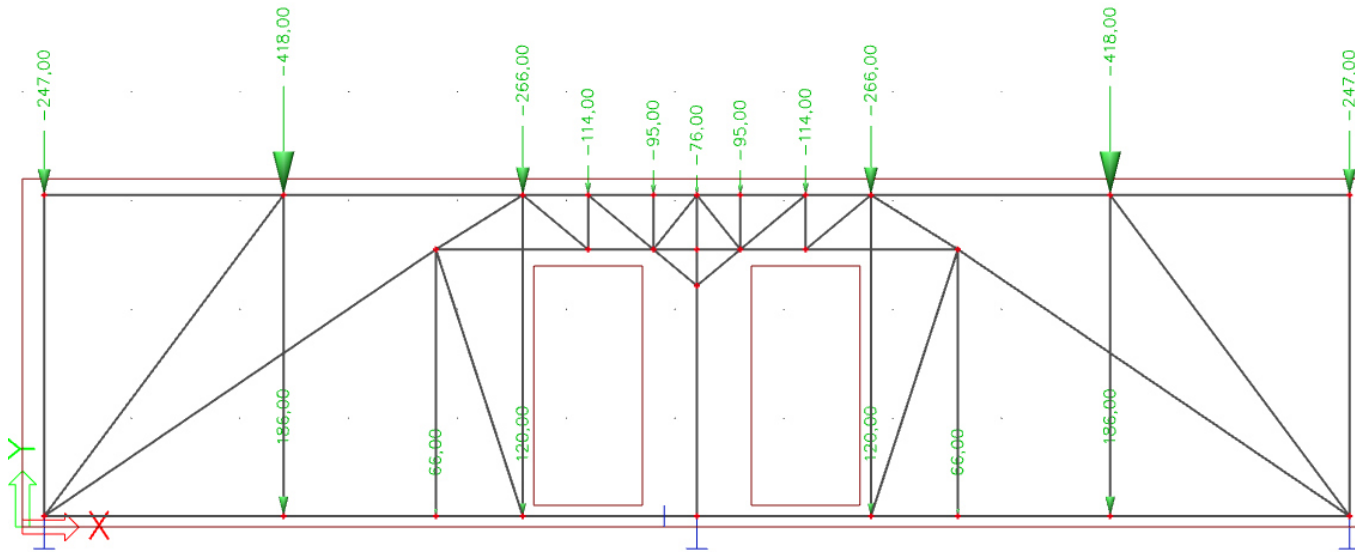
$$s = p + r_{ext} - 2n = 55 + 4 - 2 \cdot 28 = 3$$

- První krok: vzpěry betonové 200x200 mm, táhla ocelová 5x200 mm



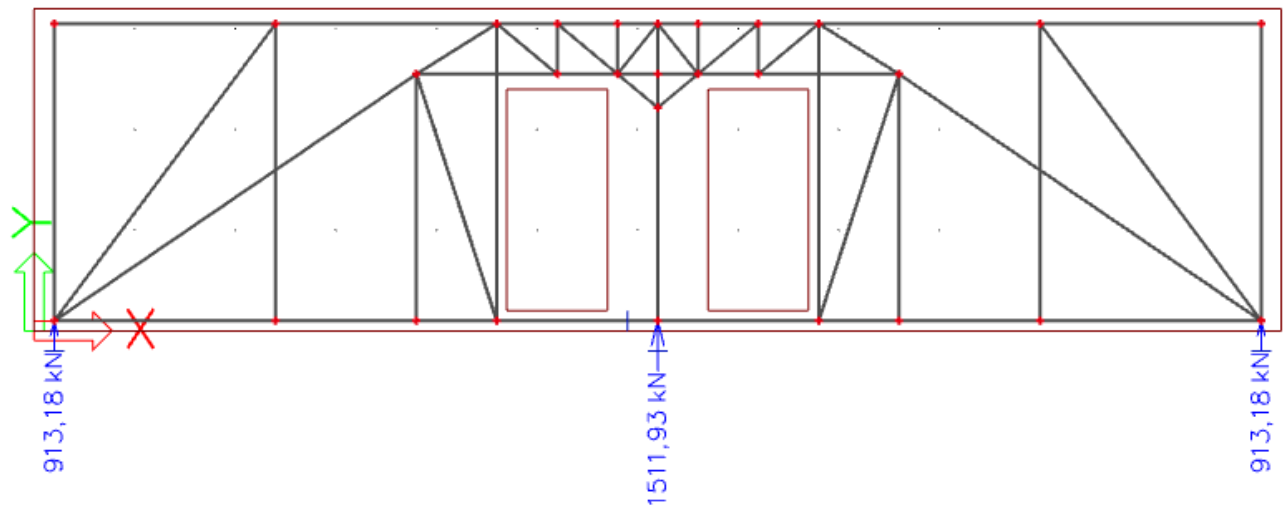
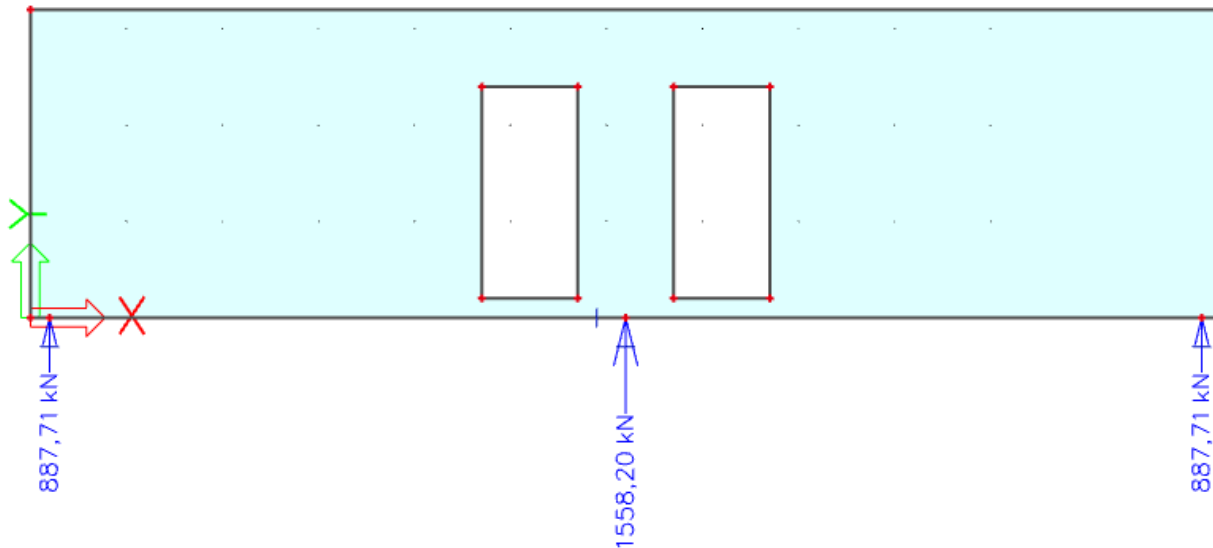
Tvorba příhradového modelu

- Zatížení nutno rozdělit do uzlů



Vnitřní síly

- Ověření reakcí (ručně: $\Sigma = 3338$ kN)



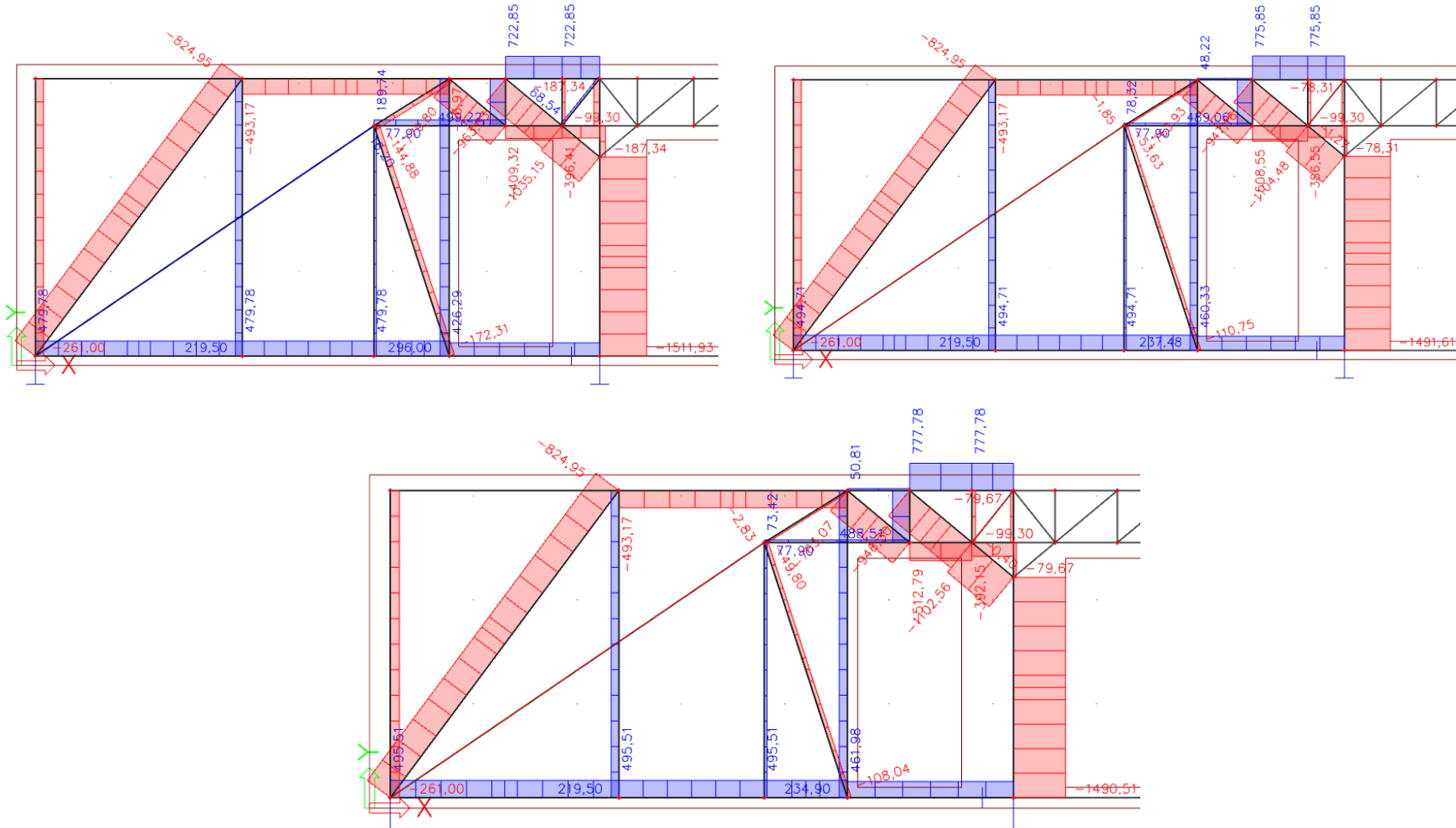
Vnitřní síly

- Iterační stanovení vnitřních sil/průřezů prvků
- Šířka všech prvků zvolena 200 mm
- Výška dopočtena

$$a_t = \frac{F_t}{200 \cdot f_{yd}}, \text{ resp. } a_c = \frac{F_c}{200 \cdot f_{cd}}$$

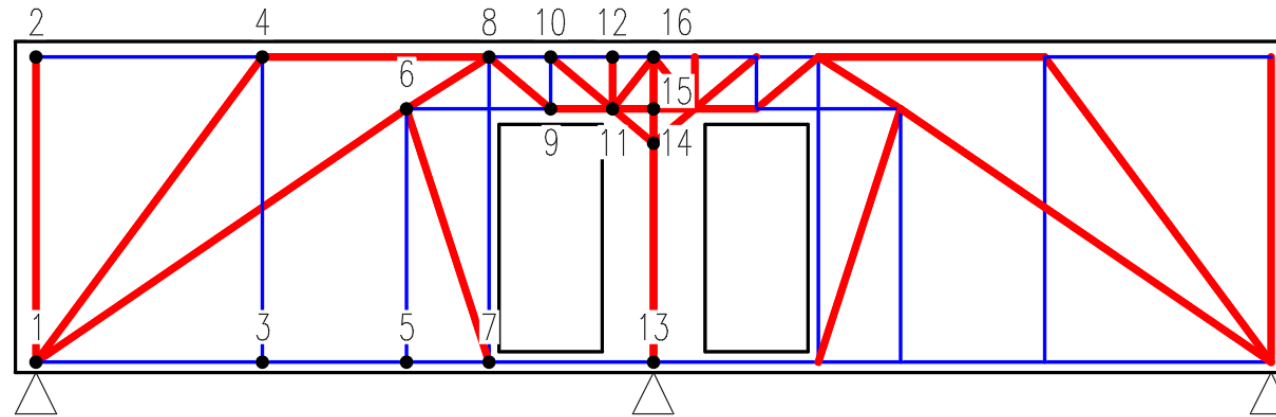
- Kritérium: Rozdíl po sobě jdoucích iterací < 5 %

Vnitřní síly - iterace



Vnitřní síly

- Finální model a vnitřní síly



Prvek	Síla [kN]	T/C	Prvek	Síla [kN]	T/C
1-2	-261	C - beton	8-9	-763	C - beton
1-3	496	T - ocel	8-10	51	T - ocel
1-4	-825	C - beton	9-10	489	T - ocel
1-6	-3	C - beton	9-11	-513	C - beton
2-4	0	T - ocel	10-11	-946	C - beton
3-4	220	T - ocel	10-12	778	T - ocel
3-5	496	T - ocel	11-12	-99	C - beton
4-8	-493	C - beton	11-14	-1103	C - beton
5-6	78	T - ocel	11-15	-392	C - beton
5-7	496	T - ocel	11-16	0	C - beton
6-7	-108	C - beton	12-16	778	T - ocel
6-8	-50	C - beton	13-14	-1491	C - beton
6-9	78	T - ocel	14-15	-80	C - beton
7-8	235	T - ocel	15-16	-80	C - beton
7-13	462	T - ocel	R1	-924	Kraj.podpora

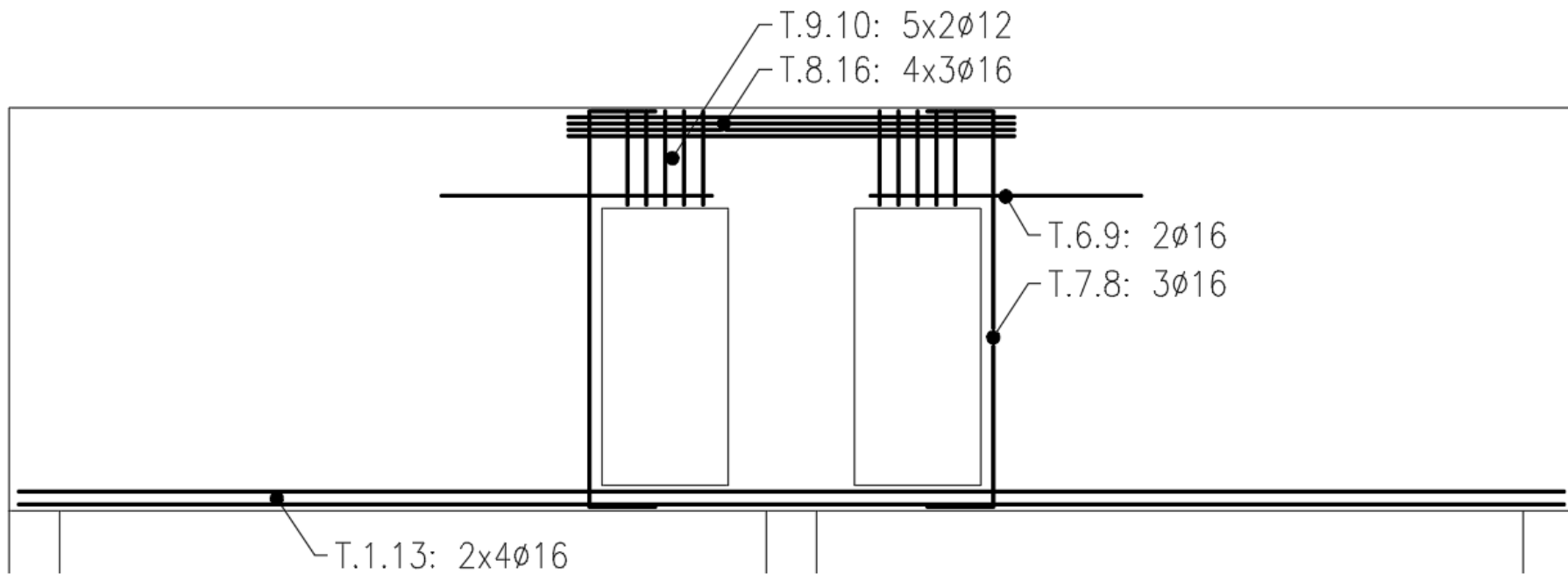
Návrh táhel

- Minimální výztuž dle kčních zásad:
 $\text{Ø}8$ à 200 mm v obou směrech při obou površích
 $(a_s = 500 \text{ mm}^2/\text{m})$.
- Ověřit vzdálenosti profilů

Táhlo	Síla [kN]	$A_{s,req}$ [mm ²]	Výztuž			$A_{s,prov}$ [mm ²]	s_{min} [mm]	s [mm]
			počet řad	profilů v řadě	profil			
T-1-13	496	1140	2	4	16	1608	21	26,7
T-8-16	778	1789	4	3	16	2413	21	48,0
T-3-4	220	506	konstrukční			500	21	144,0
T-5-6	78	179	konstrukční			500	21	144,0
T-7-8	235	540	1	3	16	603	21	48,0
T-6-9	78	179	1	2	16	402	21	112,0
T-9-10	489	1124	5	2	12	1131	21	120,0

Návrh táhel

- Navrhnout kotvení
 - Dolní pas – U-profil
 - T-9-10 – třmeny kotvené v tlačené oblasti
 - Ostatní: rovné pruty do betonu



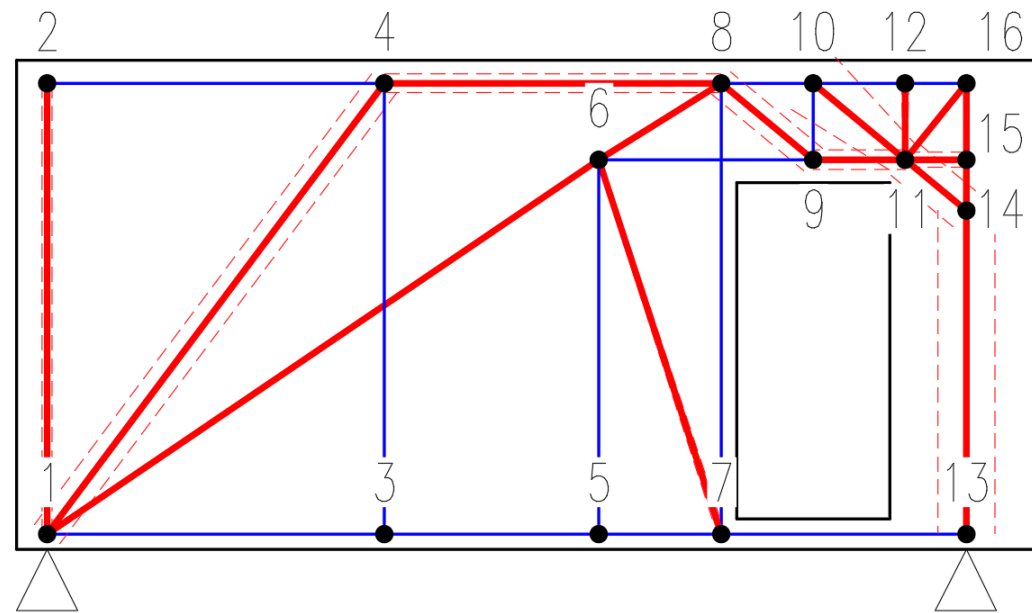
Ověření vzpěr

- Vliv příčného namáhání (žádné/tlakové X tahové)

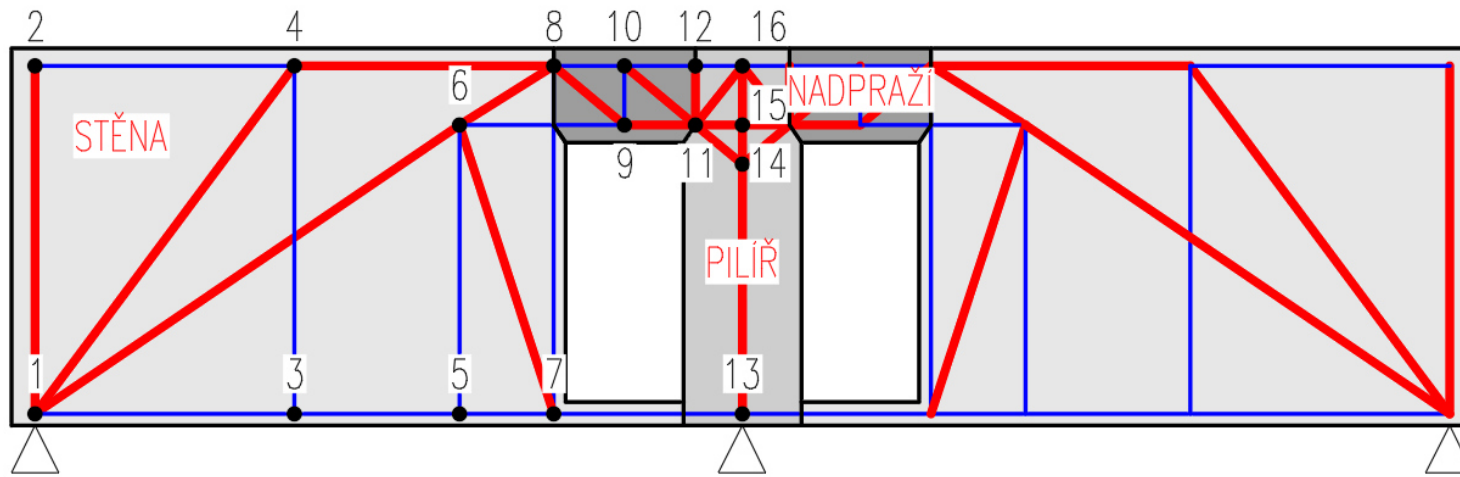
$$\sigma_{Rd, strC} = f_{cd} = 20 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Rd, strT} = 0,6\nu f_{cd} = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) f_{cd} = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) \cdot 20 = 10,6 \text{ MPa}$$

- Minimální přípustné výšky vzpěr



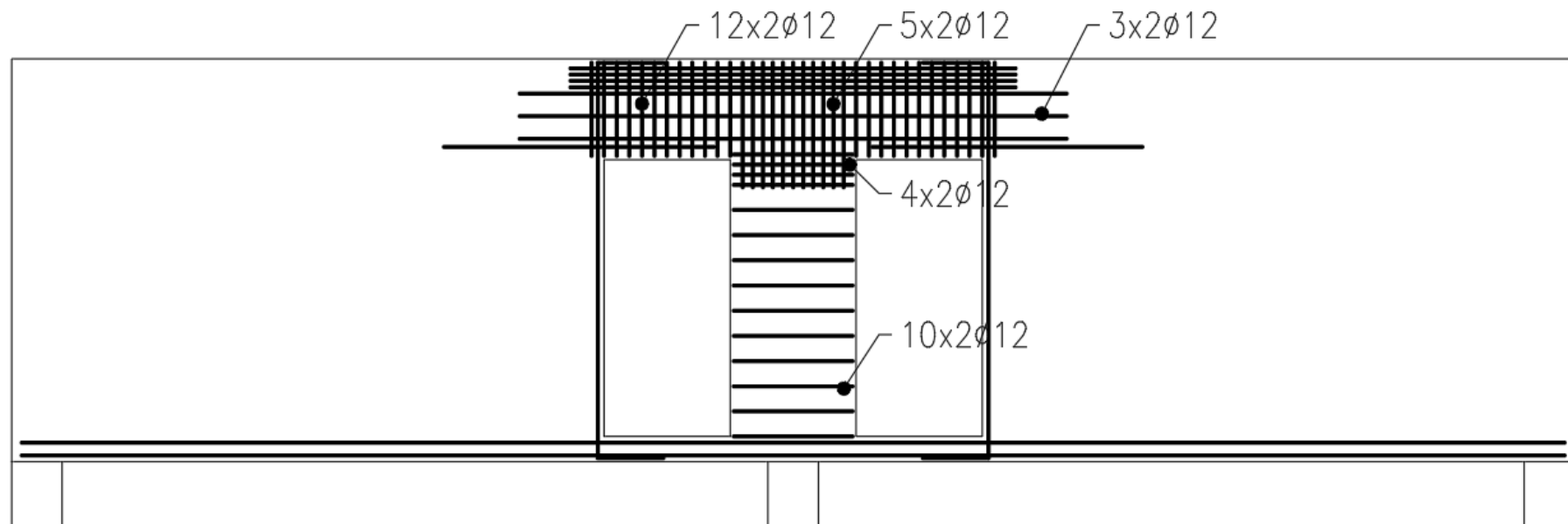
Příčné tahy ve vzpěrách



Oblast	Prvek	F [kN]	T [kN]	a [°]	T _v [kN]	T _h [kN]	A _{sv,req} [mm ²]	A _{sh,req} [mm ²]
Stěna	1-2	-261	57	90	0	57	0	264
	1-4	-825	181	53	109	145	502	666
	6-7	-108	24	72	7	23	34	104
	6-8	-50	11	32	9	6	43	27
Pilíř	11-14	-1103	243	40	186	156	854	717
	11-15	-392	86	0	86	0	397	0
	13-14	-1491	328	90	0	328	0	1508
	14-15	-80	18	90	0	18	0	81
	15-16	-80	18	90	0	18	0	81
Nadpraží	8-9	-763	168	40	129	108	591	496
	9-11	-513	113	0	113	0	519	0
	10-11	-946	208	40	159	134	733	615
	11-12	-99	22	90	0	22	0	100

Příčné tahy ve vzpěrách

- Výztuž rovnoměrně po celé oblasti (délce vzpěry)
- „Stěna“: Postačí kční $\text{Ø}8$ à 200 mm
- „Pilíř“: Třmeny $\text{Ø}12$ à 200 mm (à 80 mm)
- „Nadpraží“: Třmeny $\text{Ø}12$ à 100 mm svisle, 6 $\text{Ø}12$ vodorovně



Příčné tahy kolmo k rovině nosníku

- Část pokryta vodorovnými větvemi třmenů (A_{sw})
- Spony

Oblast	ΣT [kN]	$A_{sp,reg}$ [mm ²]	A_{sw} [mm ²]	$A_{spr,reg}$ [mm ²]	Návrh spon
Stěna	274	1258	0	1258	Ø6 v rastru 400x400 mm (6 ks/m ²), v oblasti podpor 200x200 mm (25 ks/m ²)
Pilíř	692	3181	2260	921	Ø6 v rastru 200x200 mm (25 ks/m ²)
Nadpraží	511	2348	2712	-364	Ø6 v rastru 100x200 mm (50 ks/m ²)

Ověření styčníků

- Pouze styčnky s významným namáháním

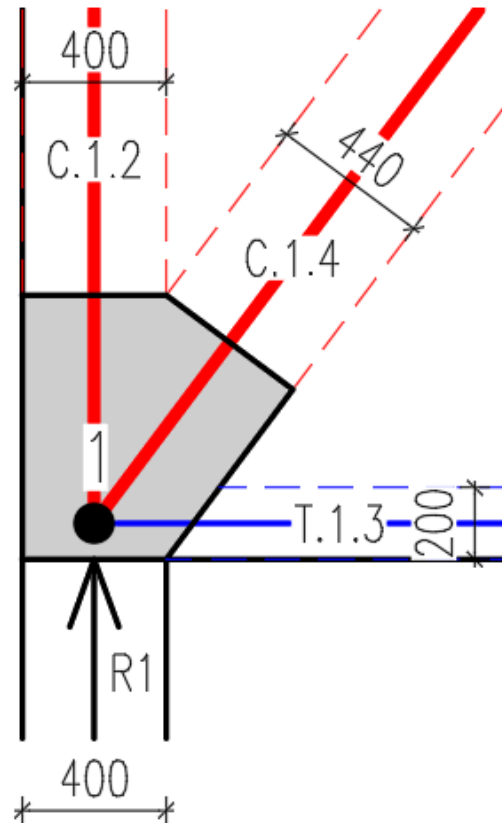
$$\sigma_{Rd,CCC} = \nu f_{cd} = \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) f_{cd} = \left(1 - \frac{30}{250}\right) \cdot 20 = 17,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Rd,CCT} = 0,85\nu f_{cd} = 15,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Rd,CTT} = 0,75\nu f_{cd} = 13,2 \text{ MPa}$$

Ověření styčnicků

- Styčnick 1 (CCT) – OK



$$\sigma_{1,2} = \frac{C_{1,2}}{A_{1,2}} = \frac{261000}{400 \cdot 200} = 3,26 \text{ MPa}$$

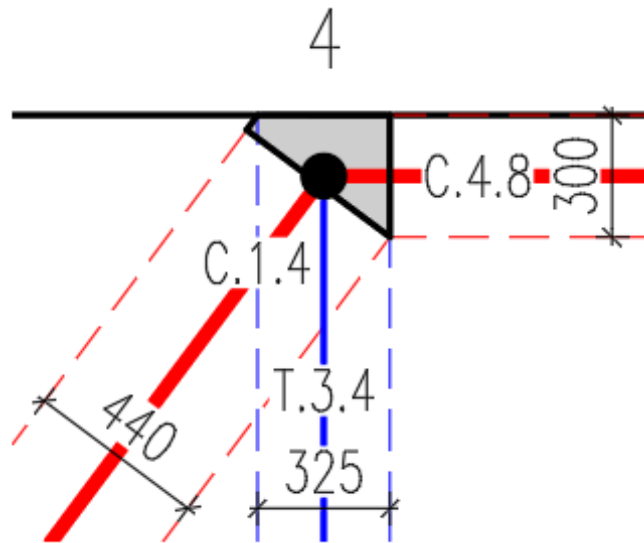
$$\sigma_{1,3} = \frac{T_{1,3}}{A_{1,3}} = \frac{496000}{200 \cdot 200} = 12,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{1,4} = \frac{C_{1,4}}{A_{1,4}} = \frac{825000}{440 \cdot 200} = 9,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{R1} = \frac{C_{R1}}{A_{R1}} = \frac{924000}{400 \cdot 200} = 11,5 \text{ MPa}$$

Ověření styčníků

- Styčník 4 (CCT) – OK



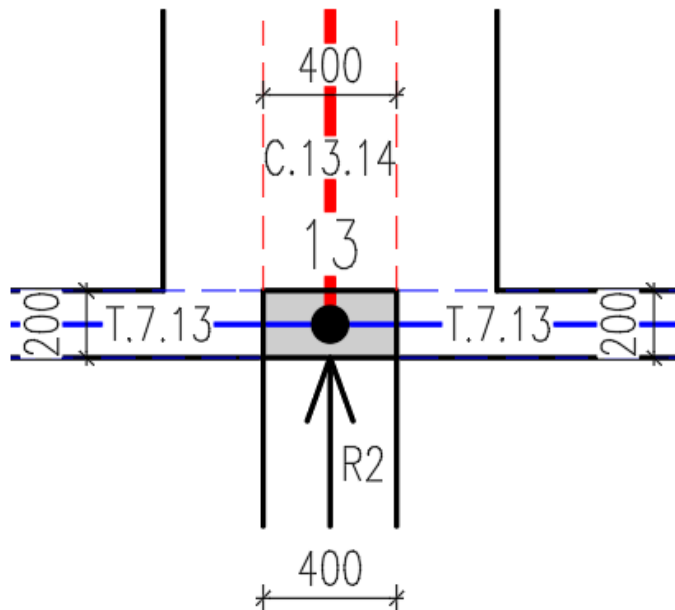
$$\sigma_{4,1} = \frac{C_{1,4}}{A_{4,1}} = \frac{825000}{440 \cdot 200} = 9,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{4,3} = \frac{T_{3,4}}{A_{4,3}} = \frac{220000}{325 \cdot 200} = 3,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{4,8} = \frac{T_{4,8}}{A_{4,8}} = \frac{493000}{300 \cdot 200} = 8,2 \text{ MPa}$$

Ověření styčnicků

- Styčnick 13 (CTT) – NOK

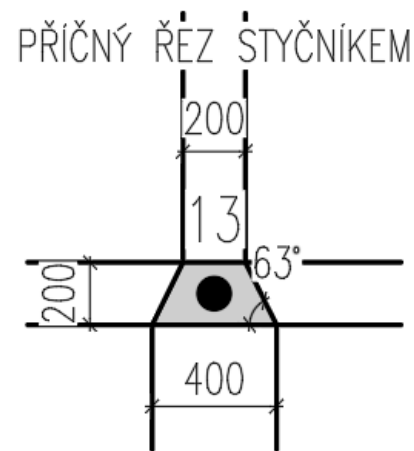
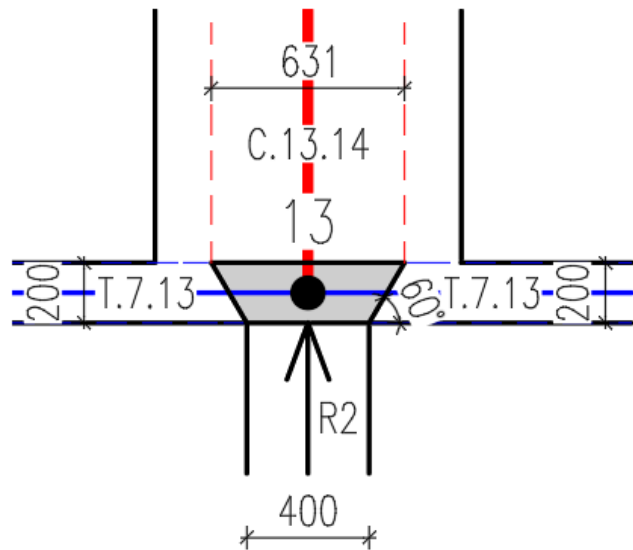


$$\sigma_{13,7} = \frac{T_{7,13}}{A_{13,7}} = \frac{462000}{200 \cdot 200} = 11,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{13,14} = \frac{C_{13,14}}{A_{13,14}} = \frac{1491000}{400 \cdot 200} = 18,6 \text{ MPa} = \sigma_{R2}$$

Ověření styčnicků

- Styčnick 13 (CTT) – po zpřesnění OK



$$\sigma_{13,7} = \frac{T_{7,13}}{A_{13,7}} = \frac{462000}{200 \cdot 200} = 11,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{13,14} = \frac{C_{13,14}}{A_{13,14}} = \frac{1491000}{631 \cdot 200} = 11,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{R2} = \frac{R_2}{A_{R2}} = \frac{1491000}{400 \cdot 400} = 9,3 \text{ MPa}$$

Ověření styčnicků

- Styčnický 11 a 14 (CCC) – OK

$$h_{11,9} = \frac{C_{9,11}}{b\sigma_{Rd,CCC}} = \frac{513000}{200 \cdot 17,6} = 146 \text{ mm}$$

$$h_{11,10} = \frac{C_{10,11}}{b\sigma_{Rd,CCC}} = \frac{946000}{200 \cdot 17,6} = 269 \text{ mm}$$

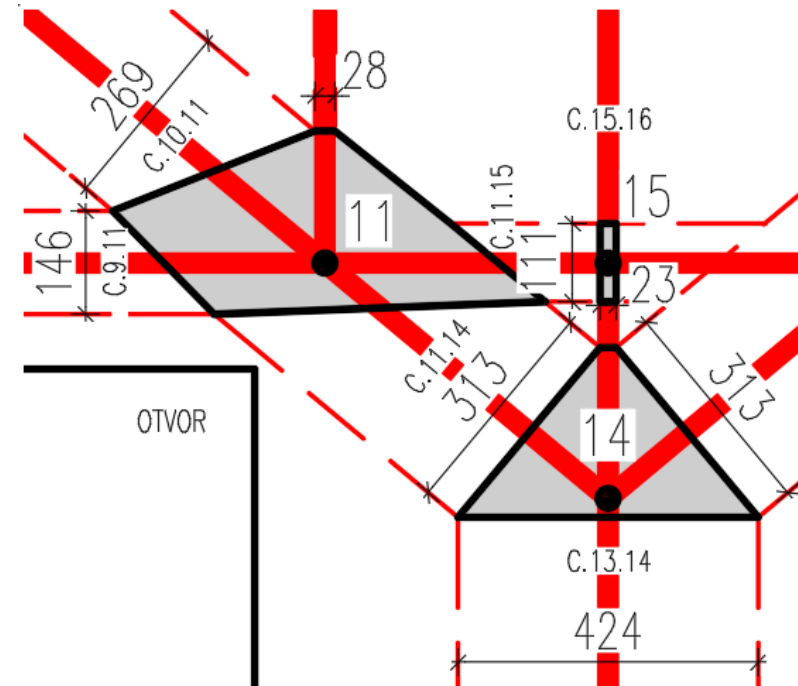
$$h_{11,12} = \frac{C_{11,12}}{b\sigma_{Rd,CCC}} = \frac{99000}{200 \cdot 17,6} = 28 \text{ mm}$$

$$h_{11,14} = \frac{C_{11,14}}{b\sigma_{Rd,CCC}} = \frac{1103000}{200 \cdot 17,6} = 313 \text{ mm}$$

$$h_{11,15} = \frac{C_{11,15}}{b\sigma_{Rd,CCC}} = \frac{392000}{200 \cdot 17,6} = 111 \text{ mm}$$

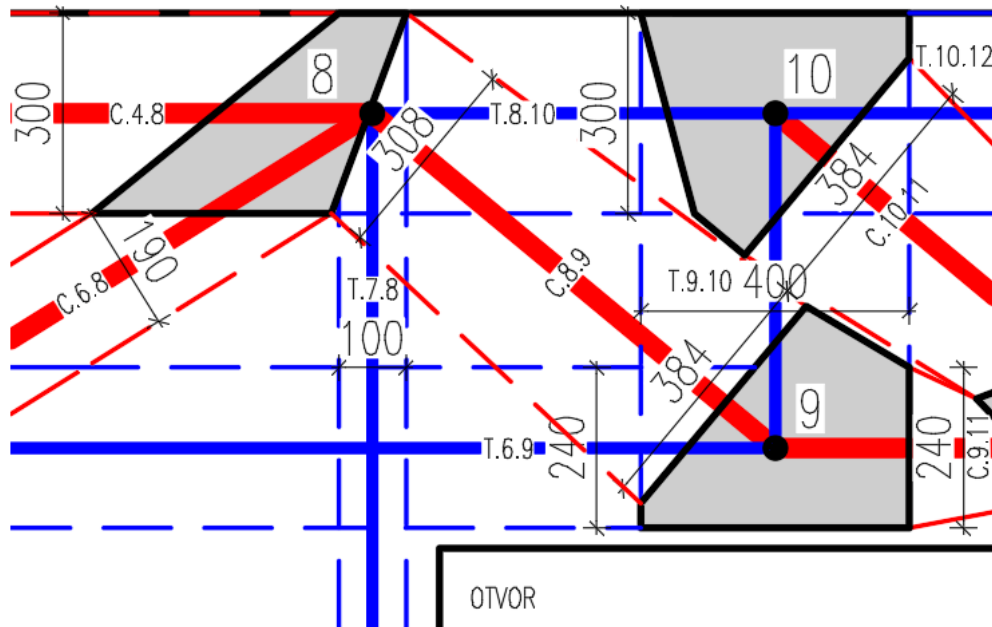
$$h_{14,13} = \frac{C_{13,14}}{b\sigma_{Rd,CCC}} = \frac{1491000}{200 \cdot 17,6} = 424 \text{ mm}$$

$$h_{14,15} = \frac{C_{14,15}}{b\sigma_{Rd,CCC}} = \frac{80000}{200 \cdot 17,6} = 23 \text{ mm}$$



Ověření styčniců

- Styčnice 8, 9, 10 (CTT) – OK



$$\sigma_{8,4} = \frac{C_{4,8}}{A_{8,4}} = \frac{493000}{300 \cdot 200} = 8,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{8,6} = \frac{C_{6,8}}{A_{8,6}} = \frac{50000}{190 \cdot 200} = 1,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{8,7} = \frac{T_{7,8}}{A_{8,7}} = \frac{235000}{100 \cdot 200} = 11,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{8,9} = \frac{C_{8,9}}{A_{8,9}} = \frac{763000}{308 \cdot 200} = 12,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{8,10} = \frac{T_{8,10}}{A_{8,10}} = \frac{51000}{300 \cdot 200} = 0,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{9,6} = \frac{T_{6,9}}{A_{9,6}} = \frac{78000}{240 \cdot 200} = 1,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{9,8} = \frac{C_{8,9}}{A_{9,8}} = \frac{763000}{384 \cdot 200} = 9,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{9,10} = \frac{T_{9,10}}{A_{9,10}} = \frac{489000}{400 \cdot 200} = 6,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{9,11} = \frac{C_{9,11}}{A_{9,11}} = \frac{513000}{240 \cdot 200} = 10,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{10,8} = \frac{T_{8,10}}{A_{10,8}} = \frac{51000}{300 \cdot 200} = 0,9 \text{ MPa}$$

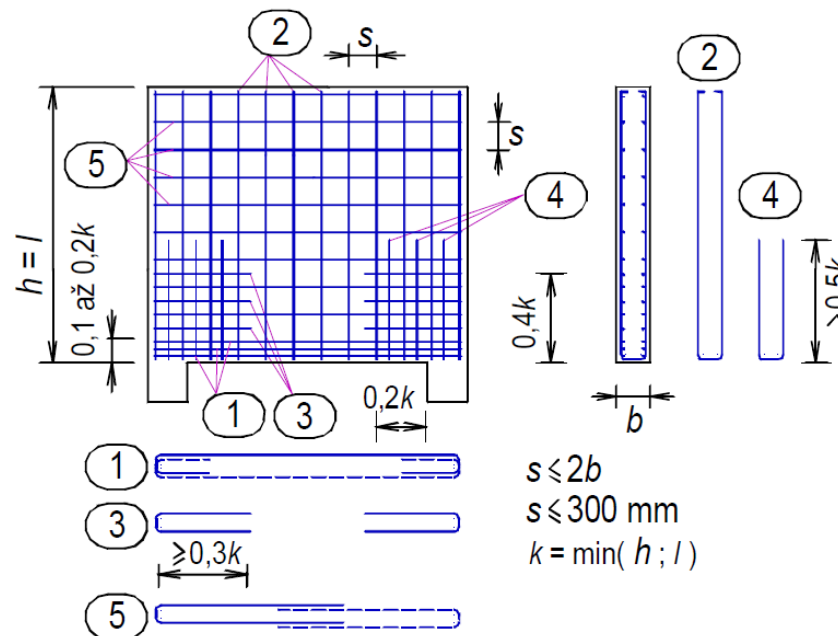
$$\sigma_{10,9} = \frac{T_{9,10}}{A_{10,9}} = \frac{489000}{400 \cdot 200} = 6,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{10,11} = \frac{C_{10,11}}{A_{10,11}} = \frac{946000}{384 \cdot 200} = 12,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{10,12} = \frac{T_{10,12}}{A_{10,12}} = \frac{778000}{300 \cdot 200} = 13,0 \text{ MPa}$$

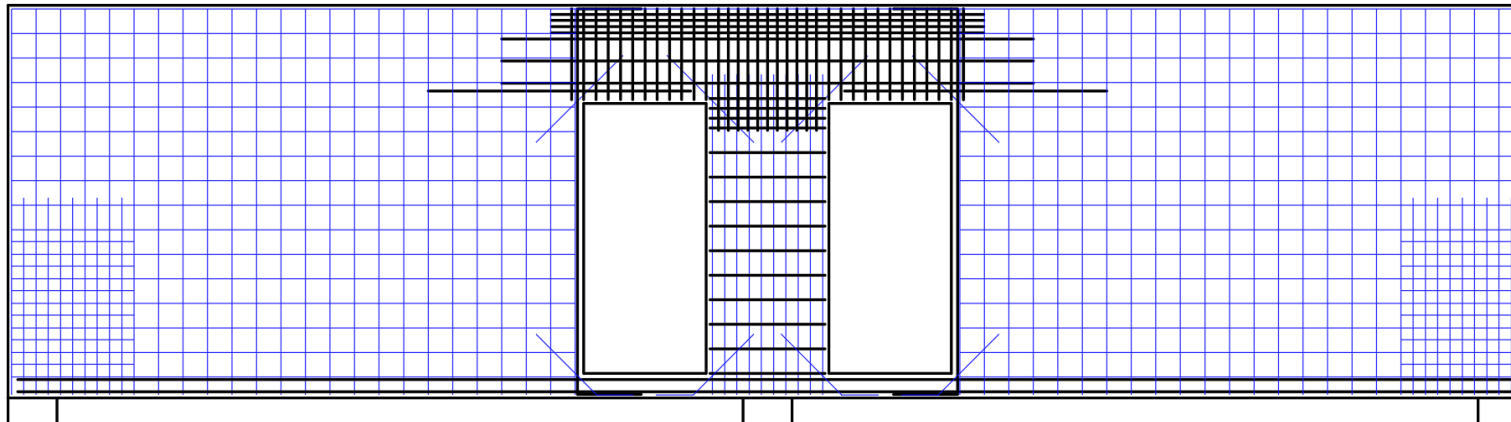
Konstrukční výztuž

- Lemovací U-profil, na spodním okraji U-profilu vynášející stropní desku
- V podporových oblastech zdvojnásobení plochy základní výztuže



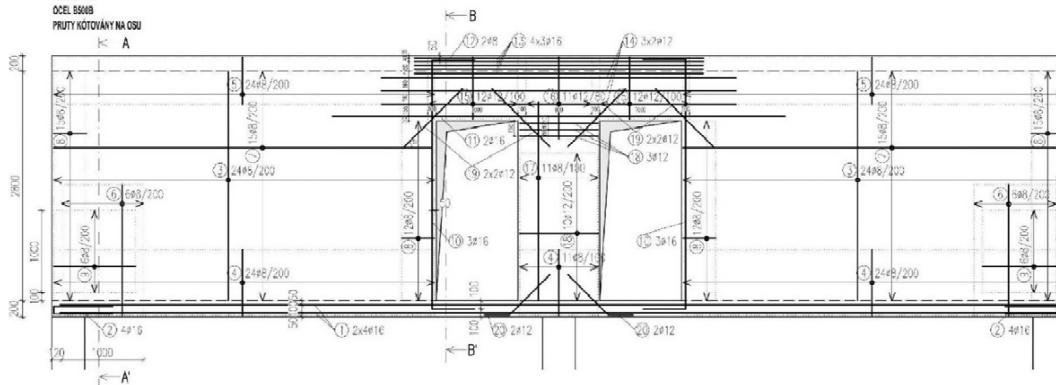
- Šikmá kční výztuž v rozích otvorů (2 $\varnothing 12$)

Finální vyztužení

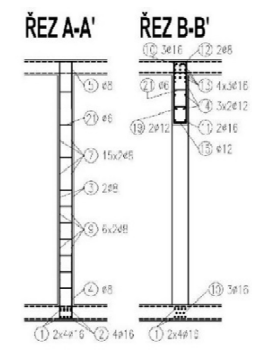
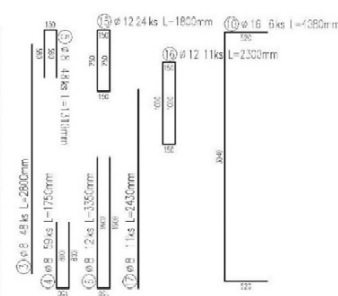


SCHEMA VÝZTUŽE STĚNOVÉHO NOSNÍKU

BETON C30/37 XC1 CI 0,4 Dmax16 S4
 KRYTÍ 20 mm
 OCEL S500B
 PRUTY KOTOVÁNY NA OSU



- ① $\varnothing 16$ 8 ks L=1220mm
- ② $\varnothing 15$ 8 ks L=1500mm
- ③ $\varnothing 8$ 30 ks L=4660mm
- ④ $\varnothing 8$ 50 ks L=920mm
- ⑤ $\varnothing 8$ 12 ks L=2125mm
- ⑥ $\varnothing 15$ 2 ks L=5540mm
- ⑦ $\varnothing 8$ 2 ks L=3540mm
- ⑧ $\varnothing 16$ 12 ks L=3540mm
- ⑨ $\varnothing 12$ 6 ks L=4340mm
- ⑩ $\varnothing 12$ 3 ks L=2180mm
- ⑪ $\varnothing 12$ 6 ks L=1000mm
- ⑫ $\varnothing 12$ 4 ks L=1000mm

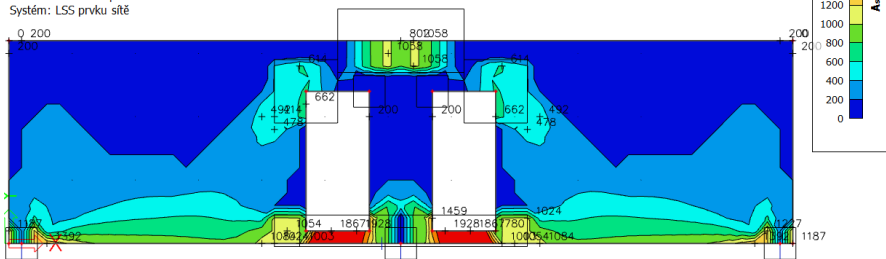


- ⑰ $\varnothing 6$ -500 ks L=210mm
- SPONKY:
- V DR ASTI VLOŽKY 15 BASTR 100x200mm
- V DR ASTI VLOŽKY 4,16,15 1051R 200x200mm
- NA ZEVNÍKU PLOCHÝ BASTR 400x400mm

Porovnání se SCIA (pouze táhla)

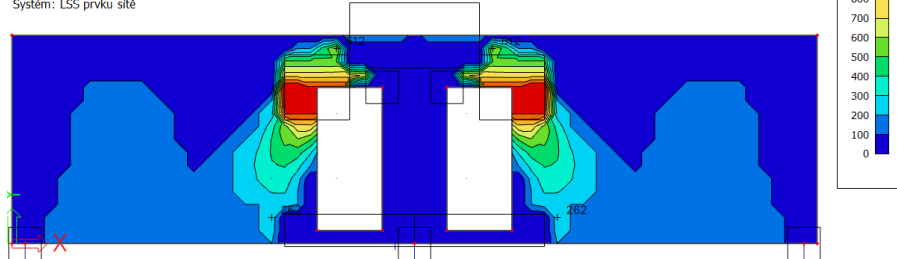
Návrh výztuže 2D (MSÚ)

Hodnoty: $A_{s,req-1}$
 Lineární výpočet
 Kombinace: MSU
 Extrém: Globální
 Výběr: Vše
 Poloha: V uzlech s průměrováním.
 Systém: LSS prvků sítě



Návrh výztuže 2D (MSÚ)

Hodnoty: $A_{s,req-2}$
 Lineární výpočet
 Kombinace: MSU
 Extrém: Globální
 Výběr: Vše
 Poloha: V uzlech s průměrováním.
 Systém: LSS prvků sítě

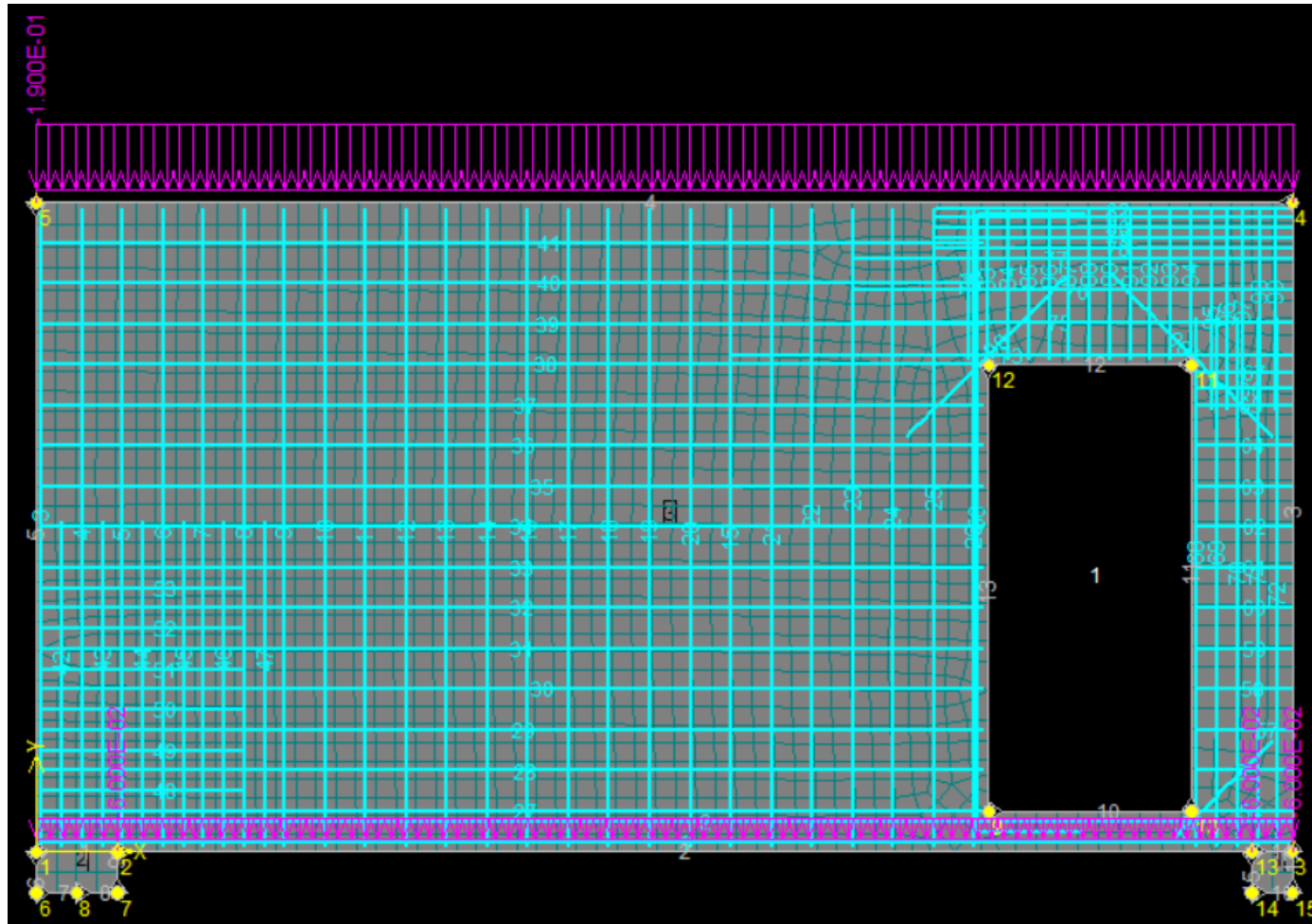


Táhlo	Popis	STM [mm ²]	Scia [mm ²]
T-1-13	Dolní pas	1140	771
T-8-16	Horní pas	1789	846
T-3-4+T-5-6	Stěna svise 1	685	940
T-7-8	Otvor svise	540	1133
T-6-9	Otvor vodorovně	179	600
T-9-10	Nadpraží	1124	1200

- Stěnové nosníky s otvory nelze správně navrhnout pouze lineárně pružnou analýzou

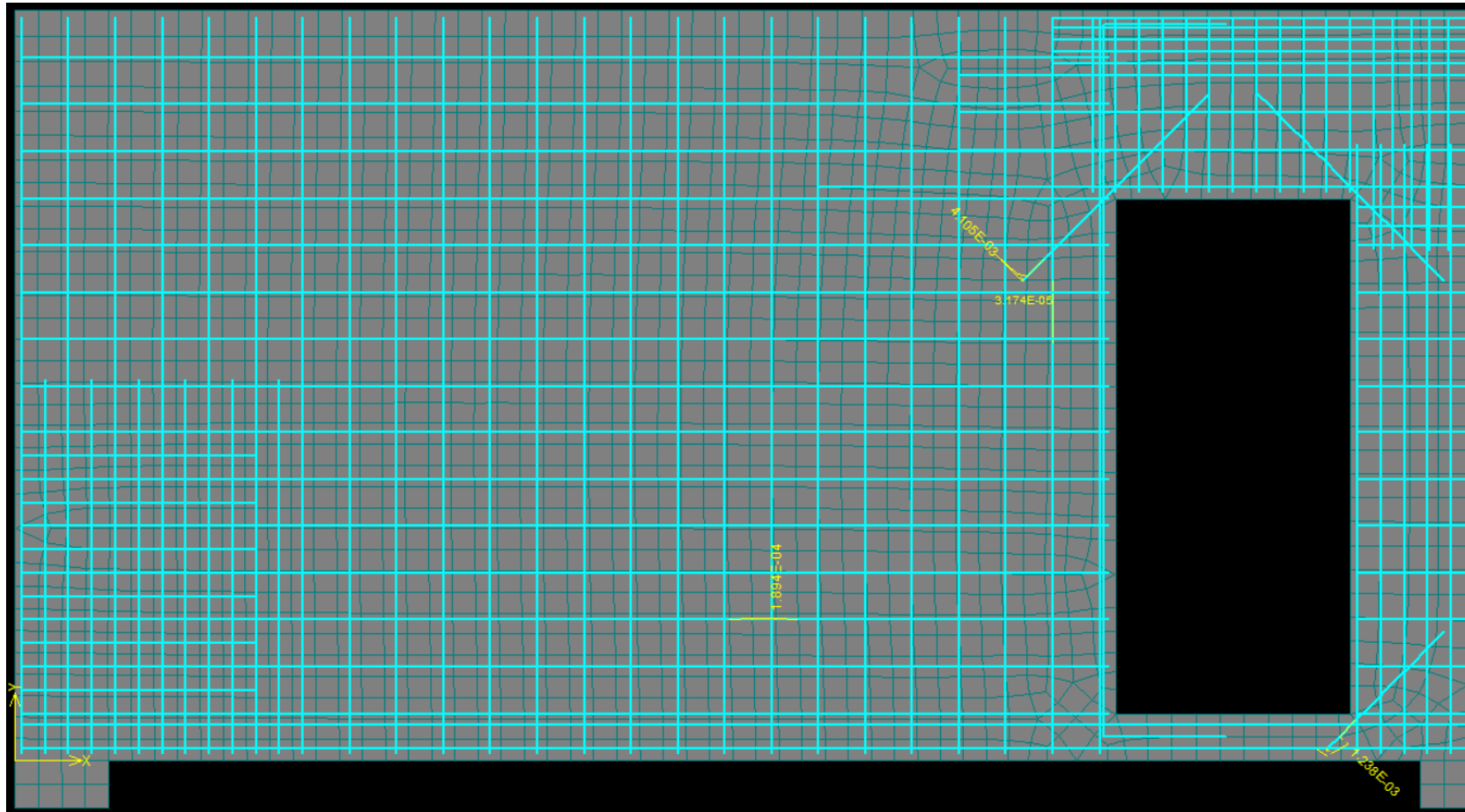
ATENA 2D: Odezva pro návrhové zatížení

- Návrhové zatížení a materiálové parametry



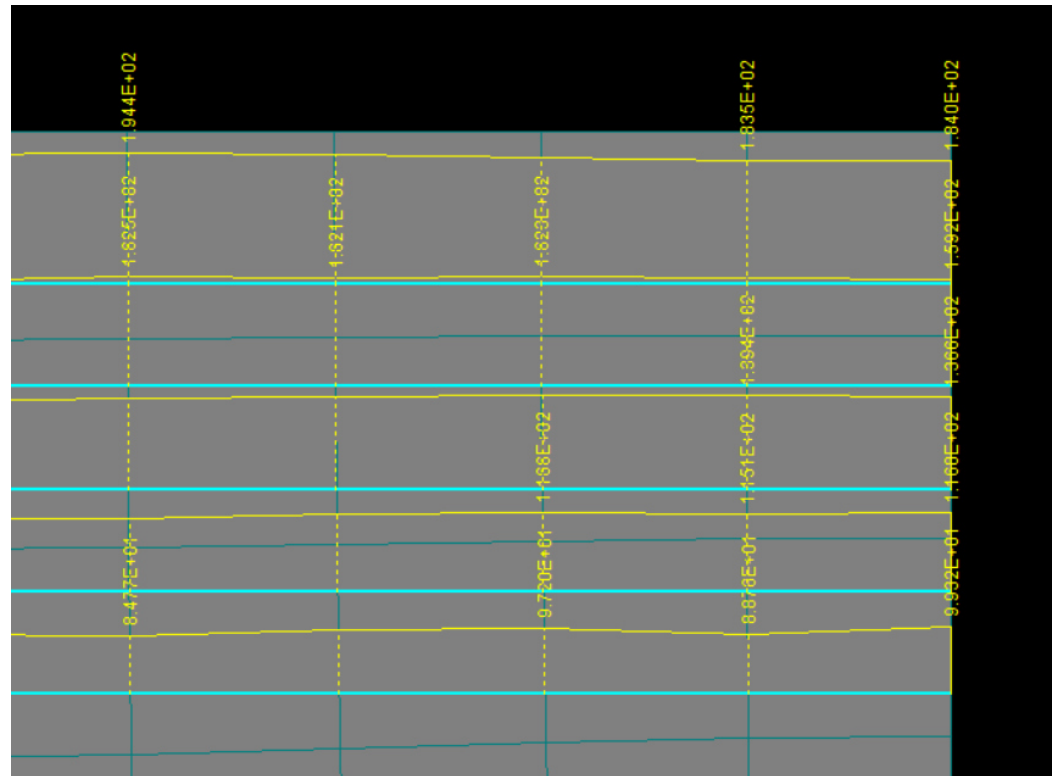
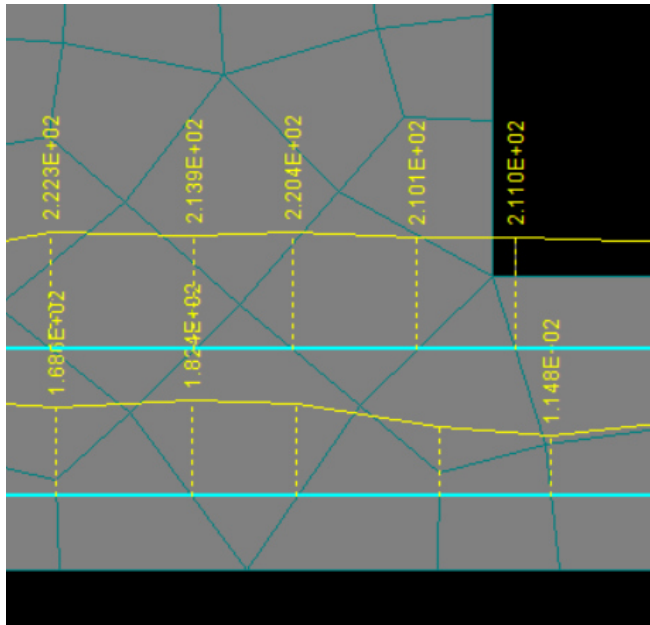
ATENA 2D: Odezva pro návrhové zatížení

- Plastické přetvoření výztuže: Výztuž pod mezí kluzu



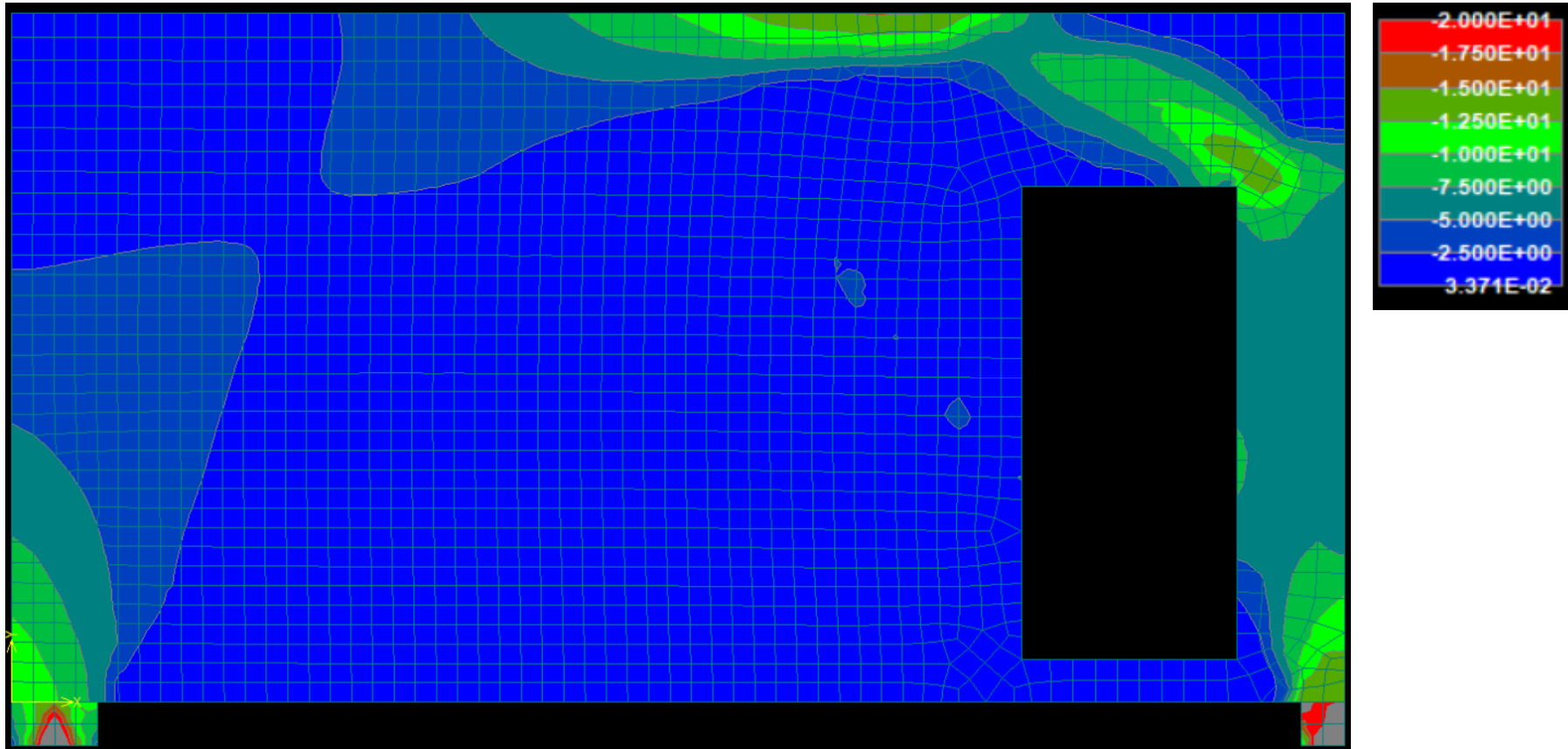
ATENA 2D: Odezva pro návrhové zatížení

- Napětí ve výztuži – max. cca 200 MPa



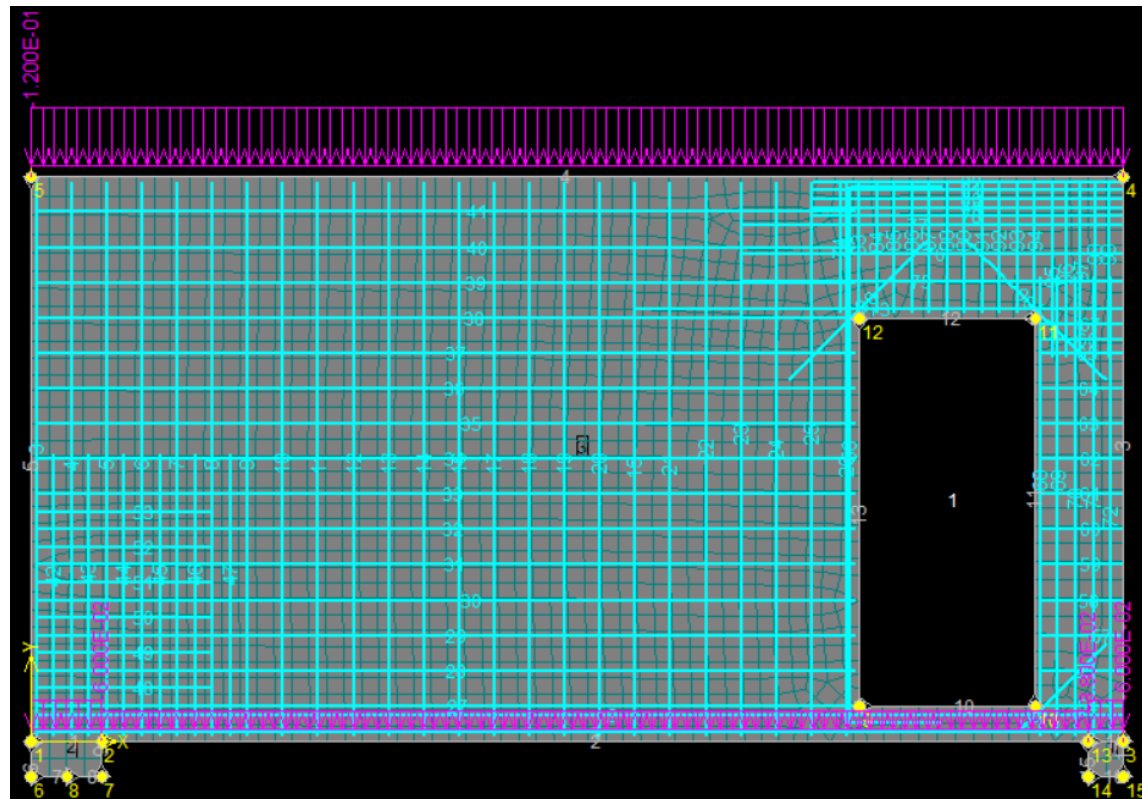
ATENA 2D: Odezva pro návrhové zatížení

- Hlavní tlaková napětí v betonu (C30/37)



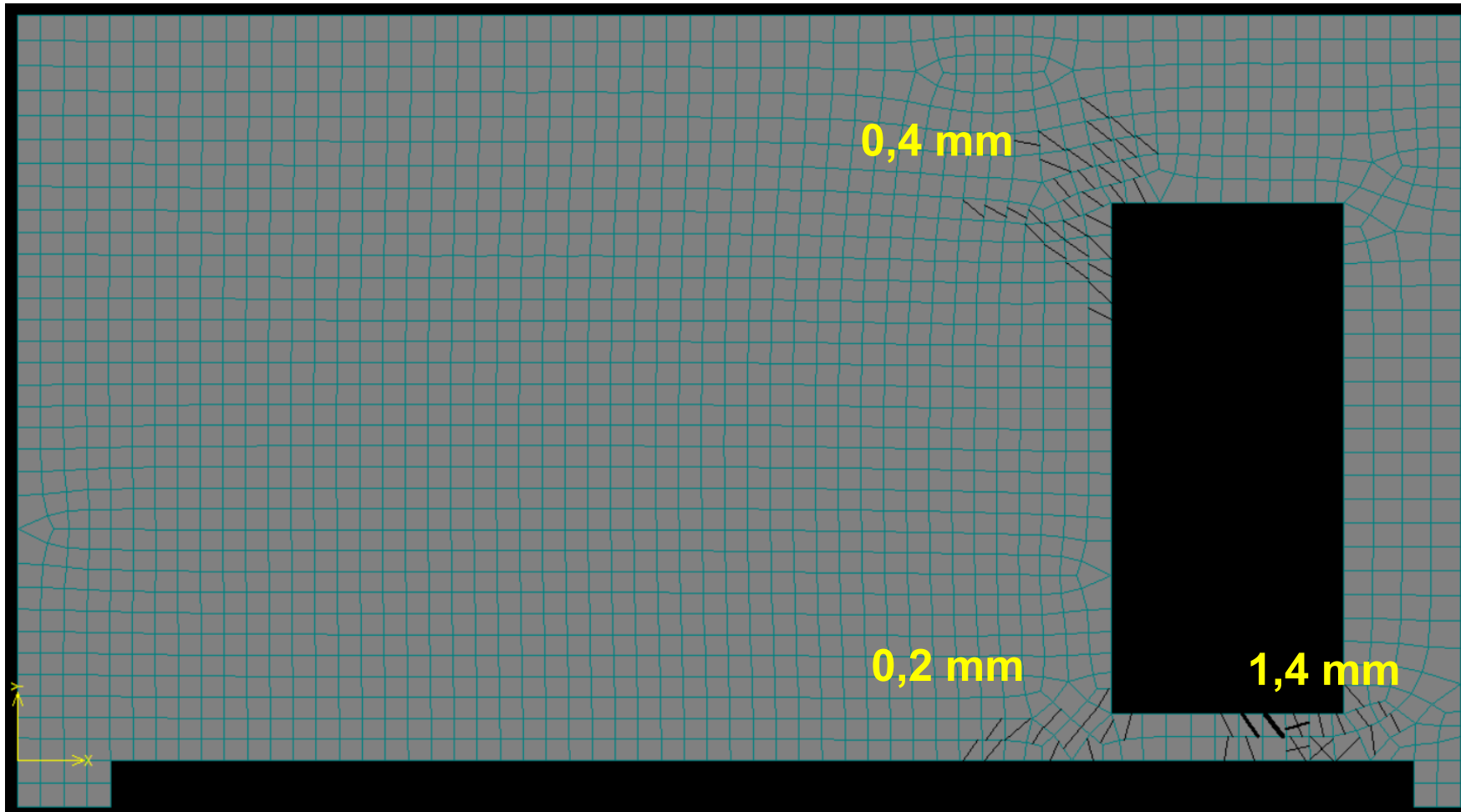
ATENA 2D: MSP

- Kvazistálé zatížení, charakteristické materiálové parametry, dlouhodobé působení
- E redukován: $E_c = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi} = \frac{32}{1 + 2,25} = 9,85 \text{ GPa}$



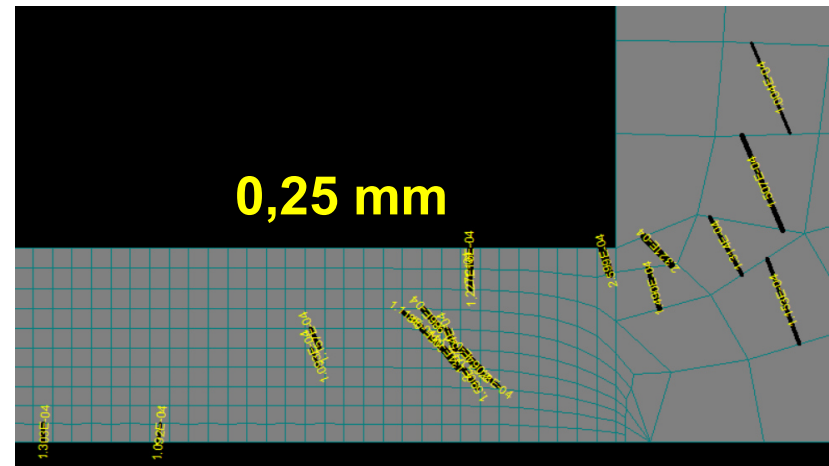
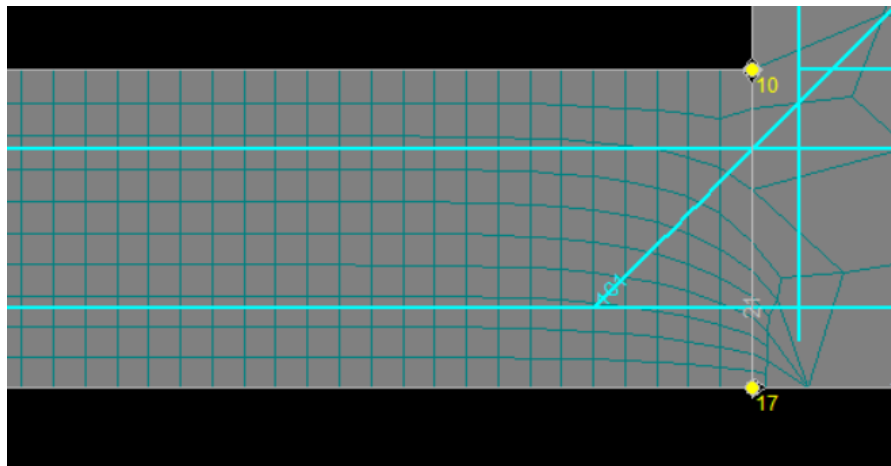
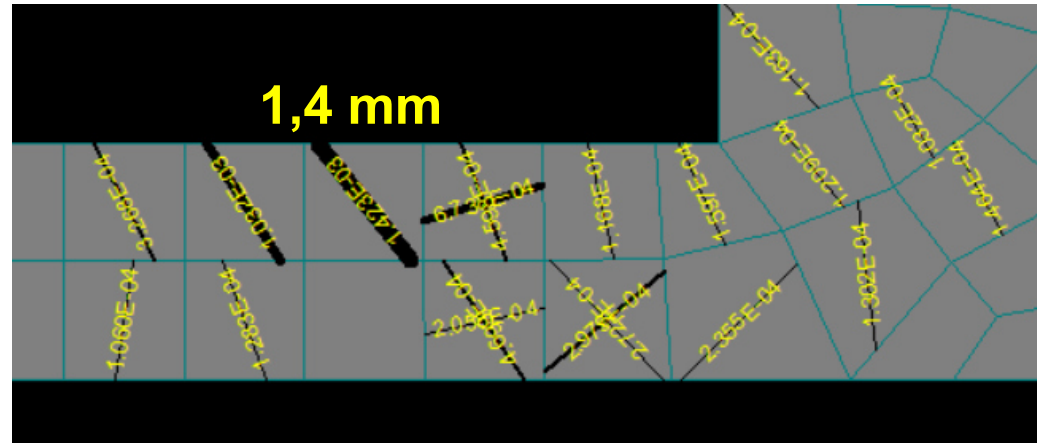
ATENA 2D: MSP

- Trhliny (zobrazeny pouze $> 0,1$ mm)



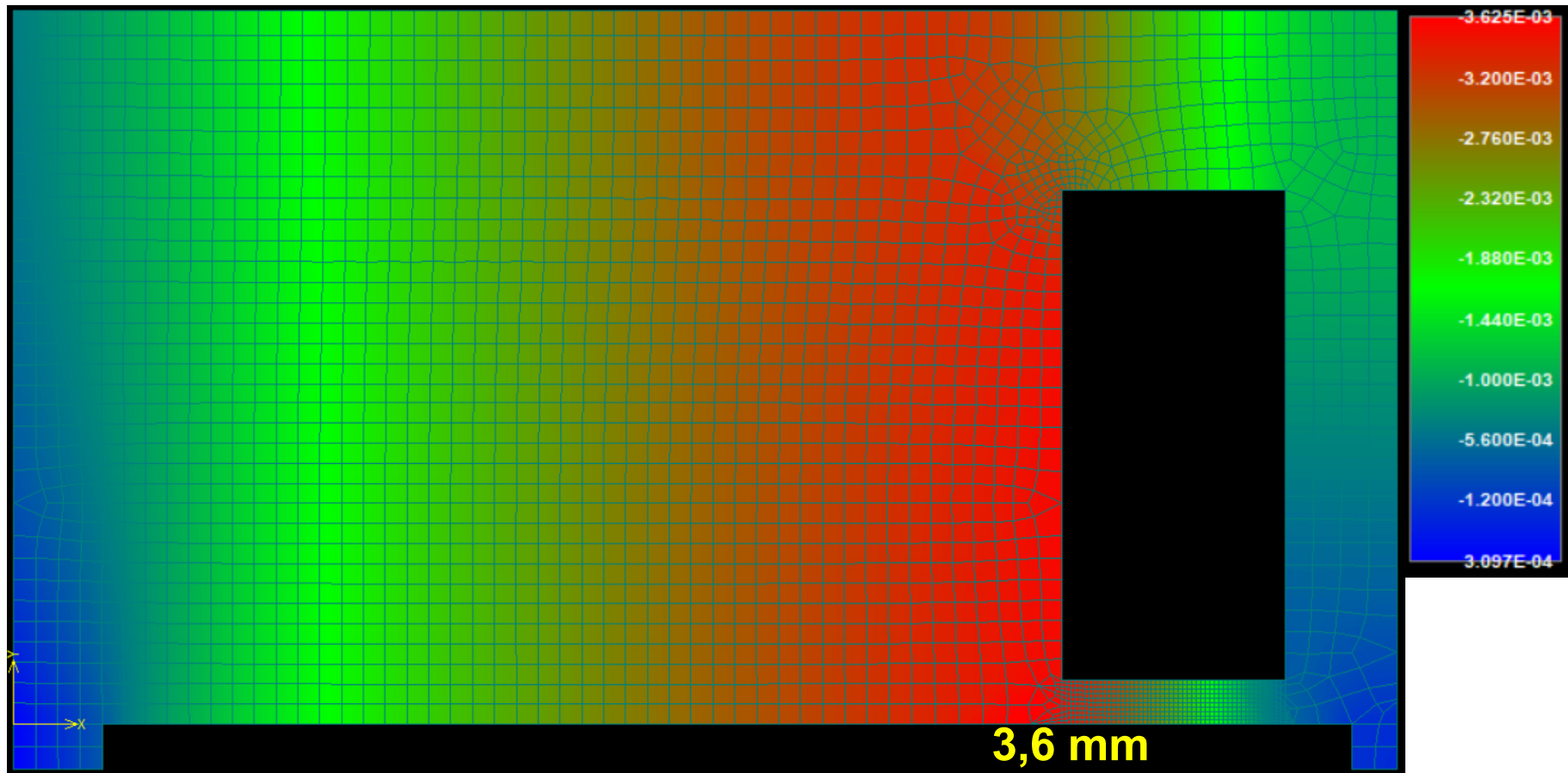
ATENA 2D: MSP

- Trhliny



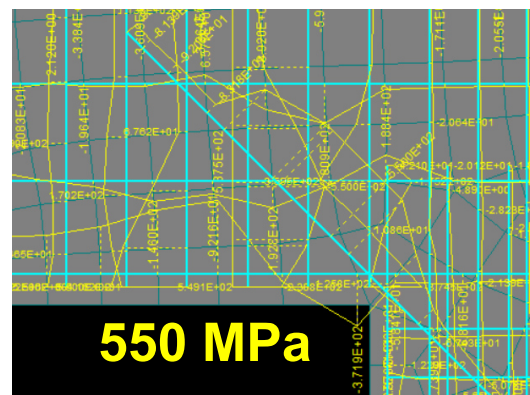
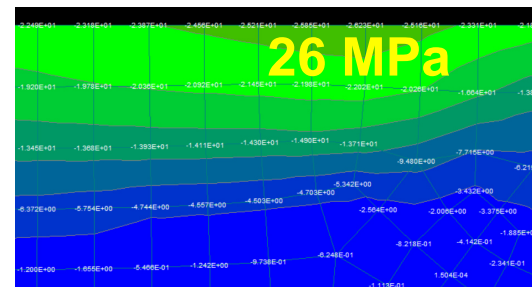
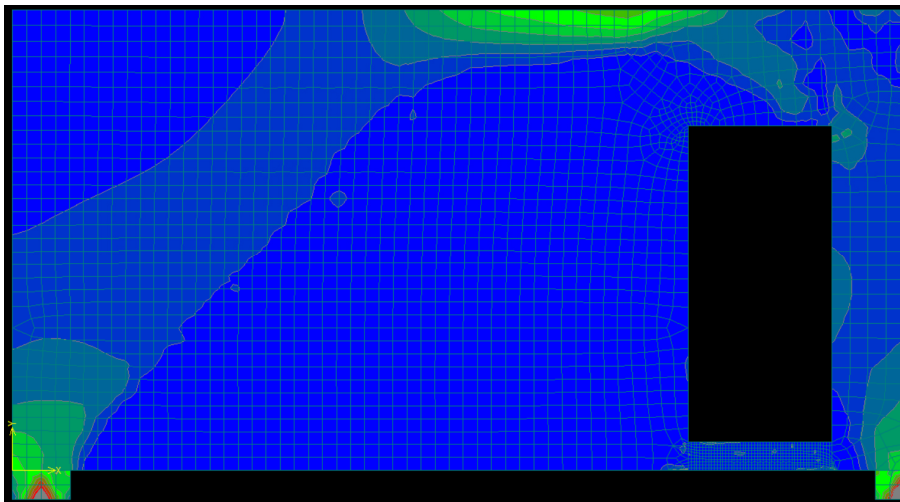
ATENA 2D: MSP

- Svislé deformace

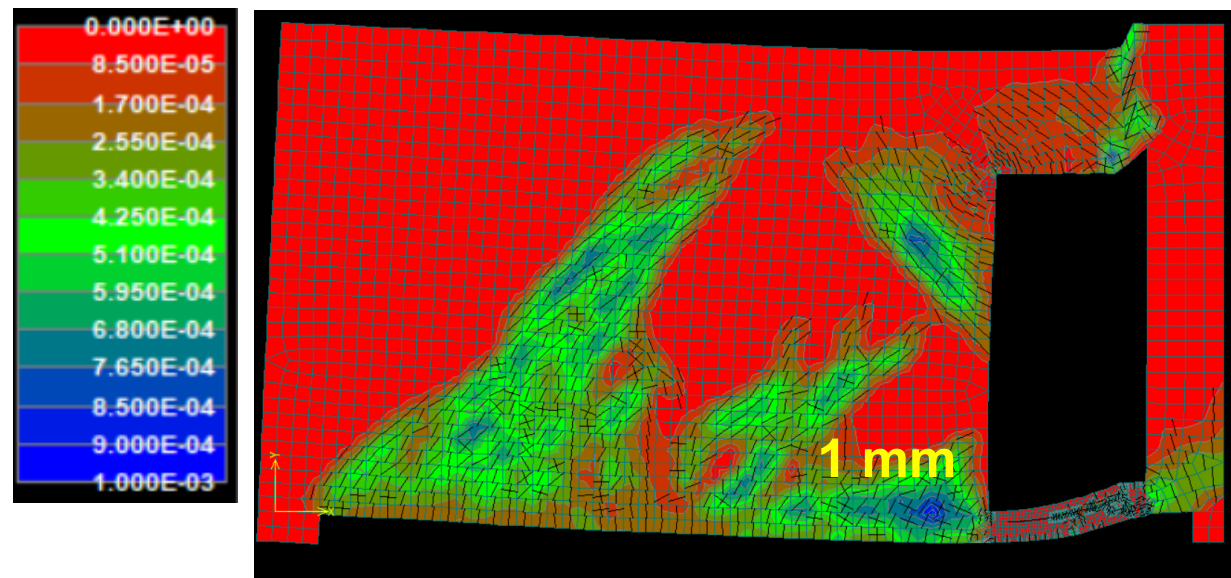
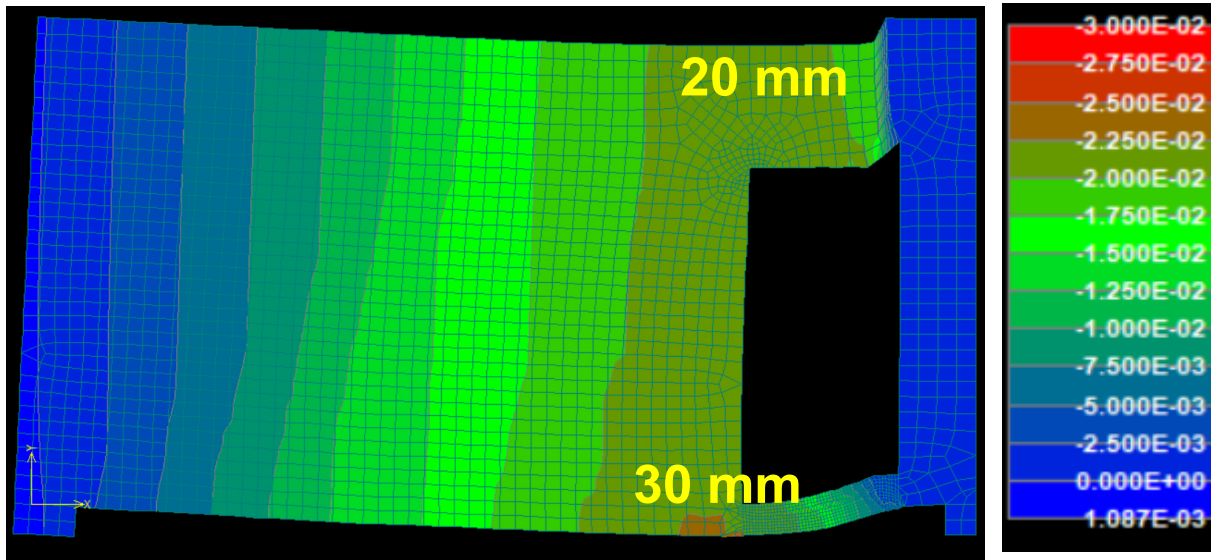


ATENA 2D: „Skutečná“ únosnost (MSÚ)

- Se středními materiálovými parametry => „skutečná“ únosnost = 240 % návrhového zatížení = cca 340 % charakteristického
- Globální součinitel zatížení 1,27 => návrhová únosnost = $240/1,27 = 190$ % návrhového zatížení = cca 260 % charakteristického

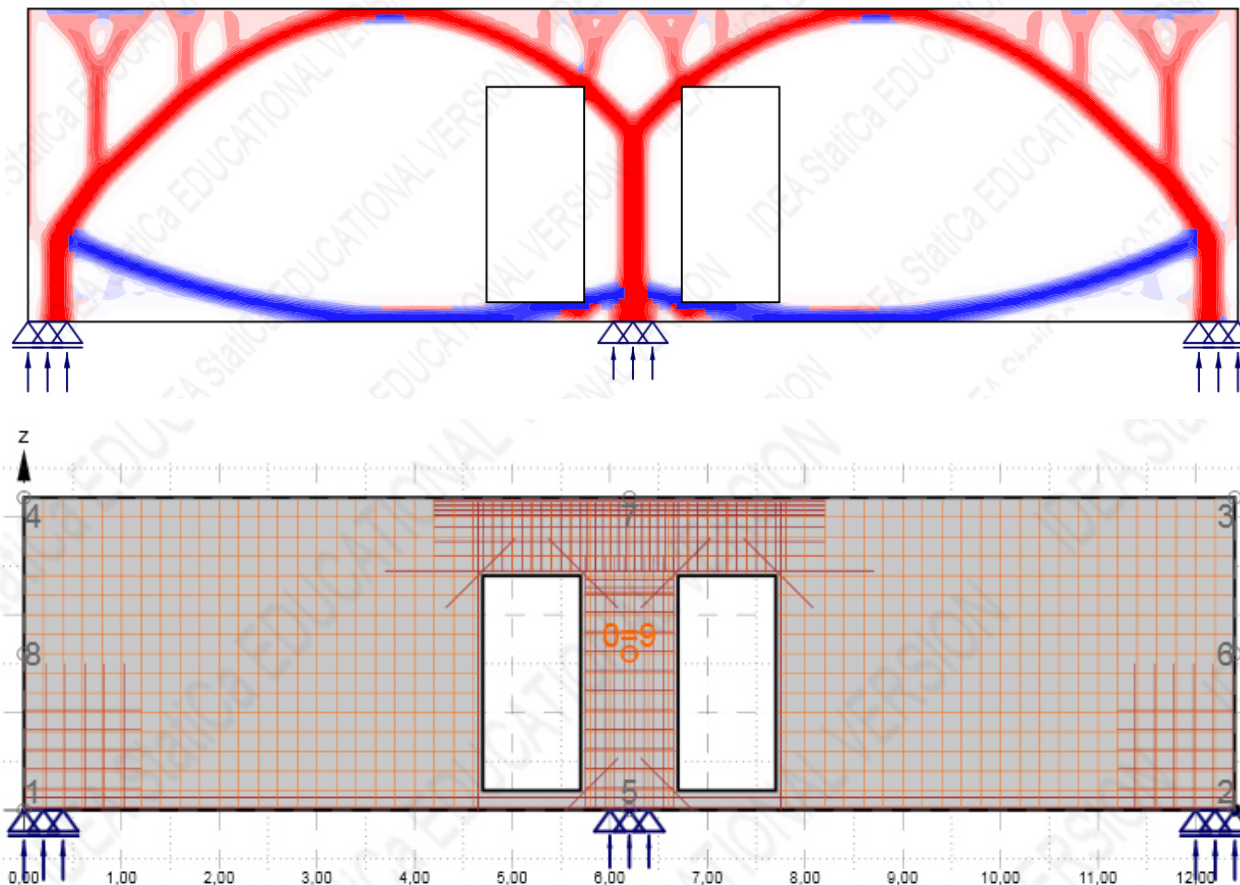


ATENA 2D: „Skutečná“ únosnost (MSÚ)



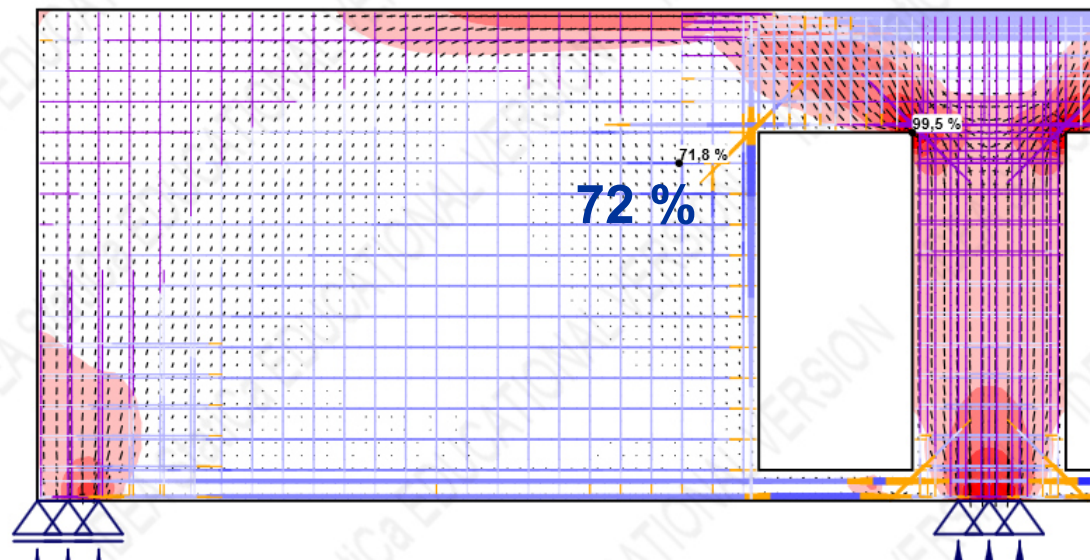
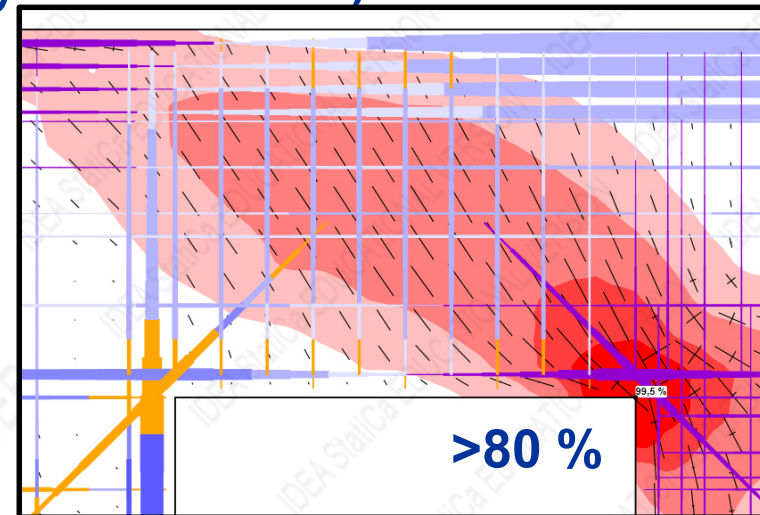
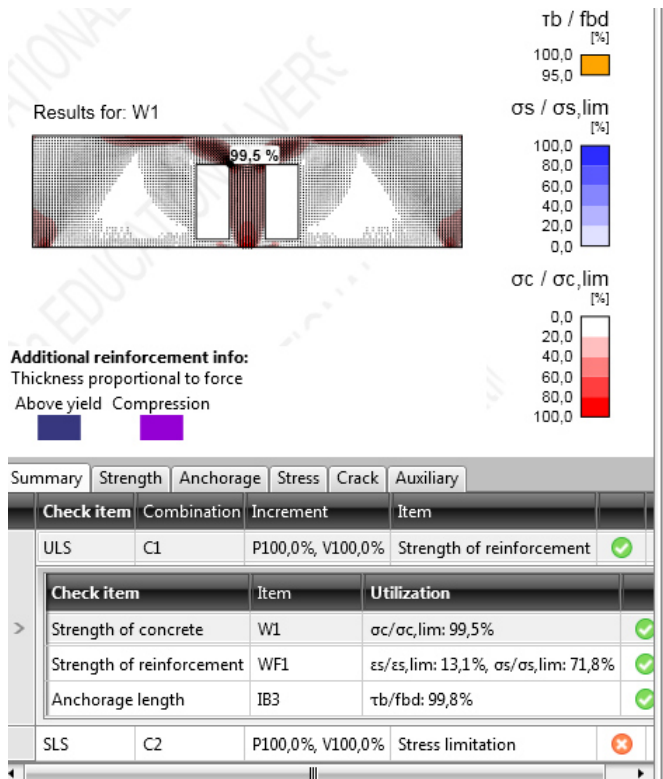
IDEA StatiCa

- + Jednodušší zadání => rychlejší optimalizace
- - Méně možností definice vstupů i práce s výsledky



IDEA StatiCa

- MSÚ (návrhové parametry i zatížení)



IDEA StatiCa

- MSP (charakter. parametry, kvazistálé zatížení)

