



PROJEKTOVÁ DOKUMENTACE FVE
Jihomoravský kraj: Nemocnice Tišnov

STATICKÉ POSOUZENÍ

Vypracoval: Ing. Radek Janka
3/2023

STATICKÉ POSOUZENÍ

Objednatel:	Jihomoravský kraj, Žerotínovo náměstí 449/3, 601 82 Brno, IČ 708 88 337
Název stavby:	Instalace FVE na střechu objektu ambulantního traktu
Stavebník:	Nemocnice Tišnov, příspěvková organizace, Purkyňova 279, 666 13 Tišnov
Hlavní projektant:	PKV BUILD, s.r.o., Viněna Office Park, Viněna 526/3, 602 00 Brno
Stupeň projektu:	statické posouzení

ÚVOD

Předmětem statického posouzení je zhodnocení únosnosti střechy objektu ambulantního traktu nemocnice v Tišnově pro účely instalace fotovoltaické elektrárny (FVE). Podkladem pro zpracování je místní prohlídka, projektová dokumentace stavby [1] a další zdroje uvedené v závěru tohoto dokumentu.

Popis objektu

Novostavba ambulantního traktu nemocnice v Tišnově z roku 2021 je dvojpodlažní objekt přibližně čtvercového půdorysu 29,1x26,8 m. Nosná konstrukce je monolitická železobetonová s keramickými vyzdívkami, střecha je plochá s izolačním souvrstvím a ochrannou vrstvou kačírku.



řešený objekt

MÍSTNÍ PROHLÍDKA A DOSTUPNÁ DOKUMENTACE

Podkladem pro zpracování je dokumentace skutečného provedení [1] (označená RDS) předaná objednatelem. Jedná se o stavebně konstrukční část monolitických konstrukcí včetně výkresů výztuže, neobsahuje technickou zprávu ani statický výpočet či jiné údaje o zatížení uvažovaném při návrhu konstrukce. Místní prohlídkou byla ověřena tloušťka vrstvy kačírku.

ZATÍŽENÍ

Skladba střechy

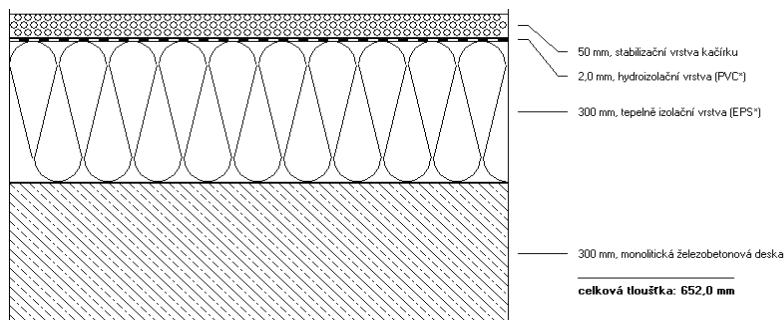
Poznámka: přesné složení není známo, odhadované parametry jsou na stranu bezpečnou. Tloušťka kačírku byla změřena při místní prohlídce.

č.	materiál vrstvy	objem.hm.	tloušťka	plošná hm.
1	stabilizační vrstva kačírku	1800 kg/m ³	50 mm	90,00 kg/m ²
2	ochranná geotextilie			0,30 kg/m ²
3	hydroizolační vrstva (PVC*)	1800 kg/m ³	2 mm	3,60 kg/m ²
4	tepelně izolační vrstva (EPS*)	60 kg/m ³	300 mm	18,00 kg/m ²
5	parozábarana			4 kg/m ²
6	monolitická železobetonová deska	2500 kg/m ³	300 mm	750,00 kg/m ²

Celková zadaná tloušťka skladby: $b = 652,0 \text{ mm}$

Plošná hmotnost skladby: $q' = 865,90 \text{ kg/m}^2$; sklon střechy: $\alpha = 0^\circ$

Vodorovný průmět zatížení střechou: $g = q'/\cos(\alpha) = 865,90/\cos(0) = \mathbf{8,659 \text{ kN/m}^2}$



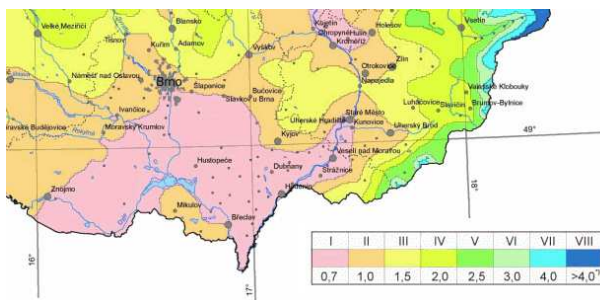
Užitné zatížení

Uvažuji se zatížením podhledy $g_2 = 0,15 \text{ kN/m}^2$.

Kategorie plochy: H = střechy; podrobněji: střechy - doporučená užitná zatížení pro nepřístupné střechy

$q_k = \mathbf{0.75 \text{ kN/m}^2}$; $Q_k = \mathbf{1.0 \text{ kN}}$

Zatížení sněhem



upřesnění zatížení sněhem podle ČSN EN

upřesnění zatížení sněhem podle Sněhové mapy [3]

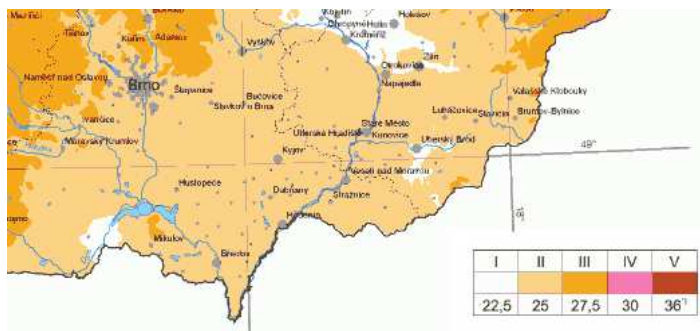
sněhová oblast II., základní tíha sněhu na zemi: $s_k = \underline{0,93} \text{ kN/m}^2$

pultová / plochá střecha: sklon $\alpha = 0,000^\circ \approx$ spád 0 %

$\mu_s = 0,800$; $C_t = 1,0$; $C_e = 1,0$ (normální krajina)

$s_{0,k} = s_k \cdot C_t \cdot C_e \cdot \mu_s = \underline{0,744} \text{ kN/m}^2$; $\gamma_f = 1,50$

Zatížení větrem



upřesnění zatížení větrem podle ČSN EN

větrová oblast III., výchozí základní rychlost větru: $v_{b,0} = 27,5 \text{ m/s}$

$C_{dir} = 1,0$; $C_{season} = 1,0$; základní rychlost větru $v_b = v_{b,0} \cdot C_{dir} \cdot C_{season} = 27,5 \text{ m/s}$

základní dynamický tlak větru $q_b = 1/2 \cdot \rho \cdot v_b^2 = 1/2 \cdot 1,25 \cdot 27,500^2 = 472,7 \text{ N/m}^2$

kategorie terénu: IV. (městské oblasti s průměrnou výškou více než 15 m na alespoň 15 % plochy) $\Rightarrow z_0 = 1,000 \text{ m}$; $z_{min} = 10,000 \text{ m}$

součinitel terénu $k_f = 0,19 \cdot (z_0/z_{0,II})^{0,07} = 0,24$

výška stavby $h = 5,50 \text{ m}$ $h < z_{\min} \Rightarrow z = z_{\min}$; referenční výška $z = 10,000 \text{ m}$

součinitel drsnosti $c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0) = 0,24 \cdot \ln(10,00/1,00) = 0,55$; součinitel ortografie $c_o = 1,00$; součinitel turbulence $k_i = 1,00$

střední rychlost větru $v_m = v_b \cdot c_r \cdot c_o = 27,50 \cdot 0,55 \cdot 1,00 = 15,20 \text{ m/s}$

intenzita turbulence $I_v = (k_r \cdot v_b \cdot k_i) / v_m = (0,24 \cdot 27,50 \cdot 1,00) / 15,20 = 0,434$

maximální dynamický tlak větru: $q_{p,k}(z) = (1 + 7 \cdot I_v) \cdot 1/2 \cdot \rho \cdot v_m^2 = (1 + 7 \cdot 0,43) \cdot 1/2 \cdot 1,25 \cdot 15,20^2 = 583,2 \text{ N/m}^2 = \underline{\underline{0,583 \text{ kN/m}^2}}$; $\gamma = 1,50$

ZATÍŽENÍ STŘECHY INSTALACÍ FVE

Statické posouzení řeší únosnost střešní konstrukce na přetížení instalací fotovoltaické elektrárny (FVE).

Posouzení komponent FVE není předmětem tohoto dokumentu. Orientace panelů FVE není v době zpracování posouzení stanovena, je uvažováno s obvyklými hodnotami. Proti účinkům větru bude FVE stabilizována přídatnou zátěží (balastní zatížení), jehož hodnoty jsou uvedeny dále v textu.

Celkové přetížení střechy instalací FVE je tvořeno vlastní tíhou panelů, systémových komponent (kabeláž, měniče atd), stojanů pro zajištění sklonu, kotevních lišt, **stabilizační zátěží (balast)**, užitným zatížením obsluhou FVE a případným navýšením zatížení sněhem vlivem vzniku návějí (viz dále).

Vlastní tíha technologie FVE

- $g_0 = \text{vlastní tíha FV panelů} \approx 12,0 \text{ kg/m}^2 = 0,120 \text{ kN/m}^2$
- $g_1 = \text{kabeláž, měniče, montážní materiál, držáky} = 8,0 \text{ kg/m}^2 = 0,080 \text{ kN/m}^2$

$\Sigma g_k = 20,0 \text{ kg/m}^2 = \underline{\underline{0,200 \text{ kN/m}^2}}$

Posouzení vlivu FVE na zatížení sněhem

Zatížení sněhem - místní překážky:

výška překážky $h = 0,37 \text{ m}$; $s_k = 0,93 \text{ kN/m}^2$

délka návěje: $L_s = 2 \cdot h = 0,73$; $5,0 \text{ m} \leq L_s \leq 15,0 \text{ m}$; $L_s = 5,00 \text{ m}$

součinitel mimo návěj: $\mu_1 = 0,80$

součinitel v místě návěje: $\mu_2 = \gamma \cdot h / s_k = 2,0 \cdot 0,37 / 0,93 = 0,79$; $0,8 \leq \mu_2 \leq 2,0$; $\mu_2 = 0,80$

návěje sněhu při výšce překážek $h \leq 0,4 \text{ m}$ nevzniknou.

Silové účinky větru

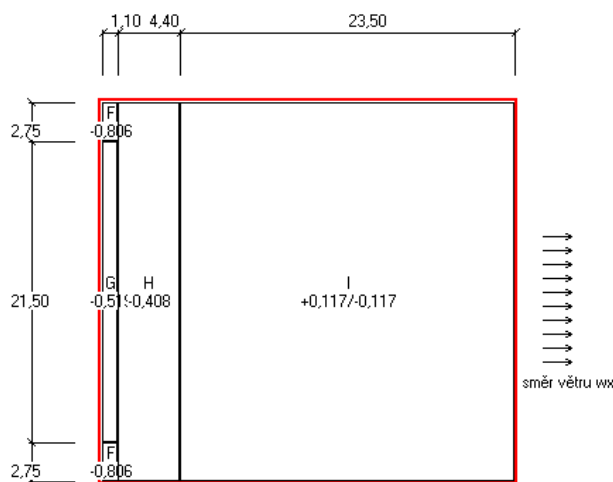
Silové účinky větru na plochou střechu se projevují sáním, resp. tlakem. Pro posouzení FVE je rozhodující **sání**. Maximální vypočtené hodnoty sání podle ČSN EN 1991-1-4 pro směry větru x / y+ / y- a součinitele $c_{pe,10}$ jsou následující:

oblast F: $q_{p,F,10,k} = -0,805 \text{ kN/m}^2$; $\gamma = 1,50$

oblast G: $q_{p,G,10,k} = -0,519 \text{ kN/m}^2$; $\gamma = 1,50$

oblast H: $q_{p,H,10,k} = -0,408 \text{ kN/m}^2$; $\gamma = 1,50$

oblast I: $q_{p,I,10,k} = -0,117 \text{ kN/m}^2$; $\gamma = 1,50$



Výpočet nutného balastního přitížení

Minimální nutné přitížení (balastní zátěž) pro stabilizaci FVE proti účinkům sání větru je spočteno podle ČSN EN 1991-1-4 *Zatížení větrem* za použití součinitelů tlaku větru $c_{p,e,10}$ (uvažuje se seskupení panelů do větších ploch $A > 10 \text{ m}^2$). Je uvažováno pouze se sáním větru na horní ploše panelů, je nutné použít zavětrovacích krytů proti podfouknutí. Se zvýšenými vodorovnými účinky větru (tlak na boční plochy, zvýšené tření v ploše střechy) není v tomto posouzení uvažováno, předpokládá se, že jsou z hlediska stability posuzované konstrukce a střechy zanedbatelné.

Hmotnost nutné zátěže je počítána podle vzorce:

$$g_{\text{balast,min,k}} = (q_p \cdot c_{p,e} \cdot \gamma_{f,\text{inf}} - \sum g_{\text{FVE}} \cdot \gamma_{f,\text{sup}}) / \gamma_{f,g}$$

Vypočtené minimální hodnoty balastu pro jednotlivé oblasti střechy:

$g_{\text{balast,F,k}} = 102,75 \text{ kg/m}^2$; $\gamma = 1,35$ - **neuvažují instalaci v této oblasti!**

$g_{\text{balast,G,k}} = 59,85 \text{ kg/m}^2$; $\gamma = 1,35$ - **neuvažuji instalaci v této oblasti!**

$g_{\text{balast,H,k}} = 43,20 \text{ kg/m}^2$; $\gamma = 1,35$

Hodnoty balastního přetížení jsou stanoveny výpočtem podle platných norem ČSN EN pro zatížení stavebních konstrukcí. V případě použití schválených výrobků je možné použít pro stanovení zátěže podklady daného výrobce, kde může být balastní zatížení stanoveno na základě provedených zkoušek. Takto stanovené hodnoty mohou vycházet příznivěji, nelze je ale aplikovat na systémy jiných výrobců. Odpovědnost za realizovaný způsob stabilizace FVE vždy nese dodavatel.

POSOUZENÍ STŘECHY

Rekapitulace zatížení

$g_0 = \text{vlastní tíha stropní konstrukce} = 0,3 \cdot 25 = 7,50 \text{ kN/m}^2$; $\gamma = 1,35$

$g_1 = \text{střešní plášť} = 1,159 \text{ kN/m}^2$; $\gamma = 1,35$

$g_2 = \text{podhledy} = 0,15 \text{ kN/m}^2$; $\gamma = 1,35$

$q = \text{užitné} = 0,75 \text{ kN/m}^2$; $\gamma = 1,50$

$s = \text{sníh} = 0,74 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow \text{menší než užitné, neuvažuji do kombinace}$

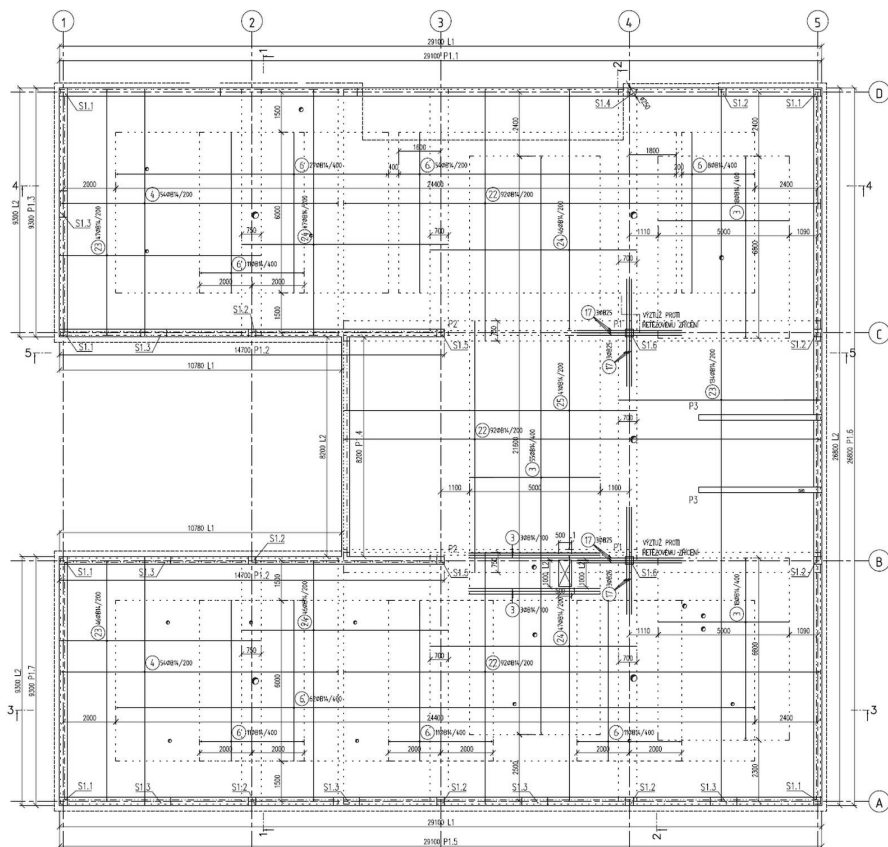
$g_{\text{FVE}} = \text{FVE včetně balastního přetížení} = 0,20 + 0,43 = 0,63 \text{ kN/m}^2$; $\gamma = 1,35$

$\Sigma f_k = 7,50 + 1,159 + 0,15 + 0,75 + 0,63 = \underline{\underline{10,189 \text{ kN/m}^2}}$

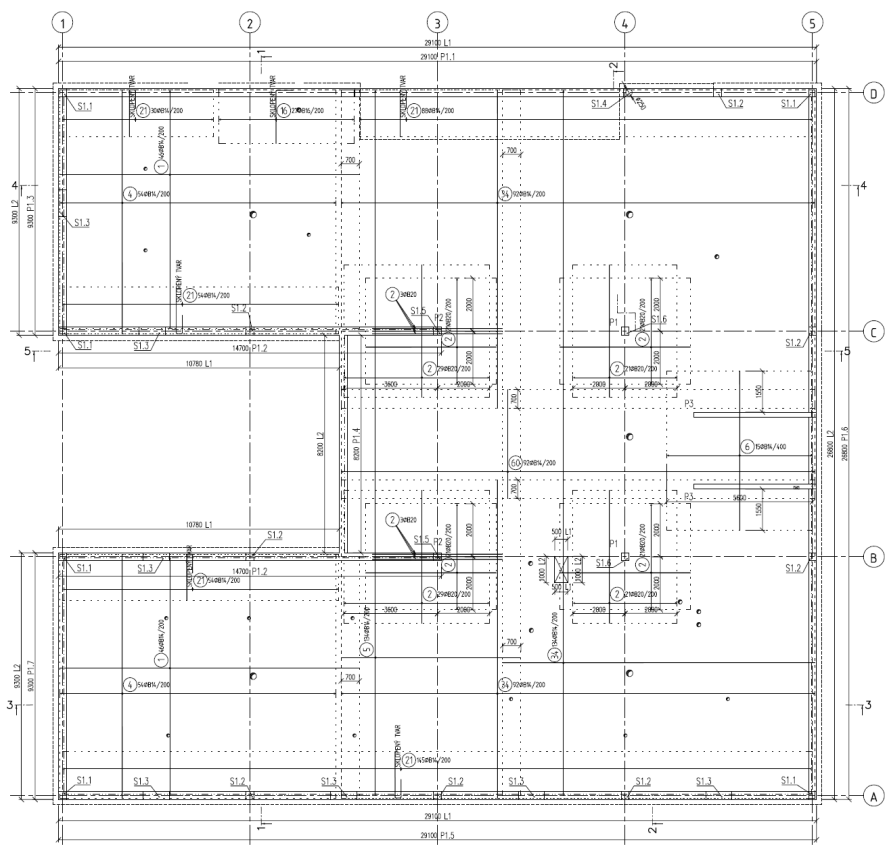
Přetížení FVE představuje přibližně 6 % celkového zatížení.

Posouzení únosnosti monolitické desky

Nejsou známy hodnoty zatížení uvažované při návrhu stropní desky, u novostavby lze předpokládat rezervy pro zatížení technologiemi. Ověření sil a únosnosti bylo provedeno na zjednodušeném výpočtu stropní desky. Podepření je zadáno v místech sloupů a obvodových stěn. Tloušťka desky 300 mm, beton C30/37 (v souladu s [1]), po obvodu ztužující žebra výšky 1300 mm. Zatížení dle rekapitulace výše. Zde uvedeny pouze dílčí výsledky, kompletní výpočet je archivován u zpracovatele posudku.

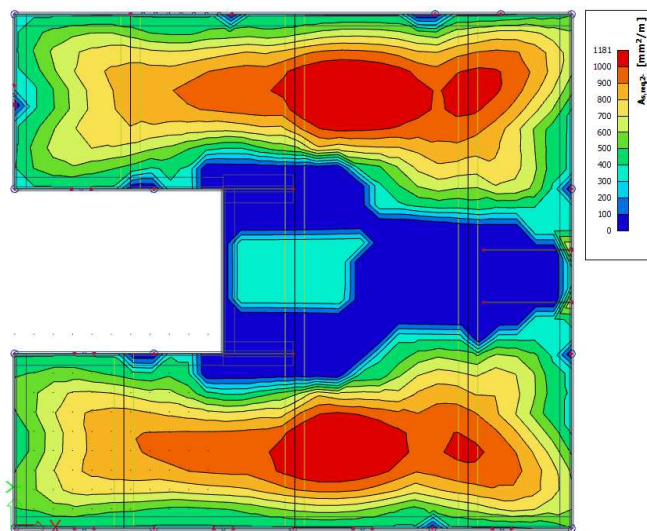


[1] skutečné provedení, dolní výztuž



[1] skutečné provedení, horní výztuž

Směr Y, spodní výztuž:



nutná výztuž

základní výztužení $\varnothing 14/200$, $A_s = 769 \text{ mm}^2$

zesílená výztuž $\varnothing 14/200$ + příložky $\varnothing 14/400 = 1182 \text{ mm}^2/\text{m}$

$A_{s,\text{skutečná}} = 1182 \text{ mm}^2 < A_{s,\text{nutná}} = 1181 \text{ mm}^2$, těsně vyhoví (využití 99,9 %)

Pro posouzení únosnosti desky uvažuji ohybové momenty v poli, $M_{dy,\text{max}} = 117 \text{ kNm}$.

Pro extrémní hodnotu ohybového momentu 117 kNm výztužení $A_s = 1182 \text{ mm}^2$ vyhoví, $M_{Rd} = 119 \text{ kNm} > M_d$. V hodnotě posuzovaného extrémního momentu ale nejsou zahrnuty vlivy krouticích momentů v desce.

Směr X, spodní výztuž:

základní výztuž $\varnothing 14/200 = 769 \text{ mm}^2$

zesílená výztuž $\varnothing 14/200$ + příložky $\varnothing 14/400 = 1182 \text{ mm}^2/\text{m}$

$A_{s,\text{skutečná}} = 1182 \text{ mm}^2 > A_{s,\text{nutná}} = 1016 \text{ mm}^2$, vyhoví (využití 86 %)

Směr Y, horní výztuž:

zesílená výztuž $\varnothing 14/200$ + příložky $\varnothing 20/200 = 2339 \text{ mm}^2$

$A_{s,\text{skutečná}} = 2339 \text{ mm}^2 > A_{s,\text{nutná}} = 1958 \text{ mm}^2$, vyhoví (využití 83 %)

Směr X, horní výztuž:

zesílená výztuž $\varnothing 14/200$ + příložky $\varnothing 20/200 = 2339 \text{ mm}^2$

$A_{s,\text{skutečná}} = 2339 \text{ mm}^2 > A_{s,\text{nutná}} = 2152 \text{ mm}^2$, vyhoví (využití 92 %)

Z důvodu hraničního výsledku posudku snižuji dovolené zatížení FVE na 50 kg/m^2 .

Posouzení ostatních konstrukcí

Vliv na ostatní konstrukce (sloupy, základy) je v jednotkách procent, což je u novostavby navržené dle platných norem akceptovatelné v rámci součinitelů zatížení.

POUŽITÉ PODKLADY A NORMY

[1] *Rekonstrukce nemocnice Tišnov - I. etapa, novostavba ambulantního traktu*, stavebně konstrukční řešení - realizační dokumentace stavby, Ing. Lukáš Janda, Jánošíkova 155, Javorník, datum říjen 2019

[2] *Rekonstrukce nemocnice Tišnov - I. etapa*, architektonicko stavební řešení, Adam Rujbr Architects s.r.o., Brno, datum říjen 2016

ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí

ČSN EN 1991 Zatížení konstrukcí

ČSN EN 1992 Navrhování betonových konstrukcí

ČSN ISO 13822 Zásady navrhování konstrukcí - hodnocení stávajících konstrukcí

ČSN 73 0038 Hodnocení a ověřování existujících konstrukcí - doplňující ustanovení

ZÁVĚR

Bylo provedeno statické posouzení železobetonové střešní desky objektu ambulance Nemocnice v Tišnově na možné přetížení instalací fotovoltaické elektrárny (FVE). **Maximální možné zatížení střechy je 50 kg/m²**, což zahrnuje vlastní tíhu panelů, kabeláž, systémové komponenty a stabilizační zátěž proti účinkům sání větru.

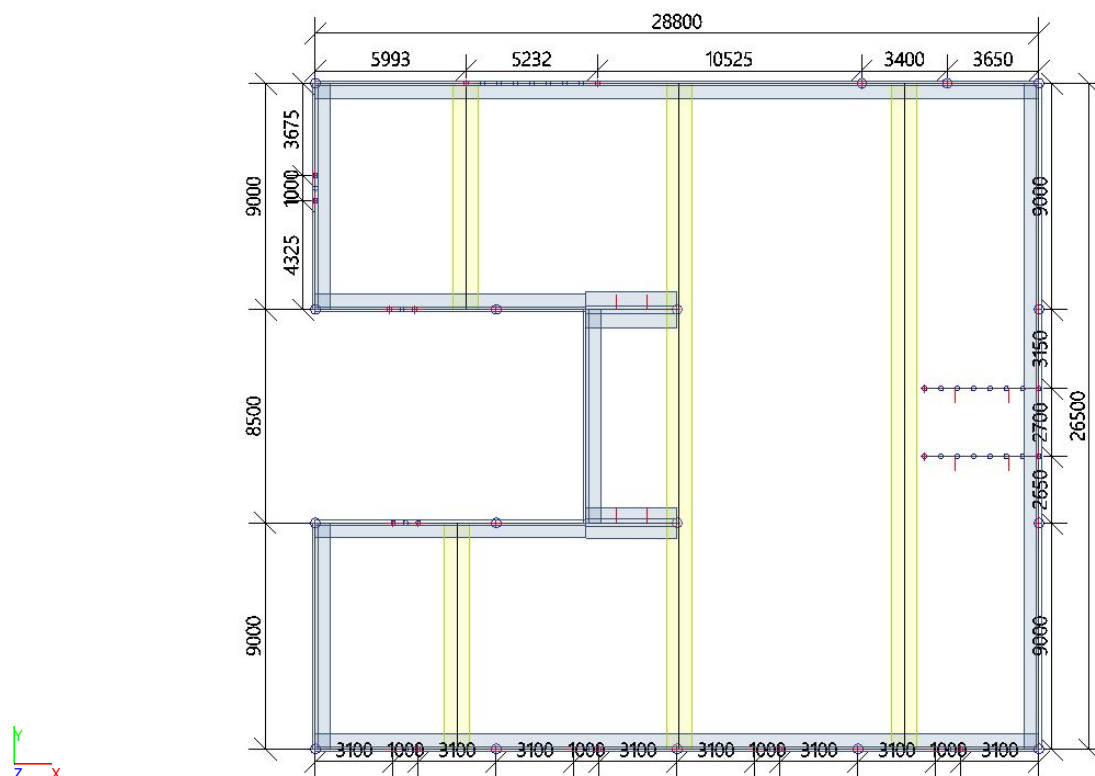
V Bystrovaněch dne 23.3.2023

Ing. Radek Janka
IČ 699 95 591 / ČKAIT 120 13 35
Budovcova 3, 779 00 Bystrovany
+420 721 048 805
radek.janka@probeton.cz
<http://www.probeton.cz>

Příloha 1: Posouzení desky stropu nad 1.NP, SCIA Engineer, celkem 7 stran A4

PŘÍLOHA 1

1. Výpočtový model



2. Zatížení

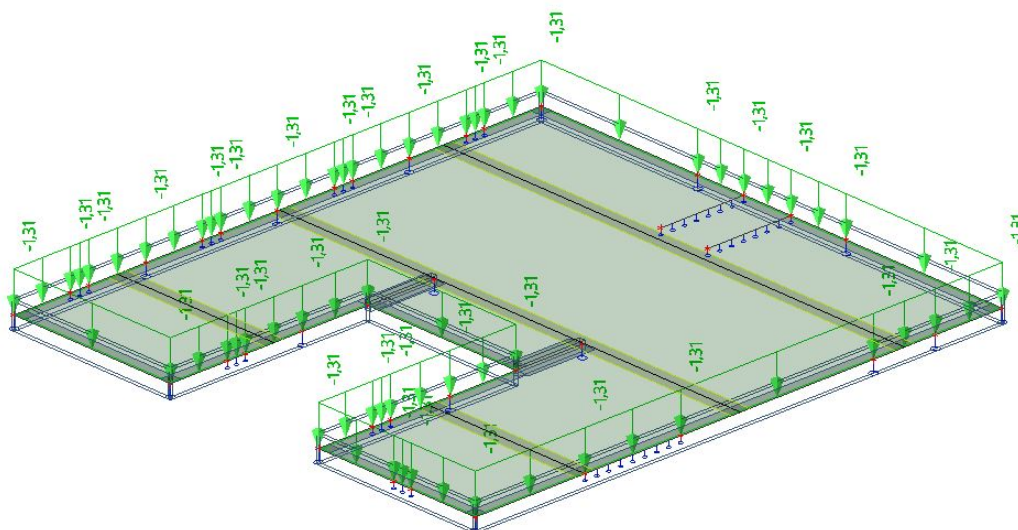
2.1. Zatěžovací stavy

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení	Směr	Působení	Řídící zat. stav
	Spec	Typ zatížení				
ZS1	Vlastní tíha	Stálé	SZ1	-Z		
		Vlastní tíha				
ZS2	střešní plášť	Stálé	SZ1			
		Standard				
ZS3	FVE	Stálé	SZ1			
		Standard				
ZS4	užitné	Proměnné	SZ2		Krátkodobé	Žádný
	Standard	Statické				

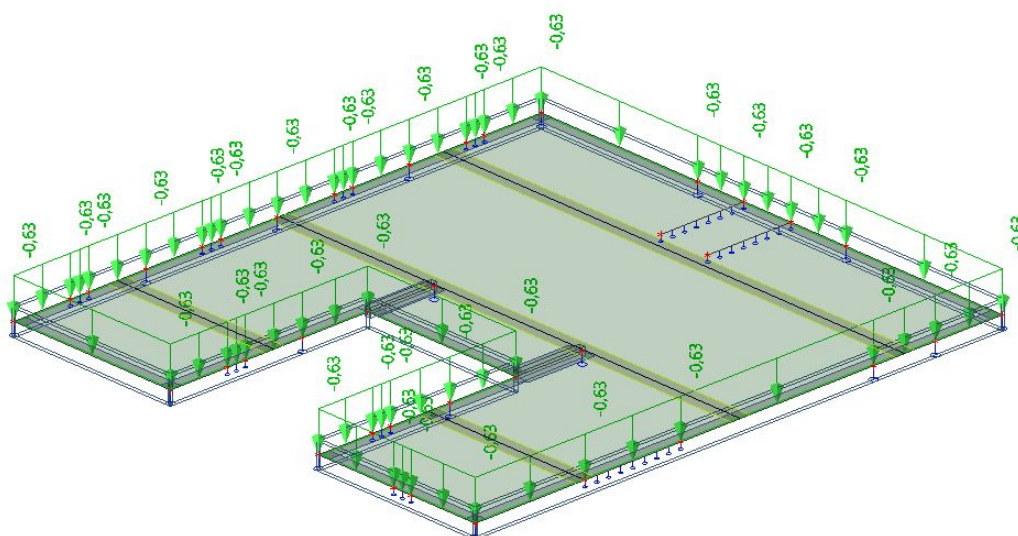
2.2. Skupiny zatížení

Jméno	Zatížení	Vztah	Typ
SZ1	Stálé		
SZ2	Proměnné	Standard	Kat H : střechy

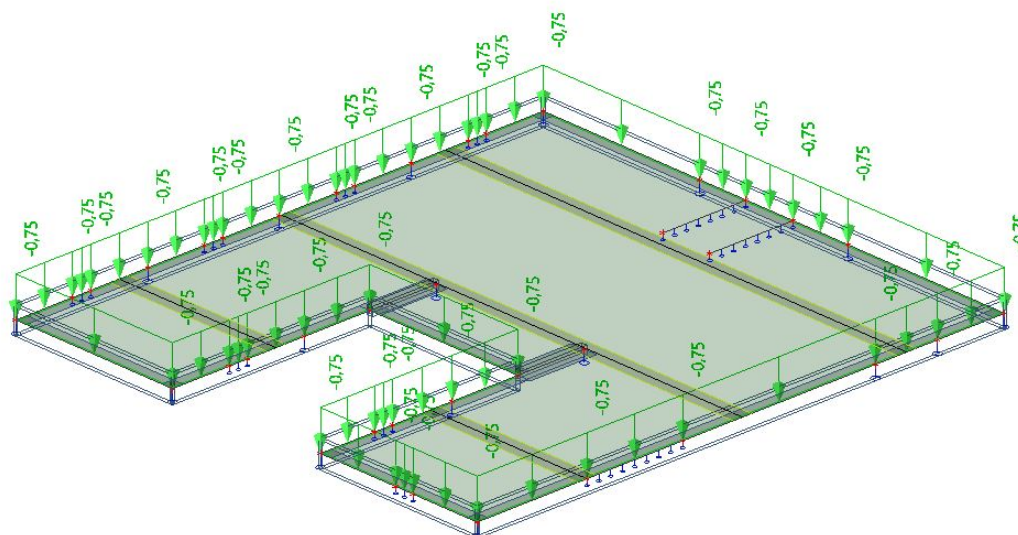
2.3. ZS2 / střešní plášť, podhledy



2.4. ZS3 / FVE



2.5. ZS4 / užité, sníh



3. Vnitřní síly

3.1. 1D vnitřní síly; M_y Hodnoty: M_y

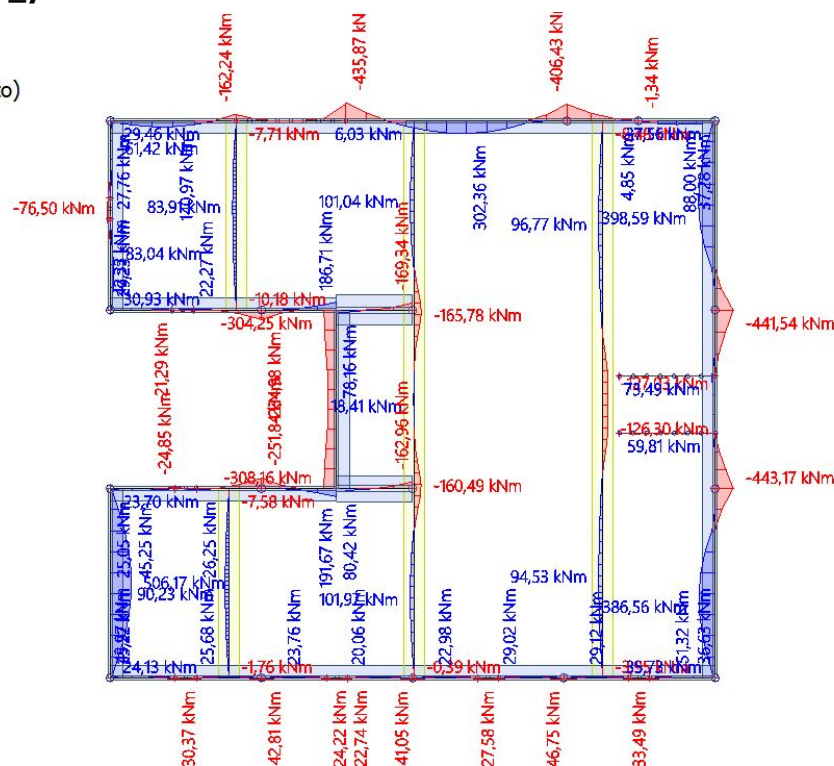
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)

Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Lokální

Výběr: Vše



Projekt FVE Tišnov

3.2. 2D vnitřní síly; m_x

Hodnoty: m_x

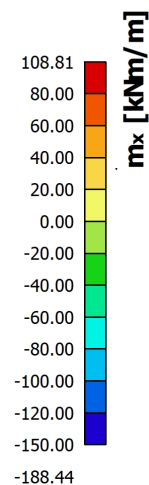
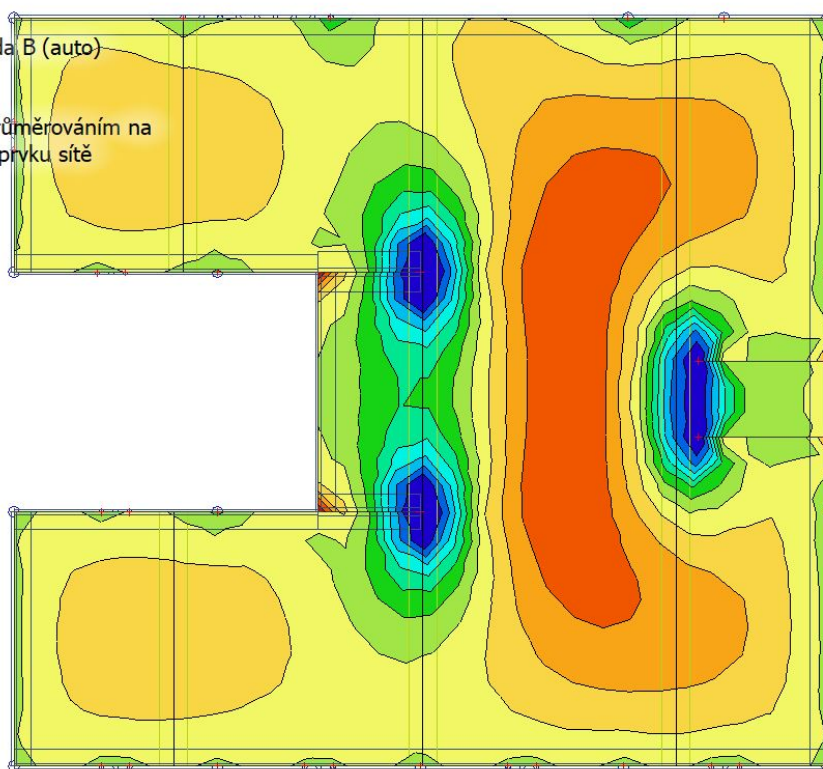
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)

Extrém: Globální

Výběr: Vše

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



3.3. 2D vnitřní síly; m_y

Hodnoty: m_y

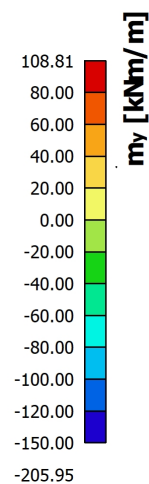
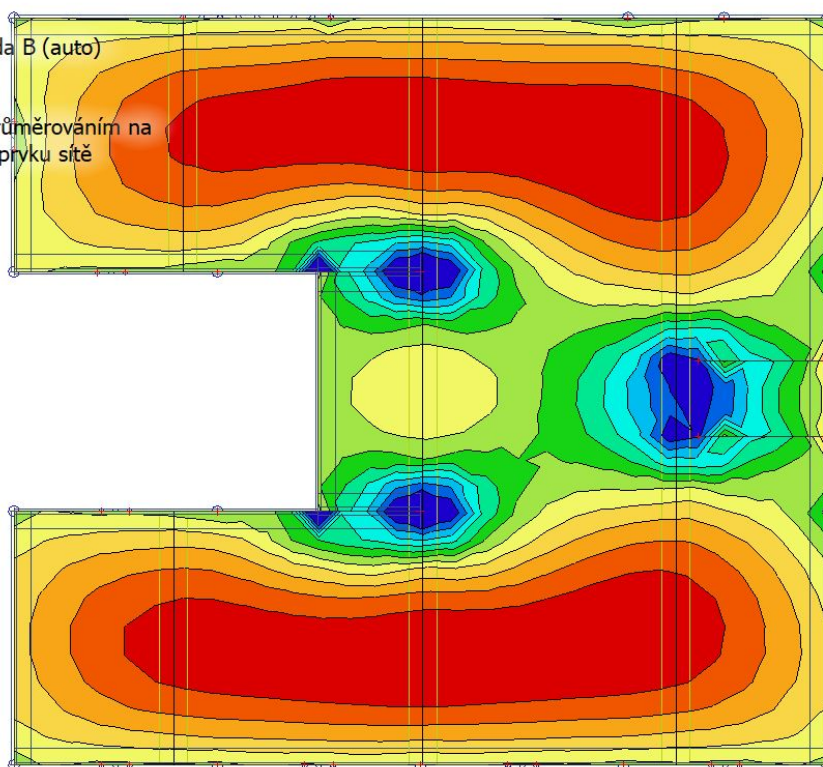
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)

Extrém: Globální

Výběr: Vše

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



Projekt FVE Tišnov

3.4. 2D vnitřní síly; m_{xy}

Hodnoty: m_{xy}

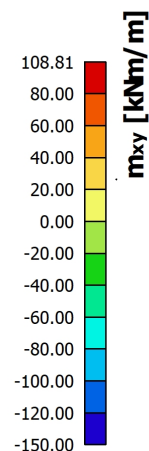
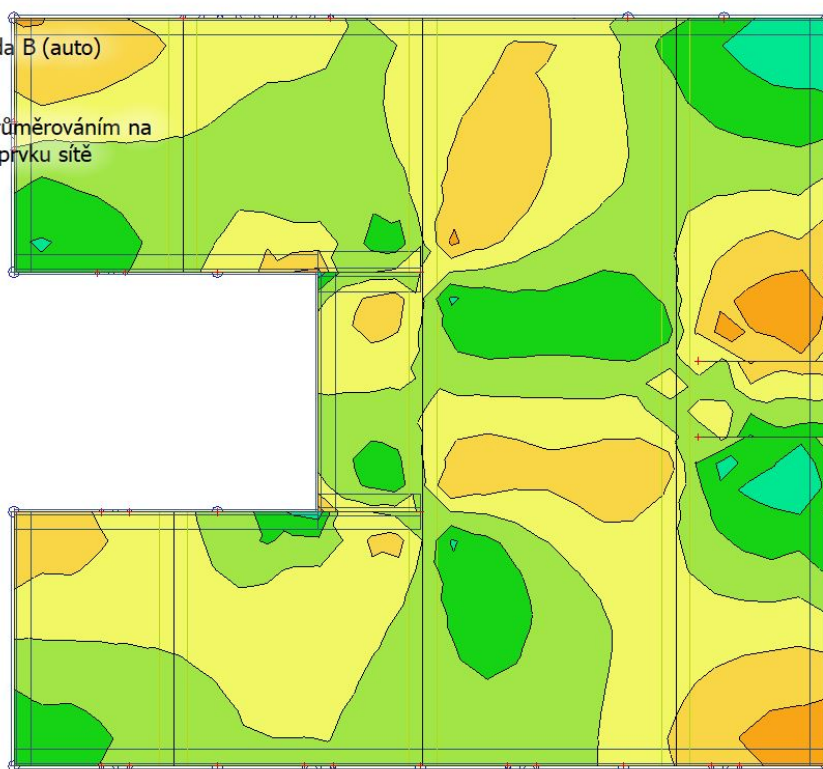
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)

Extrém: Globální

Výběr: Vše

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



4. Návrh výztuže

4.1. Návrh výztuže (MSÚ+MSP); $A_{s,req,1}$

Hodnoty: $A_{s,req,1}$

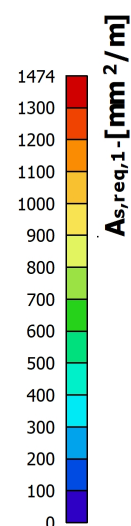
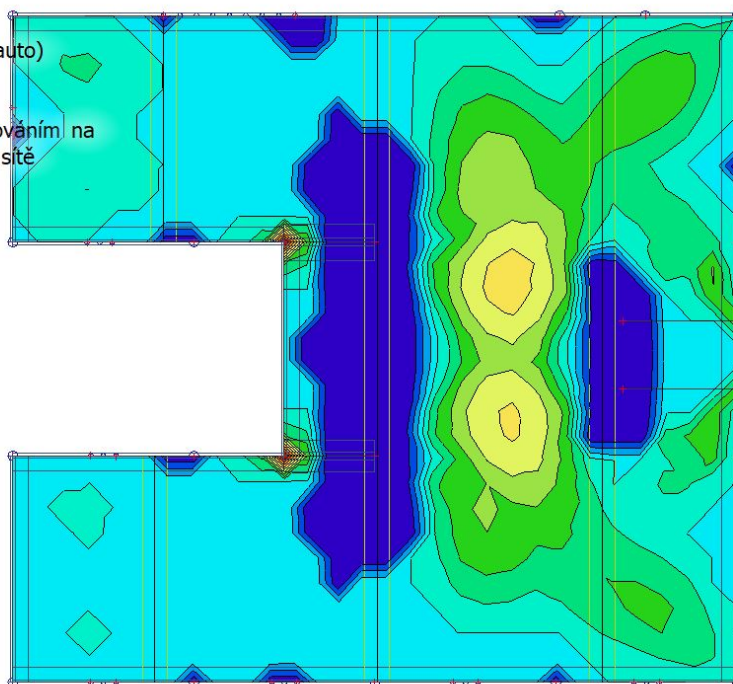
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)

Extrém: Globální

Výběr: Vše

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



4.2. Návrh výztuže (MSÚ+MSP); $A_{s,req,2-}$

Hodnoty: $A_{s,req,2-}$

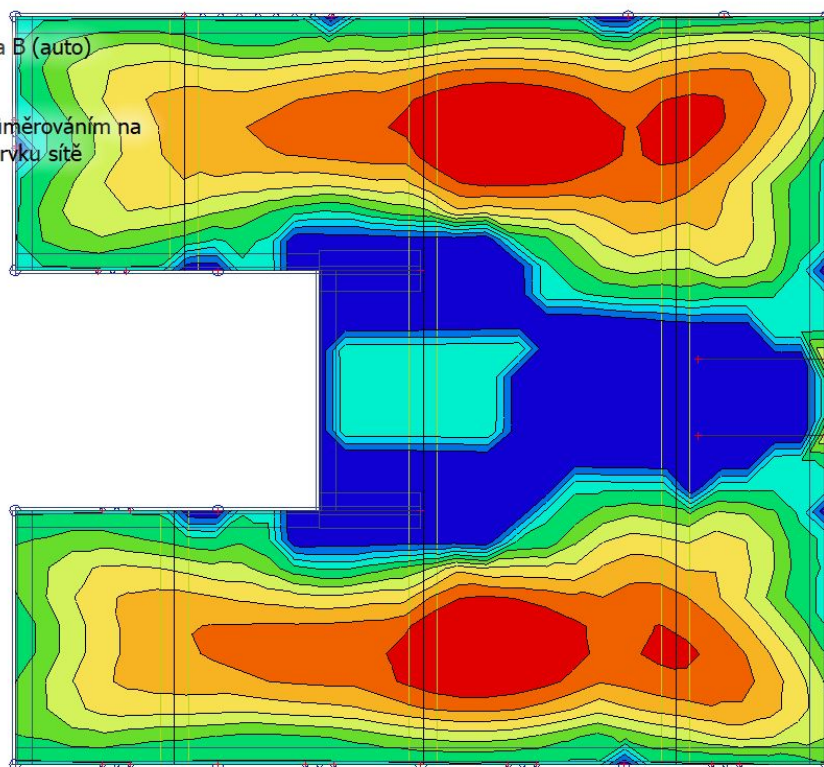
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)

Extrém: Globální

Výběr: Vše

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



4.3. Návrh výztuže (MSÚ+MSP); $A_{s,req,1+}$

Hodnoty: $A_{s,req,1+}$

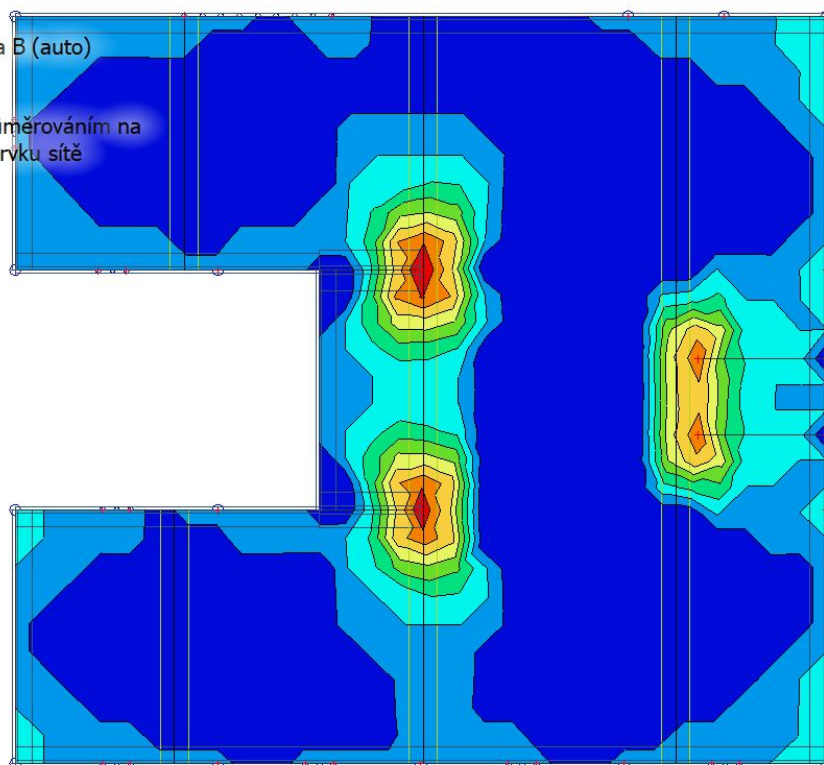
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)

Extrém: Globální

Výběr: Vše

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



4.4. Návrh výztuže (MSÚ+MSP); $A_{s,req,2+}$

Hodnoty: $A_{s,req,2+}$

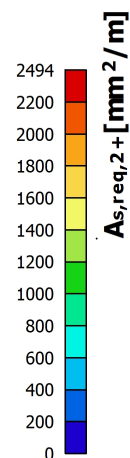
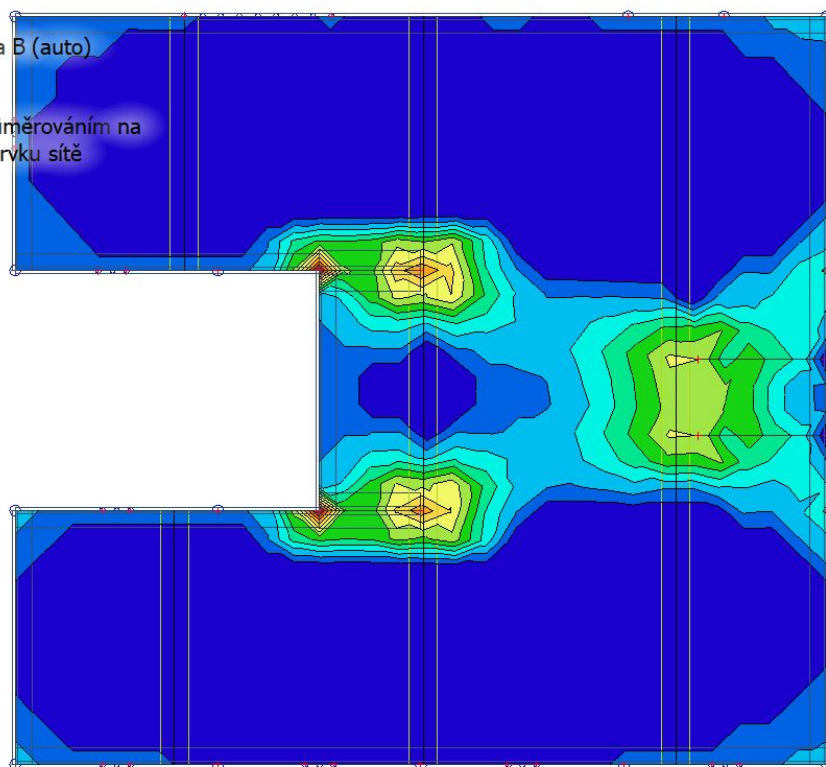
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)

Extrém: Globální

Výběr: Vše

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



5. Závěr

Tento výpočet vnitřních sil a návrh výztuže jsou nedílnou součástí posudku střechy pro možnou instalaci FVE. Nelze jej použít samostatně a k jinému než uvedenému účelu. Rozbor zatížení, výchozí předpoklady a interpretace výsledků jsou uvedeny v hlavní části dokumentu.

V Bystrovaněch, 23.3.2023

vypracoval: Ing. Radek Janka