

O.K. Projekt s.r.o., Cihlářská 4132, 430 03 Chomutov,
tel.: 474 624 511, e-mail: okprojekt@tiscali.cz

Stavebník:

TSmCH p.o.
Nám.. 1. máje 89/21
430 01 Chomutov

Střešní konstrukce při zatížení FV-panely U Větrného Mlýna 4605, Chomutov

D.2. Stavebně konstrukční řešení

Statické posouzení

D.2.01

Číslo akce: 3310
Vypracoval: Ing. Beníček
Odp. projektant: Ing. Beníček

Obec: Chomutov
Stupeň: DSP
Datum: 7/2025

Poznámka:

1. Úvod

Na základě obj. č. 701250236 objednatele (*Technické služby města Chomutova, p.o.*) bylo zpracováno statické posouzení střešní konstrukce objektu *U Větrného mlýna 4605, Chomutov (budova E)* v areálu *TSmCH*. Důvodem pro zpracování posudku je přetížení žb. střechy vyplývající z plánovaného osazení fotovoltaických panelů. Uložení a stabilitní zajištění FV-panelů není předmětem posouzení, bude provedeno podle montážních pokynů dodavatele, a to zátěžovými bloky.

2. Identifikační údaje stavby a stavebníka

Název stavby

Střešní konstrukce při zatížení FV-panely
U Větrného mlýna 4605, Chomutov

Místo stavby

U Větrného mlýna 4605, Chomutov
p.č. 4165/8, k.ú. Chomutov I
stavební objekt č.p. 4605

Kraj

Ústecký

Charakter stavby

Instalace FV-elektrárny

Stavebník

Technické služby města Chomutova, p.o.
nám. 1. máje 89/21
430 01 Chomutov

Vlastník objektu

Statutární město Chomutov

3. Přehled výchozích podkladů

- [1] Projektová dokumentace FVE 49,02 kWp s akumulací 52,2 kWh (Pavel Plíšek, projektant elektro, 4/2024)
- [2] Projekt Oprava provozní budovy v areálu TSmCH U Větrného mlýna 4605 v Chomutově (Božena Petrová, projekční činnost, 6/97)
- [3] FV systém Solax s panely canadian-solar-cs-6w-570T

4. Metodika výpočtu

Spolehlivost konstrukce je ověřena statickým výpočtem na základě metody dílčích součinitelů podle Eurokódů. Jsou zvoleny návrhové situace pro ověření mezních stavů únosnosti a použitelnosti. Návrhové hodnoty základních veličin jsou stanoveny na základě charakteristických nebo dalších reprezentativních hodnot a dílčích součinitelů γ a součinitelů ψ podle ČSN EN 1990 a podle norem pro zatížení ČSN EN 1991-1 až 1991-7.

4.1. Mezní stav únosnosti

Mezní stavy definované v ČSN EN 1990 jsou následující:

- ztráta statické rovnováhy (EQU)
- vnitřní porušení nebo nadměrné přetvoření (STR)
- porušení nebo přetvoření základové půdy (GEO)
- únavové porušení (FAT)

V tomto případě bylo provedeno posouzení:

STR – vnitřní porušení nebo nadměrné přetvoření

Charakteristické kombinace jsou uvažovány následovně:

bud'

$$\Sigma \gamma_{G,j} * G_{k,j} + \gamma_P * P + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1} + \Sigma \gamma_{Q,i} * \psi_{0,i} * Q_{k,i} \quad [6.10, \text{ČSN EN 1990}]$$

nebo

$$\Sigma \gamma_{G,j} * G_{k,j} + \gamma_P * P + \gamma_{Q,1} * \psi_{0,1} * Q_{k,1} + \Sigma \gamma_{Q,i} * \psi_{0,i} * Q_{k,i} \quad [6.10a, \text{ČSN EN 1990}]$$

$$\Sigma \zeta_s * \gamma_{G,j} * G_{k,j} + \gamma_P * P + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1} + \Sigma \gamma_{Q,i} * \psi_{0,i} * Q_{k,i} \quad [6.10b, \text{ČSN EN 1990}]$$

4.2. Mezní stav použitelnosti

Kombinace jsou uvažovány následovně:

Charakteristická kombinace $\Sigma G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \Sigma \psi_{0,i} * Q_{k,i}$ [6.14b, ČSN EN 1990]

Častá kombinace $\Sigma G_{k,j} + P + \psi_{1,1} * Q_{k,1} + \Sigma \psi_{2,i} * Q_{k,i}$ [6.15b, ČSN EN 1990]

Kvazistálá kombinace $\Sigma G_{k,j} + P + \Sigma \psi_{2,i} * Q_{k,i}$ [6.16b, ČSN EN 1990]

4.3. Součinitele spolehlivosti

Parciální součinitele spolehlivosti jsou stanoveny ČSN EN 1990 - *informativní příloha C* následovně:

Součinitele zatížení a kombinace

	$\gamma_F(\text{únosnost})$	$\gamma_F(\text{použit.})$	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Stálé zatížení	1,35	1,0			
Sníh	1,50	1,0	0,5	0,2	0
Vítr	1,50	1,0	0,6	0,2	0

Konstrukce je posouzena podle ČSN EN 1993-1 Eurokód 2 Navrhování betonových konstrukcí.

Parciální součinitele materiálu: Betonové konstrukce $\gamma_M = 1,5$,

5. Zatížení

Zatěžovací stavy a umístění zatížení bylo stanoveno podle ČSN EN 1991-1 - *Zatížení konstrukcí* a údajů od dodavatelů použitých materiálů.

5.1. Klimatické zatížení

Konstrukce se nachází v:

- II. sněhové oblasti se základní tíhou sněhu $s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$ dle ČSN EN 1991-1-3, vzhledem k poloze a naklonění FV-panelů je uvažováno se sněhovou návějí v úžlabí.

$$\mu_1 = 0,8$$

$$\mu_2 = 1,6 \text{ (návěj v úžlabí)}$$

$$\mu_0 = 1,3 \text{ (průměr s s ohledem na geometrii uložení FV-panelů)}$$

- II. větrové oblasti dle ČSN EN 1991-1-4 se základní rychlostí větru $v_{b,0} = 25,0 \text{ m/s}$
Umístěním FV-panelů lze uvažovat střechu jako vícelodní a tomu odpovídající součinitele c_{pe} . Při sklonu FV panelů $\alpha \leq 15^\circ$ vznikají pouze vztahové síly, nikoli tlak na střechu. Zatížení větrem lze proto z nepříznivých kombinací vyloučit (podrobněji viz rozbor zatížení dále).

5.2. Další zatížení

Vlastní tíha posuzovaných konstrukcí je generována automaticky. Další zatížení je fotovoltaický systém včetně zatěžovacích bloků, je uvažován hodnotou $g_k = 0,18 \text{ kN/m}^2$ (viz rozbor zatížení).

6. Popis střešní konstrukce

Objekt č.p. 4605 (budova E) má půdorysné rozměry 30,0 x 16,0 m a výšku 8,0 m. Jedná se o dvoupodlažní objekt s plochou střechou. Nosné příčné stěny jsou po 6,0 m. Na nich jsou uloženy předpjaté kazetové panely. Ty jsou rozhodujícím prvkem pro únosnost střechy a jsou proto předmětem posouzení. Jedná se o předpjaté panely ozn. SZD 37-120/600).

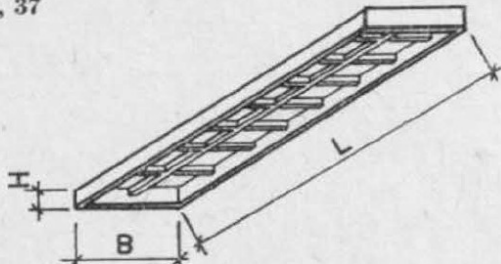
Technické údaje včetně jejich únosnosti byly dohledány ve tabulkách (Stavební tabulky – Milan Rochla, 1969). Zde je uvedeno přípustné návrhové zatížení od krytiny, tepelné izolace a sněhu, bez vlastní hmotnosti:

$$q_{dov, 1bm} = 242 \text{ kp/m} = 2,42 \text{ kN/m}$$

$$q_{dov} = q_{dov, 1bm} / B = 2,42 / 1,2 = 2,01 \text{ kN/m}^2$$

Přepočet na přípustné charakteristické zatížení podle současně platné ČSN EN 1993-1 Eurokód 1 z výpočtového dle dříve platných norem (součinitel „s“ zahrnuje součinitel zatížení $\gamma_F = 1,3$ a součinitel materiálu $\gamma_M = 1,5$)

$$q_{k, příp.} = q_{dov} \cdot s = 2,01 \cdot 1,9 = 3,80 \text{ kN/m}^2$$

ŽELEZOBETONOVÉ STŘEŠNÍ PANELY — předpjaté							
Použití: pro vytvoření střešního pláště nosné konstrukce jedno- podlažních hal s modulovou skladbou vazníků $n \times 6$ m.							
Označení	Výrobní rozměry [cm]			Ob- jem [m ³]	Hmot- nost [kg]	$q_{dov}^1)$ [kp/m]	Teor. roz- pon [cm]
	L	H	B				
ŽELEZOBETONOVÉ STŘEŠNÍ PANELY KAZETOVÉ SZD 35, 37							
							
SZD 35-150/600	596	24,7	149	0,450	1 125	240	585
SZD 37-120/600	596	24	119	0,388	970	242	585

Obr. Stavební tabulky Rochla, 1969

Skladba střešní konstrukce:

- Hydroizolační systém Carbofol
- Cementový potěr 20 mm
- Perlitbeton ve spádu 25-400 mm
- Lepenka A400H
- Tepelně izolační vrstva PS 100 mm
- Parotěsná zábrana folie PVC
- Cementový potěr 20 mm
- Střešní panel SZD 37-120/600

7. Zhodnocení stavebně technického stavu střešní konstrukce

Na základě vizuální prohlídky objektu, provedené dne 8. 8. 2025 a předložené dokumentace, je možné konstatovat následující:

7.1. Střešní plášť

- Střecha je provedena jako **plochá střecha** s hydroizolační vrstvou z **živičné krytiny** (modifikované asfaltové pásy). Dle prohlídky je střešní krytina ve **velmi dobrém stavu**, bez zjevných známek poškození, prasklin nebo puchýřů.
- Zástřiky a detaily u prostupů (např. ventilační šachty) jsou provedeny **kvalitně a utěsněny**.
- Hydroizolační vrstva plní svou funkci spolehlivě, což je potvrzeno absencí zatékání do vnitřních prostor objektu.
- Celková rekonstrukce střechy, která proběhla před cca 3 lety, se jeví jako provedená v souladu se standardními postupy, což přispívá k jejímu dobrému technickému stavu.

7.2. Nosná konstrukce

- Nosnou konstrukci tvoří předpjaté betonové střešní panely typu **SZD 37-120/600**.
- Tyto panely jsou viditelné z interiéru objektu, kde tvoří podhled. Při vizuální kontrole nebyly zjištěny **žádné trhliny, průhyby ani jiné deformace** panelů, které by signalizovaly poruchu nosné konstrukce.
- Panely vykazují typické dilatační spáry, které jsou v pořádku.
- Celkový stav nosné konstrukce je **dobrý** a odpovídá standardnímu stavu tohoto typu konstrukce.

7.3. Závěr

Stavebně-technický stav střešního pláště i nosné konstrukce je **dobrý**. Na základě vizuální prohlídky a předložených informací není nutné provádět žádné stavební úpravy, které by souvisely se statikou nebo technickým stavem střechy před instalací fotovoltaických panelů.

8. Popis konstrukce FVE

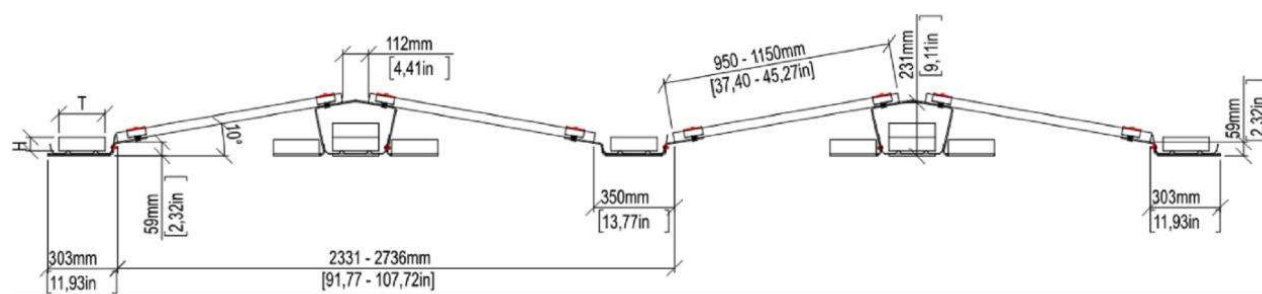
8.1. Popis FV-systému

V projektu podle [2] je navržen fotovoltaický systém. Celkový výkon FVE činí 49,02 kWp s akumulací 52,2 kWh. Rozměr jednoho panelu je 2278x1134x30 mm, hmotnost je 27,6 kg (tj. 10,5 kg/m²) a má instalovaný výkon 570 Wp. Panelů bude na střeše celkem 86 ks a budou uspořádány v řadách sedlově se

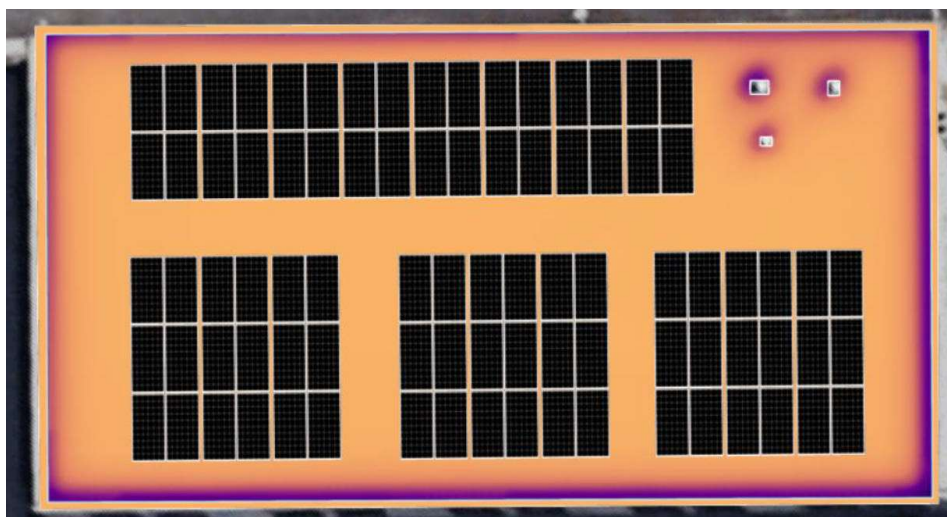
západní a východní orientací podle schématu. Jsou umístěny na hliníkové nosné konstrukci umístěné na lyžinách, kde jsou i zatěžovací bloky. Uvažovaný systém má sklon panelů 10° - 15° . FV-panely jsou zatíženy betonovými bloky $400 \times 400 \times 50$ mm, bloky o hmotnosti 20 kg jsou umístěny 2 ks u krajních sloupků a 1 ks u vnitřních sloupků konstrukce. Průměrné plošné zatížení tak činí $g_{k,b} = 0,2 / (2,278 \times 1,134) = 0,08 \text{ kN/m}^2$ (8 kg/m^2).

Údaje o u rozmístění na střeše a technických parametrech byly převzaty z technických listů a elektrotechnického řešení [2]. Panely budou instalovány podle montážních pokynů dodavatele.

8.2. Schéma konstrukce pro FV-panely, viz [2]:



8.3. Rozmístění FV-panelů, viz [2]:



9. Statický výpočet a výsledky

Podrobný statický výpočet je uveden dále. Při výpočtu byl použit program EXCEL.

Výsledky

Porovnání skutečného a přípustného zatížení:

$$f_k = 3,21 \text{ kN/m}^2 < f_{k,přip.} = 3,80 \text{ kN/m}^2$$

Vyhovuje.

10. Závěr

Spolehlivost konstrukce byla ověřena statickým výpočtem v následující části, konstrukce střechy s instalovanými FV-panely nadále vyhovuje ve všech návrhových situacích mezním stavům únosnosti a mezním stavům použitelnosti.

Stavebně-technický stav střešního pláště i nosné konstrukce je dobrý. Není nutné provádět žádné stavební úpravy.

Použití navrhovaného fotovoltaického systému na posuzované střeše je možné při splnění montážních podmínek výrobce. Při montáži není možné skladování více FV panelů na jednom místě střechy.

11. Použité normy a literatura

- ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní váha a užitná zatížení pozemních staveb
- ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Zatížení sněhem
- ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Zatížení větrem
- ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla - Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- ČSN 73 0038 – Navrhování a posuzování stavebních konstrukcí při přestavbách
- Stavební tabulky – Milan Rochla, 1969

U předpisů a norem platí poslední znění včetně novelizací a změn vydaných k datu návrhu.

Charakteristické zatížení

(podle ČSN EN 1991-1-1, ČSN EN 1991-1-3, ČSN EN 1991-1-4)

1. Vlastní tíha

- generuje se automaticky

2. Střešní skladba

			ZŠ [m]	ZŠ [m]	ZŠ [m]	ZŠ [m]
			1,00	0,00	0,00	0,00
	Tl. [mm]	Obj. hm. [kN/m ³]	Charakt. [kN/m ²]	Charakt. [kN/m]	Charakt. [kN/m]	Charakt. [kN/m]
- hydroizolační systém Carbofol	3	12,0	0,04	0,04	0,00	0,00
- cementový potěr	20	23,0	0,46	0,46	0,00	0,00
- perlitbeton	220	3,0	0,66	0,66	0,00	0,00
- lepenka A400H	3	12,0	0,04	0,04	0,00	0,00
- tepeněizolační vrstva PS	100	0,3	0,03	0,03	0,00	0,00
- parotěsná zábrana folie PVC	3	12,0	0,04	0,04	0,00	0,00
- cementový potěr	20	23,0	0,46	0,46	0,00	0,00
			1,72	1,72	0,00	0,00

3. Fotovoltaika

			Charakt. [kN/m]	Charakt. [kN/m]	Charakt. [kN/m]
			ZŠ [m]	ZŠ [m]	ZŠ [m]
			1,00	1,00	1,00
			Charakt. [kN/m ²]	Charakt. [kN/m ²]	Charakt. [kN/m]
- FV panely		0,11	0,11	0,00	0,00
- zatěžovací bloky		0,08	0,08	0,00	0,00
		0,19	0,19	0,00	0,00

4. Sníh

			ZŠ [m]	ZŠ [m]	ZŠ [m]	ZŠ [m]
			1,00	1,00	1,00	1,00
Sněhová oblast		II.				
Zatížení sněhem na zemi	$s_k =$	1,00				
Součinitel expozice	$c_e =$	1,0				
Tepelný součinitel	$c_t =$	1,0				
Úhel sklonu		10,0				
Zatížení sněhem $s = \mu \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k$	pro $\mu =$	0,8	$s =$	0,80	0,80	0,00
Zatížení sněhem $s_0 = \mu_0 \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k$	pro $\mu_0 =$	1,3	$s =$	1,30	1,30	0,00

5. Vítr

Větrová oblast		II.
Výchozí základní rychlost větru	$v_{b,0}$ [m/s] =	25,0
Základní tlak větru	q_b [N/m ²] =	391
Kategorie terénu		3
Parametr drsnosti	z_0 [m] =	0,3
Minimální výška	z_{min} [m] =	5,0
Součinitel terénu	k_r =	0,215
Výška nad zemí	z [m] =	7,5
Součinitel drsnosti	$c_r(z)$ =	0,693
Součinitel orografie	$c_0(z)$ =	1
Střední rychlost větru	$v_m(z)$ [m/s] =	17,3
Součinitel expozice	$c_e(z)$ =	1,53
Maximální dynamický tlak	$q_p(z)$ [N/m ²] =	596

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2$$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{pro } z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

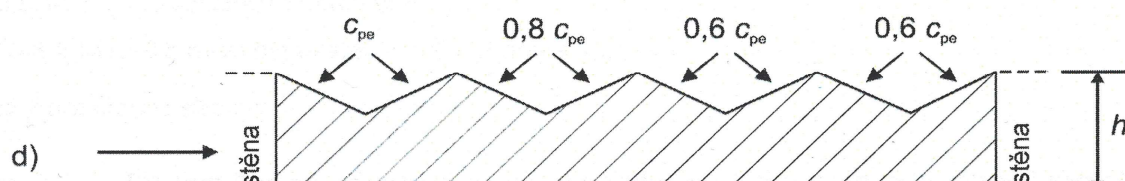
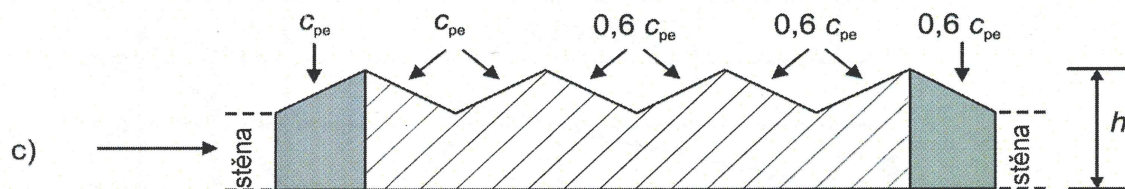
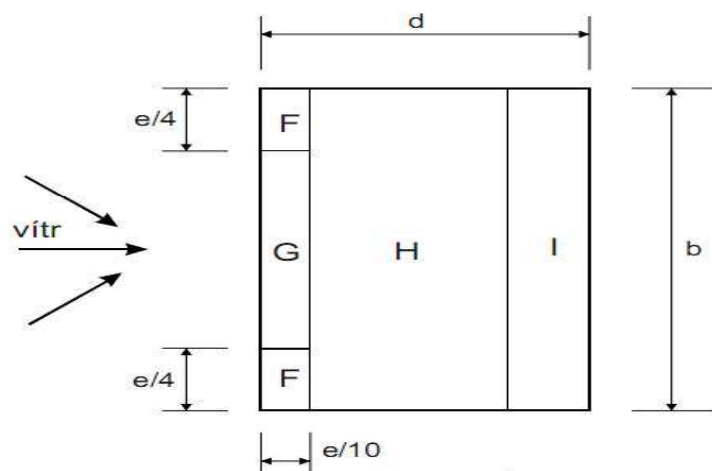
$$l_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)}$$

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot l_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) =$$

$$= [1 + 7 \cdot l_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_r^2(z) \cdot v_b^2 = c_e(z) \cdot q_b$$

$$c_e(z) = [1 + 7 \cdot l_v(z)] \cdot c_r^2(z)$$

Tlak na vícelodní střeše



		ZŠ [m]	ZŠ [m]	ZŠ [m]	ZŠ [m]		
		1,00	0,00	0,00	0,00		
		Charakt. [kN/m ²]	Charakt. [kN/m]	Charakt. [kN/m]	Charakt. [kN]	Charakt. [kN/m]	
<u>Vítr příčný</u>							
<u>střecha</u>							
Tlak větru $w(z) = q_p \cdot c_{pe}$, oblast F	pro $c_{pe} =$	-1,30	$w(z) =$	-0,77	-0,77	0,00	0,00
	pro $0,8 \cdot c_{pe} =$	-1,04	$w(z) =$	-0,62	-0,62	0,00	0,00
	pro $0,6 \cdot c_{pe} =$	-0,78	$w(z) =$	-0,46	-0,46	0,00	0,00
Tlak větru $w(z) = q_p \cdot c_{pe}$, oblast G	pro $c_{pe} =$	-1,00	$w(z) =$	-0,60	-0,60	0,00	0,00
	pro $0,8 \cdot c_{pe} =$	-0,80	$w(z) =$	-0,48	-0,48	0,00	0,00
	pro $0,6 \cdot c_{pe} =$	-0,60	$w(z) =$	-0,36	-0,36	0,00	0,00
Tlak větru $w(z) = q_p \cdot c_{pe}$, oblast H	pro $c_{pe} =$	-0,45	$w(z) =$	-0,27	-0,27	0,00	0,00
	pro $0,8 \cdot c_{pe} =$	-0,36	$w(z) =$	-0,21	-0,21	0,00	0,00
	pro $0,6 \cdot c_{pe} =$	-0,27	$w(z) =$	-0,16	-0,16	0,00	0,00
Tlak větru $w(z) = q_p \cdot c_{pe}$, oblast I	pro $c_{pe} =$	-0,45	$w(z) =$	-0,27	-0,27	0,00	0,00
	pro $0,8 \cdot c_{pe} =$	-0,36	$w(z) =$	-0,21	-0,21	0,00	0,00
	pro $0,6 \cdot c_{pe} =$	-0,27	$w(z) =$	-0,16	-0,16	0,00	0,00

**Závěr: Vítr působí na FV panely pouze vztlakovou silou,
do kombinace tlakového působení na střeche nebude proto započítán.**

Rekapitulace zatížení

(podle ČSN EN 1991-1-1, ČSN EN 1991-1-3, ČSN EN 1991-1-4)

2. Stropní skladba

ZŠ [m]		γ_F	Návrh. [kN/m]
Charakt. [kN/m ²]	Charakt. [kN/m]		
1,72	1,72	1,35	2,32

3. FV-systém

ZŠ [m]		γ_F	Návrh. [kN/m]
Charakt. [kN/m ²]	Charakt. [kN/m]		
0,19	0,19	1,50	0,29

4. Sníh

ZŠ [m]		γ_F	Návrh. [kN/m]
Charakt. [kN/m ²]	Charakt. [kN/m]		
1,30	1,30	1,50	1,95

Celkem		3,21	4,55
---------------	--	-------------	-------------

Charakteristické zatížení přípustné	$f_{k,příp.} =$	3,80 kN/m²
--	-----------------	------------------------------

Statické posouzení

Porovnání zatížení	$f_k =$	3,21 kN/m²	$<$	$f_{k,příp.} =$	3,80 kN/m²
---------------------------	---------	------------------------------	-----	-----------------	------------------------------

Vyhovuje

Fotodokumentace



Celkový pohled na objekt



Pohled na povrch střechy



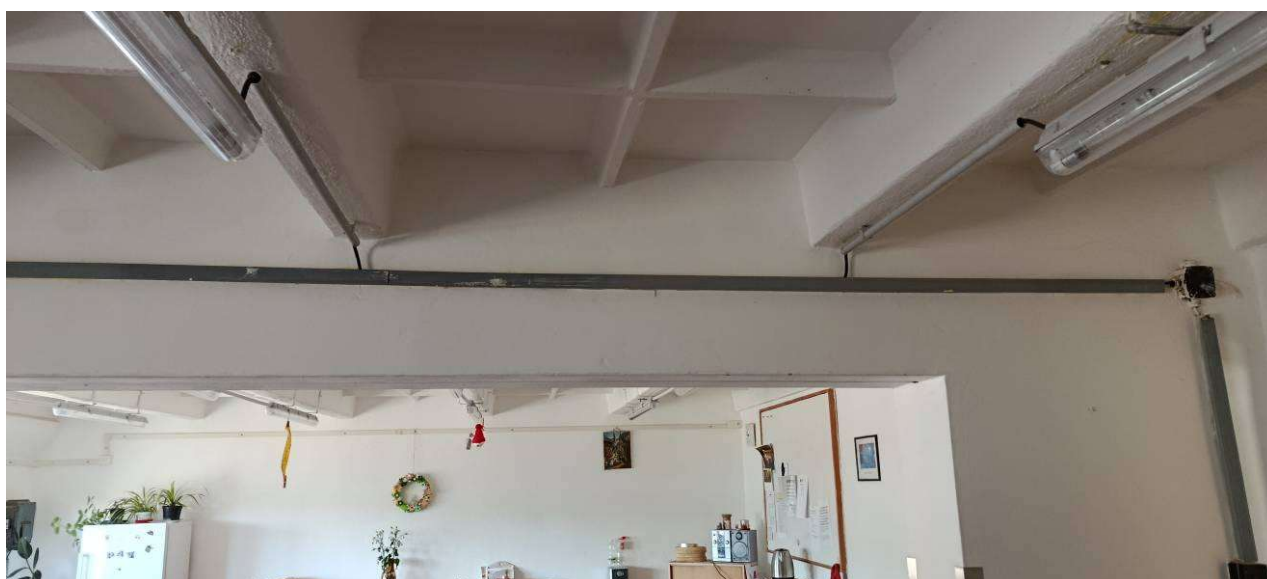
Detail odvětrání



Stropní konstrukce 2. NP



Stropní panel SZD 37-120/600



Uložení stropního panelu na průvlaku