

zhotovitel:

Kubalík - statika s.r.o.

tel.: 777 891 331

e-mail: michal@kubalik-statika.cz

web: www.kubalik-statika.cz

název posudku:

**OSAZENÍ FOTOVOLTAIKY NA STŘECHU OBJEKTU
ZŠ Kadaňská, Chomutov, objekt tělocvičny**

objednatel:

Ventia CZ s.r.o.
Na Pankráci 1618/30, 140 00 Praha 4 – Nusle

č.paré:

zodp. projektant:

Ing. Michal Kubalík

vypracoval: Ing. Michal Kubalík

stup. dokumentace:

PŘEDBĚŽNÝ STATICKÝ POSUDEK

datum: 3/2025

1. Identifikační údaje

<i>Název posudku:</i>	Osazení fotovoltaiky na střeche objektu ZŠ Kadaňská, Chomutov, objekt tělocvičny
<i>Objednatel:</i>	Ventia CZ s.r.o. Na Pankráci 1618/30, 140 00 Praha 4 – Nusle
<i>Stupeň dokumentace:</i>	Předběžný statický posudek
<i>Projektant:</i>	Kubalík – statika s.r.o., Ing. Michal Kubalík Jarníkova 1872/20, 148 00 Praha 4 – Chodov tel.: 777 891 331, e-mail: michal@kubalik-statika.cz www.kubalik-statika.cz
<i>Datum zpracování:</i>	březen 2025

2. Předmět posudku

Předmětem tohoto posudku je předběžné zhodnocení možnosti osazení fotovoltaických panelů na střeche objektu tělocvičny základní školy z hlediska mechanické odolnosti a stability.

3. Podklady

3.1. Projektové podklady

- Schéma umístění fotovoltaiky, Ventia CZ s.r.o., Na Pankráci 1618/30, 140 00 Praha 4, březen 2025
- Pro zpracování tohoto posudku **nebyla** poskytnuta žádná archivní projektová dokumentace.

3.2. Průzkumy

- Osobní prohlídka na místě, březen 2025

3.3. Normy navrhování

ČSN EN 1990	Zásady navrhování konstrukcí
ČSN EN 1991-1-1	Zatížení konstrukcí, Část 1-1: Obecná zatížení – objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
ČSN EN 1991-1-3	Zatížení konstrukcí, Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem
ČSN EN 1991-1-4	Zatížení konstrukcí, Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
ČSN EN 1993-1-1	Navrhování ocelových konstrukcí, Část 1-1: Obecná pravidla pro pozemní stavby
ČSN ISO 13822	Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí
ČSN ISO 2394	Obecné zásady spolehlivosti konstrukcí

3.4. Další použité pomůcky

- TP 51 J. Hořejší, J. Šafka: Statické tabulky, SNTL, Praha 1987
- <https://www.clima-maps.info/snehovamapa/>, Digitální mapa zatížení sněhem na zemi, Český hydrometeorologický ústav
- Studnička, Wald: Ocelové konstrukce - Ocelářské tabulky, Vydavatelství ČVUT, Praha, 1996

3.5. Výpočetní technika a programy

- Vlastní tabulky pro dimenzování konstrukcí podle výše uvedených norem v programu Microsoft Excel

4. Zatížení

Užitné zatížení:

- nepřístupné střechy 0,75 kN/m²

Klimatické zatížení:

- charakteristická hodnota pro sníh na zemi dle digitální sněhové mapy 0,90 kN/m²
- větrná oblast II (základní rychlost)..... 25,0m/s

Přetížení fotovoltaikou:

- fotovoltaika včetně pomocných konstrukcí a kabeláže 17 kg/m² = 0,17 kN/m²

5. Obecný popis objektu

Objekt tělocvičny je jednodílná hala. Tvar střechy je sedlový s mírným sklonem. Objekt školy byl vystavěn v 60. letech 20. století. Střecha tělocvičny se předpokládá ze stejné doby.

6. Umístění fotovoltaiky

Fotovoltaika má být umístěna na jihovýchodní polovinu střechy tělocvičny. Z celkové plochy střechy bude fotovoltaickými panely pokryto méně než 50%. Fotovoltaika bude kotvena do konstrukce (bez použití tížných bloků).

7. Popis konstrukce střechy tělocvičny

Hlavními nosnými prvky konstrukce střechy jsou ocelové příhradové vazníky se sedlovým tvarem horních pasů. Vazníky jsou v osové vzdálenosti 5,0m a jsou svařované z profilů z kruhových trubek. Rozpětí vazníků je cca 15m (světlá vzdálenost mezi stěnami je cca 14,10m). V některých polích jsou provedena střešní příčná ztužidla.

Vnější průměr trubky horního pasu je cca 140mm. Vnější průměr trubky spodního pasu a krajních diagonál je cca 100mm. Ostatní diagonály jsou z trubek vnějšího průměru cca 80mm. Svislice jsou z trubek vnějšího průměru cca 50mm. Trubky byly měřeny na místě při osobní prohlídce. Rozměry jsou přibližné, jelikož není známa tloušťka nátěru. Stejně tak nebyly v této fázi projektu zjištěny tloušťky stěn jednotlivých prvků (kruhových trubek). V případě provádění přesného statického posouzení střešních vazníků bude tuto informaci nutné zjistit. Výška vazníků v uložení do stěn je cca 55cm a výška vazníků pod hřebenem je odhadem cca 1,40m.

Na příhradových vaznicích jsou uloženy ocelové vaznice profilu IPN č.160. Vaznice staticky působí jako spojitý nosník přes 2 pole. Osová vzdálenost vaznic je 2,0m.

Na vaznicích jsou uloženy panely. Pravděpodobně se jedná o železobetonové PZD panely. Tloušťka panelů nebyla přesně zjištěna a v tomto předběžném statickém posouzení se odhaduje na 7cm.

8. Stav konstrukcí střechy

Nosné ocelové konstrukce střechy jsou ve velmi dobrém stavu. Ocelové konstrukce jsou natřeny protikorozním nátěrem, který je rovněž téměř bez narušení. Konstrukce je ve vytápěném interiéru školní tělocvičny, což jí prospívá.

Výška příhradových vazníků je v souladu s obecnými pravidly pro ocelové příhradové vazníky (výška vazníků ve vrcholu cca 1/10 rozpětí).

9. Posouzení

Dle přiloženého statického výpočtu vyhovují ocelové vaznice pro přetížení fotovoltaikou v mezním stavu únosnosti i v mezním stavu použitelnosti (průhybu).

Protože nebyly zjištěny tloušťky stěn jednotlivých prvků příhradových vazníků, nebyly v tomto předběžném posouzení příhradové vazníky přeposouzeny. Bylo pouze spočteno přetížení vazníků fotovoltaikou vzhledem ke stávajícímu zatížení. Dle přiloženého statického výpočtu bude celkové přetížení vazníků fotovoltaikou oproti stávajícímu stavu méně než 3%. Vnitřní síly (osové normálové síly) v diagonálách a svislicích se zvýší o max. cca 5,5%. Vzhledem k velmi dobrému stavu ocelové střešní konstrukce lze toto přetížení příhradových vazníků předběžně považovat za málo významné.

Pro snížení účinků přetížení na jednotlivé prvky vazníků by bylo vhodné část panelů přesunout na severozápadní polovinu střechy.

Pro přesné statické posouzení příhradových vazníků by bylo nutné zjistit tloušťky stěn trubek jednotlivých prvků vazníků.

10. Podmínky pro umístění fotovoltaiky

Fotovoltaiku bude nutné ukládat na ocelové vaznice (mimo panely).

Pro osazení fotovoltaiky se v daném místě předpokládá s rovnoměrným přetížením vaznic. Není možné v daném místě umístit všechny panely fotovoltaiky na jednu vaznici a vedlejší vaznici nechat bez přetížení. V takovém případě by bylo nutné vaznice, na kterých má být fotovoltaika uložena, zesílit.

Pro eliminaci kombinace montážního zatížení se sněhem musí montáž fotovoltaiky proběhnout v době, kdy na střeše není sníh.

11. Závěr

Střecha tělocvičny základní školy se při splnění výše popsanych podmínek jeví jako vhodná pro umístění fotovoltaiky s plošnou hmotností max. 17 kg/m² v požadovaném rozsahu.

Praha, 21. března 2025

Vypracoval: Ing. Michal Kubalík

Přílohy:

- Statický výpočet
- Fotodokumentace

STATICKÝ VÝPOČET

Obsah

	strana
1. Zatížení střechy	2
2. Posouzení vaznice	3
3. Výpočet přetížení příhradových vazníků	4

1. Zatížení střechy

Skladba střechy	tloušťka	objemová tíha	charakteristické	γ_G	návrhové
hydroizolační souvrství			0,05 kN/m ²	1,35	0,07 kN/m ²
tepelná izolace	0,200	1,00	= 0,20 kN/m ²	1,35	0,27 kN/m ²
původní hydroizolační souvrství			0,10 kN/m ²	1,35	0,14 kN/m ²
PZD panely (neověřená tloušťka)	0,070	25,00	= 1,75 kN/m ²	1,35	2,36 kN/m ²
tíha vaznic			0,15 kN/m ²	1,35	0,20 kN/m ²
tíha vazníků			0,20 kN/m ²	1,35	0,27 kN/m ²
g₁ celkem stálé zatížení - šikmý průmět			2,45 kN/m ²	1,35	3,31 kN/m ²
g celkem stálé zatížení - svislý průmět		2,45 / cos 7°	= 2,47 kN/m ²	1,35	3,33 kN/m ²
Skladba střechy s přitížením fotovoltaikou - lokálně					
přítížení fotovoltaikou včetně pomocných konstrukcí a kabeláže			0,17 kN/m ²	1,35	0,23 kN/m ²
g₁ celkem stálé zatížení - šikmý průmět			2,62 kN/m ²	1,35	3,54 kN/m ²
g celkem stálé zatížení - svislý průmět		2,62 / cos 7°	= 2,64 kN/m ²	1,35	3,56 kN/m ²
Skladba střechy s přitížením fotovoltaikou - celkově na plochu vazníků					
přítížení fotovoltaikou s pokrytím cca poloviny půdorysu střechy			0,085 kN/m ²	1,35	0,11 kN/m ²
g₁ celkem stálé zatížení - šikmý průmět			2,54 kN/m ²	1,35	3,42 kN/m ²
g celkem stálé zatížení - svislý průmět		2,54 / cos 7°	= 2,55 kN/m ²	1,35	3,45 kN/m ²
Užitné zatížení					
q užitné zatížení	kategorie H	nepřístupná střecha	0,75 kN/m ²	1,50	1,13 kN/m ²
Zatížení sněhem					
Sklon střechy	$\alpha = 7,00^\circ$				
Tvarový součinitel	$\mu_1 = 0,80$				
Součinitel expozice	Typ krajiny: normální			$C_e = 1,00$	
	Tepelný součinitel			$C_t = 1,00$	
Charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi dle digitální sněhové mapy				$s_k = 0,90 \text{ kN/m}^2$	
	$\mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$			γ_Q	
s sníh	0,80	1,00	1,00	0,90	= 0,72 kN/m ²
				1,50	1,08 kN/m ²
Zatížení větrem					
Základní rychlost větru	oblast: 2		$v_b = 25,00 \text{ m/s}$		
Kategorie terénu:	3		$z_0 = 0,300 \text{ m}$	$z_{min} = 5,00 \text{ m}$	
pomocný součinitel flukтуаční složky tlaku			$c_{fl} = 1,508 \text{ m}$		
Referenční výška	$z_e = 12,00 \text{ m}$				
Základní dynamický tlak větru	$q_b = 1/2 \cdot \rho \cdot v_b^2$				
	$q_b = 1/2 \cdot 1,25 \cdot 25,00^2 = 0,39 \text{ kN/m}^2$				
Součinitel orografie	$c_0(z_e) = 1,00$				
Součinitel drsnosti terénu	$k_r = 0,19 \cdot (z_0 / 0,05)^{0,07}$				
	$k_r = 0,19 \cdot (0,300 / 0,05)^{0,07} = 0,22$				
	$c_r(z_e) = k_r \cdot \ln(z_e / z_0)$				
	$c_r(z_e) = 0,22 \cdot \ln(12,00 / 0,300) = 0,795$				
Intenzita turbulence větru					
	$I_{v(z_e)} = \frac{c_{fl}}{7 \cdot c_r(z_e) \cdot c_0(z_e)} = \frac{1,508}{7 \cdot 0,795 \cdot 1,00} = 0,271$				
Součinitel expozice					
	$c_e(z_e) = c_0(z_e)^2 \cdot c_r(z_e)^2 \cdot (1 + 7 \cdot I_{v(z_e)})$				
	$c_e(z_e) = 1,00^2 \cdot 0,795^2 \cdot (1 + 7 \cdot 0,271) = 1,829$				
Maximální dynamický tlak	$q_p(z_e) = q_b \cdot c_e(z_e) = 0,39 \cdot 1,829 = 0,71 \text{ kN/m}^2$				

Tlak větru pro sedlové střechy

Zatížená plocha	$A = 10,00 \text{ m}^2$	tlak	$c_{pe,10} = 0,20$	
		$q_p(z_e) \cdot c_{pe}$		γ_Q
$w_{,tlak}(z_e)$	tlak větru kolmo na povrch kce	$0,71 \cdot 0,20$	$= 0,14 \text{ kN/m}^2$	$1,50 \cdot 0,21 \text{ kN/m}^2$

Celkem svislý průmět proměnného zatížení

	sněh	Ψ_0	vítr	
$q_{\text{svislý,průmět}}$	0,72	$+ 0,60$	$\cdot 0,14$	$= 0,81 \text{ kN/m}^2$
				$1,50 \cdot 1,21 \text{ kN/m}^2$

rozhoduje kombinace sněhu s větrem oproti užitému zatížení

2. Posouzení vaznice

Zatížení Kombinace zatížení jako méně příznivá kombinace z následujících dvou výrazů

$$\gamma_G = 1,35 \quad \gamma_Q = 1,50 \quad \Psi_{0,1} = 0,70 \quad \xi_1 = 0,85$$

Kombinace 1 $\gamma_Q \cdot \Psi_{0,1} = 1,50 \cdot 0,70 = 1,05$

g_1 stálé zatížení ($2,64 - 0,20$) $\cdot 2,00 = 4,88 \text{ kN/m}$ $\gamma_G = 1,35$ $6,59 \text{ kN/m}$

q_1 proměnné zatížení $0,81 \cdot 2,00 = 1,61 \text{ kN/m}$ $\gamma_Q \cdot \Psi_{0,1} = 1,05$ $1,69 \text{ kN/m}$

f₁ celkové zatížení **6,49 kN/m** **1,28** **8,28 kN/m**

Kombinace 2 $\xi_1 \cdot \gamma_G = 0,85 \cdot 1,35 = 1,15$

g_2 stálé zatížení $4,88 \text{ kN/m}$ $\xi_1 \cdot \gamma_G = 1,15$ $5,60 \text{ kN/m}$

q_2 proměnné zatížení $1,61 \text{ kN/m}$ $\gamma_Q = 1,50$ $2,42 \text{ kN/m}$

f₂ celkové zatížení **6,49 kN/m** **1,24** **8,02 kN/m**

Rozhodující kombinace:

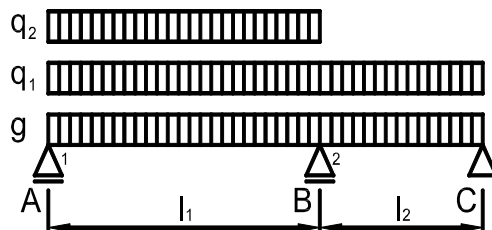
kombinace 1

Schéma konstrukce

$$l_1 = 5,00 \text{ m}$$

$$l_2 = 5,00 \text{ m}$$

$$l = 10,00 \text{ m}$$



Vnitřní síly a reakce - Metoda rozdělování momentů - Crossova metoda

Maximální momenty a síly s kombinací užitého zatížení v polích

styčnickový moment	stálé zatížení	$M_{2q} = 15,25 \text{ kNm}$	$1,35$	$= 20,58 \text{ kNm}$
	proměnné zatížení v obou polích	$M_{2q} = 5,04 \text{ kNm}$	$1,05$	$= 5,29 \text{ kNm}$
	celkový styčnickový moment	$M_{2f} = 20,28 \text{ kNm}$	1,28	25,87 kNm
mezipodporový moment	stálé zatížení	$M_{ABg} = 8,58 \text{ kNm}$	$1,35$	$= 11,58 \text{ kNm}$
	proměnné zatížení pouze v krajním poli	$M_{ABq} = 3,86 \text{ kNm}$	$1,05$	$= 4,05 \text{ kNm}$
	celkový mezipodporový moment	$M_{ABf} = 12,43 \text{ kNm}$	1,26	15,63 kNm
maximální posouvající síla u styčnicku	stálé zatížení	$Q_{21g} = 15,25 \text{ kN}$	$1,35$	$= 20,58 \text{ kN}$
	proměnné zatížení v obou polích	$Q_{21q} = 5,04 \text{ kN}$	$1,05$	$= 5,29 \text{ kN}$
	celková posouvající síla	$Q_{21f} = 20,28 \text{ kN}$	1,28	25,87 kN
reakce a posouvající síla v levé podpoře	stálé zatížení	$A_{1g} = 9,15 \text{ kN}$	$1,35$	$= 12,35 \text{ kN}$
	proměnné zatížení pouze v krajním poli	$A_{1q} = 3,53 \text{ kN}$	$1,05$	$= 3,70 \text{ kN}$
	celková reakce a posouvající síla	$A_{1f} = 12,67 \text{ kN}$	1,27	16,05 kN
reakce ve střední podpoře	stálé zatížení	$B_{2g} = 30,50 \text{ kN}$	$1,35$	$= 41,17 \text{ kN}$
	proměnné zatížení v obou polích	$B_{2q} = 10,07 \text{ kN}$	$1,05$	$= 10,58 \text{ kN}$
	celková reakce	$B_{2f} = 40,57 \text{ kN}$	1,28	51,75 kN
reakce a posouvající síla v pravé podpoře	stálé zatížení	$C_{3g} = 9,15 \text{ kN}$	$1,35$	$= 12,35 \text{ kN}$
	proměnné zatížení v obou polích	$C_{3q} = 3,02 \text{ kN}$	$1,05$	$= 3,17 \text{ kN}$
	celková reakce a posouvající síla	$C_{3f} = 12,17 \text{ kN}$	1,28	15,52 kN

Zatížení $M_d = 25,87 \text{ kNm}$ $V_d = 25,87 \text{ kN}$

Návrh průřezu a oceli

Průřez	typ	IPN	Ocel	S 235	$f_y = 235,00 \text{ MPa}$
	označení průřezu	160	$\gamma_{MO} = 1,00$		$f_{yd} = 235,00 \text{ MPa}$
	složený průřez	samostatný průřez	třída průřezu:	pro ohyb 1	
Průřezové charakteristiky pro	1 ks			pro tlak 1	
	plocha	$A = 2,28 \cdot 10^3 \text{ . mm}^2$			
	smyková plocha	$A_{vz} = 1,08 \cdot 10^3 \text{ . mm}^2$			
	moment setrvačnosti	$I_y = 9,35 \cdot 10^6 \text{ . mm}^4$		$I_z = 0,55 \cdot 10^6 \text{ . mm}^4$	
	poloměr setrvačnosti	$i_y = 64,00 \text{ mm}$		$i_z = 15,49 \text{ mm}$	
	průřezový modul	$W_y = 117,00 \cdot 10^3 \text{ . mm}^3$			
	plastický průřezový modul	$W_{pl,y} = 136,00 \cdot 10^3 \text{ . mm}^3$			
	vzdálenost těžišť	$y_e = 37,00 \text{ mm}$			

Posouzení - MSÚ - Ohyb klopení je zajištěno

Posouzení pro třídu 1 a 2

$$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd} = 136,00 \cdot 235,00$$

$$M_{pl,Rd} = 31,96 \text{ kNm} > M_d = 25,87 \text{ kNm} \quad \text{vyhovuje}$$

Posouzení - MSÚ - Smyk

$$V_{pl,Rd} = A_{vz} \cdot f_{yd} / 3^{1/2} = 1,08 \cdot 235,00 / 3^{1/2}$$

$$V_{pl,Rd} = 146,94 \text{ kN} > V_d = 25,87 \text{ kN} \quad \text{vyhovuje}$$

Posouzení - MSP - Průhyb - kombinace s užitným zatížením pouze v krajním poli

Hodnoty pro pootočení ve styčnicku: tuhosti prutů $k_{21} = 0,20 / m$ $k_{23} = 0,20 / m$
 rozdíl momentů v dokonalém vetknutí obou polí ve styčnicku pro stálé zatížení $M_{sg} = 0,00 \text{ kNm}$
 rozdíl momentů v dokonalém vetknutí obou polí ve styčnicku pro užitné z. v krajním poli $M_{sq} = 5,04 \text{ kNm}$

$$w_g = \left(\frac{g \cdot l_1^4}{192} + \frac{1 \cdot l_1 \cdot M_{sg}}{16 \cdot (k_{21} + k_{23})} \right) \cdot \frac{1}{E \cdot I}$$

$$w_g = \left(\frac{4,88 \cdot 5,00^4}{192} + \frac{1 \cdot 5,00 \cdot 0,00}{16 \cdot (0,20 + 0,20)} \right) \cdot \frac{1}{210,00 \cdot 9,35}$$

$$w_g = 8,1 \text{ mm}$$

$$w_q = \left(\frac{q \cdot l_1^4}{192} + \frac{1 \cdot l_1 \cdot M_{sq}}{16 \cdot (k_{21} + k_{23})} \right) \cdot \frac{1}{E \cdot I}$$

$$w_q = \left(\frac{1,61 \cdot 5,00^4}{192} + \frac{1 \cdot 5,00 \cdot 5,04}{16 \cdot (0,20 + 0,20)} \right) \cdot \frac{1}{210,00 \cdot 9,35}$$

$$w_q = 4,7 \text{ mm}$$

$$w_f = 12,8 \text{ mm} < w_{lim,f} = l / 250 = 20,0 \text{ mm} \quad \text{vyhovuje}$$

3. Výpočet přetížení příhradových vazníků

Přetížení diagonál na polovině s uložením fotovoltaiky

$$\frac{f_{nové}}{f_{stávající}} = \frac{g_{nové} + q}{g_{stávající} + q} = \frac{2,64 + 0,81}{2,47 + 0,81} = 1,0523 \quad \text{přetížení: } 5,23 \%$$

Přetížení spodního a horního pasu

$$\frac{f_{nové}}{f_{stávající}} = \frac{g_{nové} + q}{g_{stávající} + q} = \frac{2,55 + 0,81}{2,47 + 0,81} = 1,0262 \quad \text{přetížení: } 2,62 \%$$

FOTODOKUMENTACE



foto č.1 – Nosná konstrukce střechy



foto č.2 – Vaznice přerušena v uložení na vazník

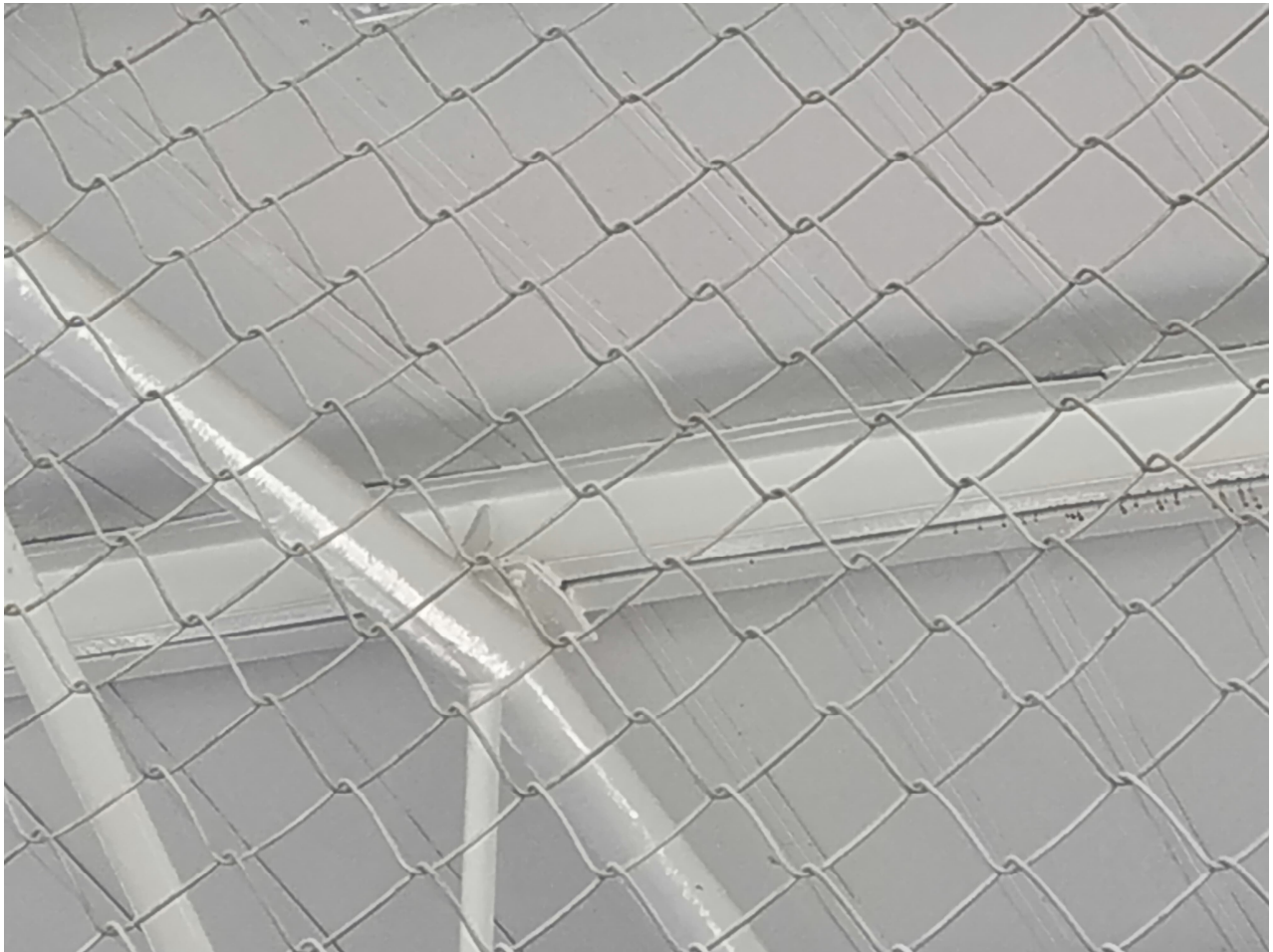


foto č.3 – Vaznice spojitá v uložení na vazník



foto č.4 – Detail uložení vaznice na vazník