Peter Trudič[1], Milan Palko[2]

[1] Katedra konštrukcií pozemných stavieb, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Radlinského 11, 810 05 Bratislava *0009-0006-3850-1187*

[2] Katedra konštrukcií pozemných stavieb, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Radlinského 11, 810 05 Bratislava *0000-0001-7567-9765*

KOTVENIA FOTOVOLTICKÝCH PANELOV NA PLOCHEJ STRECHE V KONTEXTE AERODYNAMIKY

Abstrakt

Fotovoltické (FV) panely pribúdajú aj na existujúcich plochých strechách. Príspevok je určený projektantom aj strechárom a na základe noriem, smerníc poisťovní, odborných štúdií a podkladov výrobcov vysvetľuje, ako vietor pôsobí na plochú strechu a na FV pole, akými spôsobmi sa pole kotví, ako môže zlyhať a od čoho závisí potrebný balast. Z porovnaných zdrojov vyplýva, že pole s balastom ohrozuje skôr posun ako nadvihnutie, že v otvorenej krajine je tlak vetra, a teda aj potrebný balast, o 41 % väčší ako na predmestí a že na okrajoch poľa a pri uličkách treba balast zväčšiť približne o polovicu. Skúsenosti z porúch vo svete aj prvé slovenské prípady potvrdzujú, že polia zlyhávajú najmä v rohoch, na okrajoch a v spojoch. Príspevok končí kontrolným zoznamom pre návrh a montáž.

Kľúčové slová: fotovoltika, plochá strecha, kotvenie, balast, sanie vetra, kategória terénu, odfúknutie

1. Úvod

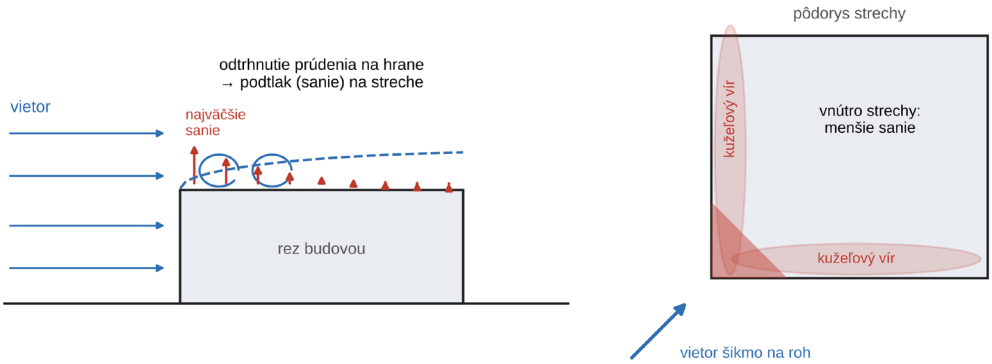
Na Slovensku bolo koncom roka 2025 inštalovaných 1 357 MW fotovoltiky [1, 2]. Len v roku 2025 pribudlo takmer 16 000 nových FV zdrojov s výkonom 243 MW, z toho 124 MW na domácnostiach a 102 MW vo firmách [1, 2]. Smernica EÚ o energetickej hospodárnosti budov navyše vyžaduje solárne zariadenia na nových verejných a nebytových budovách od konca roka 2026 a postupne aj na existujúcich verejných budovách [3]. Veľká časť nových polí tak skončí na plochých strechách, ktoré s nimi pri návrhu nepočítali.

Pre projektanta aj strechára je pri takej streche hlavná otázka, čo pole udrží na mieste. Pole, ktoré sa pri búrke posunie, poškodí hydroizoláciu. Pole, ktoré sa nadvihne, sa stane letiacim predmetom a ohrozí okolie. Príspevok preto krok za krokom vysvetľuje, ako vietor pôsobí na strechu a na pole, porovnáva spôsoby kotvenia, vysvetľuje, od čoho závisí potrebný balast, a zhŕňa skúsenosti zo skutočných porúch. Vychádza z odborných článkov, noriem, správ poisťovní a podkladov výrobcov.

2. Ako vietor pôsobí na plochú strechu

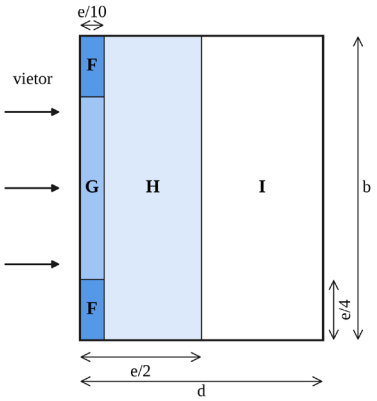
Vietor, ktorý narazí na budovu, sa na hrane strechy odtrhne od jej povrchu. Pod odtrhnutým prúdom vzniká podtlak, ktorý strechu nasáva nahor – hovoríme mu sanie (obr. 1 vľavo). Najsilnejšie je pri hrane a smerom do stredu strechy slabne. Ak fúka vietor šikmo

na roh budovy, prúd sa pozdĺž oboch okrajov zvinie do dvoch kužeľových vírov a pod nimi je sanie najväčšie [4] (obr. 1 vpravo).



Obr. 1 Vľavo: odtrhnutie prúdenia na hrane strechy a sanie, ktoré slabne smerom do stredu. Vpravo: kužeľové víry pri vetre šikmo na roh, zdroj: autori

Norma STN EN 1991-1-4 preto delí plochú strechu na oblasti F až I (obr. 2) [5]. Najviac je namáhaný roh (oblasť F), kde je sanie asi dvakrát väčšie ako v strede strechy (oblasť H). Veľkosť oblastí sa určuje z rozmeru *e*, ktorý je menší z dvoch hodnôt: dĺžka strany budovy (b) alebo dvojnásobok jej výšky (2h). Napríklad pri hale 48 × 36 m vysokej 8 m je 2h = 16 m menšie ako obe strany, preto *e* = 16 m. Rohové oblasti F sú potom pásy široké *e*/10 = 1,6 m a dlhé *e*/4 = 4 m od rohu, oblasť G pokračuje v rovnakej šírke 1,6 m pozdĺž zvyšku okraja, oblasť H siaha do vzdialenosti *e*/2 = 8 m od okraja a zvyšok strechy tvorí oblasť I [5].



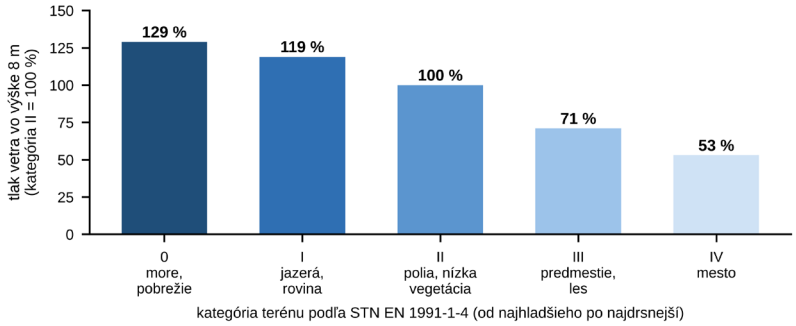
Obr. 2 Oblasti plochej strechy podľa STN EN 1991-1-4 pre vietor kolmý na okraj; e = menší z rozmerov b a 2h, zdroj: autori podľa [5]

Norma predpokladá samostatne stojacu budovu s jednoduchým tvarom. Na skutočnej streche môžu sanie zmeniť aj detaily a okolie: nízka atika ho v rohu môže dokonca zvýšiť, kým vyššia atika ho zmierni [6], a susedná budova môže sanie na streche zväčšiť – v jednej štúdii priemyselnej haly o 37 % [7].

2.1 Okolie budovy – kategória terénu

Sila vetra vo výške strechy závisí od toho, čo je okolo budovy. Les alebo zástavba vietor pri zemi brzdia, kým nad poľom alebo vodou fúka vietor nerušene. Norma preto rozlišuje päť kategórií terénu od mora (0) po mesto (IV) [5]. Obr. 3 ukazuje, ako sa mení tlak

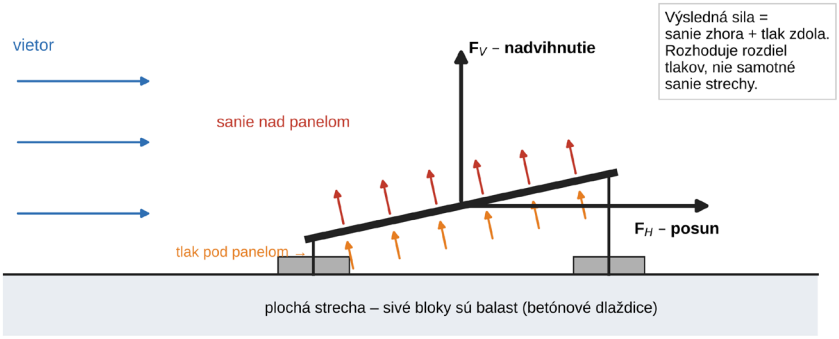
vetra vo výške 8 m: rovnaká hala má v otvorenej krajine (kategória II) približne o 41 % väčší tlak ako na predmestí (kategória III) a takmer dvojnásobný ako v meste (kategória IV) [5]. O rovnaký pomer sa mení aj potrebný balast. Kategóriu treba určiť pre všetky smery – hala na okraji mesta môže mať zo strany zástavby kategóriu III a zo strany polí kategóriu II.



Obr. 3 Porovnanie tlaku vetra vo výške 8 m podľa kategórie terénu (kategória II = 100 %), spracované podľa vzťahov STN EN 1991-1-4 [5]

3. Ako vietor pôsobí na FV panel

Na sklonený panel nepôsobí len sanie zhora. Vietor prúdi aj pod panel a tlačí naň zdola. Panel tak zaťažuje súčet sania nad ním a tlaku pod ním (obr. 4). Výsledkom sú dve sily: **sila nahor** F_V, ktorá chce panel nadvihnúť, a **sila do boku** F_H, ktorá ho chce posunúť. Preto nemožno na panely priamo použiť hodnoty sania pre strešnú krytinu [8]. Slovenská norma pre FV panely na strechách vlastné hodnoty nemá; americká norma ASCE 7-22 ich obsahuje a pre panely na okraji poľa ich zvyšuje o polovicu [9].



Obr. 4 Sily od vetra na sklonený FV panel s balastom, zdroj: autori

Veľkosť týchto síl ovplyvňujú najmä tri veci:

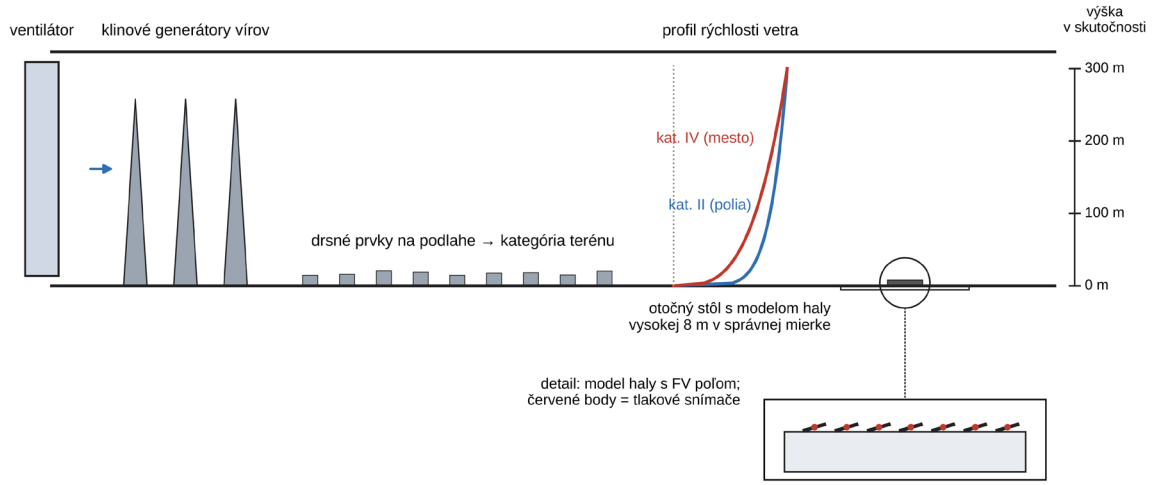
- **Sklon panelov.** Čím je panel strmší, tým väčšiu silu zachytí – približne do sklonu 10°, potom sa sila už výrazne nemení [10]. Bežné systémy s balastom majú sklon 10–15° [8, 11].
- **Poloha v poli.** Vnútorné rady sú chránené susednými radmi, krajné rady a rady pri uličkách nie. Najväčšie nadvihnutie býva ďalej od rohu, ako naznačujú oblasti z normy [12].

- **Kmitanie.** Ľahké polia sa vo vetre rozkmitajú; pri skúškach v skutočnej veľkosti to zvýšilo zaťaženie až o 30 % [13, 14].

Veterné deflektory (plechy na zadnej strane radov) znižujú nadvihnutie pri vetre šikmo na roh asi na polovicu [13], zvyšujú však silu do boku, a tým riziko posunu [12].

4. Ako sa zaťaženie FV poľa zisťuje – skúška vo veternom tuneli

Keďže norma hodnoty pre FV polia neobsahuje, výrobcovia nechávajú svoje systémy skúšať vo veternom tuneli. Zmenšený model budovy s FV poľom sa osadí na otočný stôl a tlakové snímače na paneloch merajú tlak zhora aj zdola pri rôznych smeroch vetra (obr. 5). Z meraní vzniknú súčinitele pre jednotlivé časti poľa, ktoré projektant spolu s tlakom vetra podľa normy použije na výpočet balastu alebo kotiev. Nemecký zväz solárneho priemyslu BSW-Solar v roku 2021 vydal návod, ako takéto skúšky pripraviť, vyhodnotiť a zdokumentovať a ako z nich navrhnúť balast [15]. Dôvodom bolo, že v Nemecku chýba norma a vypočítaný balast pre podobné systémy sa výrazne líšil [15].



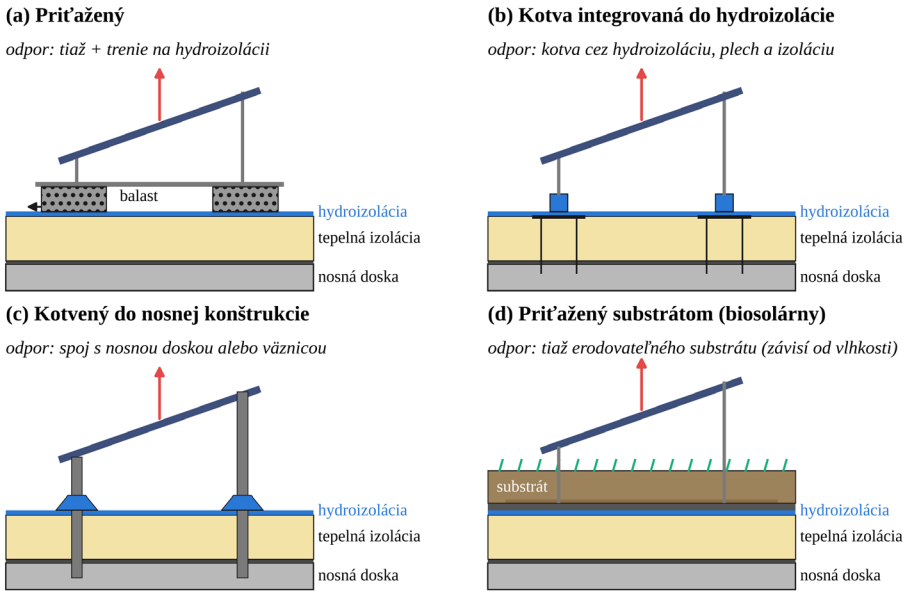
Obr. 5 Schéma veterného tunela s medznou vrstvou: generátory vírov a drsné prvky na podlahe vytvoria profil rýchlosti vetra podľa kategórie terénu; model haly je zakreslený v rovnakej mierke ako medzná vrstva (stupnica vpravo), dole jeho zväčšený detail, zdroj: autori

Skúška je dôveryhodná len vtedy, keď vietor v tuneli zodpovedá skutočnému vetru nad terénom. Pri zemi vietor brzdí drsnosť povrchu, a preto rýchlosť s výškou rastie inak nad poľom a inak nad mestom (obr. 5). V tuneli sa tento profil vytvára klinovými generátormi vírov a drsnými prvkami na podlahe; tomuto modelovaniu kategórií terénu sa venuje dizertačná práca prvého autora. FM Global preto vyžaduje skúšky v tuneli s medznou vrstvou, nie v leteckom tuneli s rovnomerným prúdom, a nezávislé posúdenie výsledkov [16]. Výsledky ovplyvňuje aj mierka modelu [17] a to, či tunel napodobní aj veľké, pomaly sa meniace víry v nabiehajúcom vetre [18]. V Los Angeles preto hodnoty zo skúšky nesmú byť nižšie ako 65 % hodnôt zo zjednodušeného predpisového postupu, ak ich neposúdi nezávislý odborník [19].

Pre prax z toho vyplýva jednoduchá rada: od dodávateľa systému treba žiadať protokol zo skúšky v tuneli s medznou vrstvou, ktorý zodpovedá výške budovy a kategórii terénu na mieste stavby, a skúšku trenia podložiek na danej fólii.

5. Spôsoby kotvenia

Rozlišujeme štyri spôsoby, ako silu od vetra preniesť do strechy (obr. 6, tab. 1). Pri existujúcej streche treba pred výberom overiť tri veci: skutočnú skladbu strechy, lebo staré opravy môžu pridať vrstvy a spotrebovať rezervu nosnej konštrukcie [20]; zvyšnú životnosť hydroizolácie, lebo pole k nej 25 a viac rokov nepustí, a strechy staršie ako asi desať rokov sa odporúča najprv obnoviť [16]; a únosnosť, lebo balast môže existujúcu strechu preťažiť [21].



Obr. 6 Spôsoby kotvenia FV panelov na plochej streche; červená šípka označuje silu od vetra, zdroj: autori

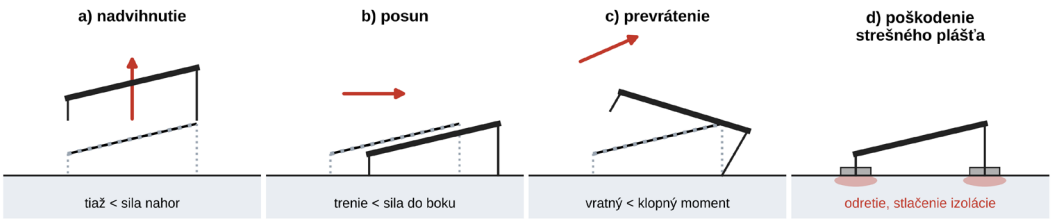
Tab. 1 Porovnanie spôsobov kotvenia FV panelov na plochých strechách

Spôsob kotvenia	Čím drží pole na mieste	Výhoda	Na čo si dať pozor
Priťaženie balastom	Tiaž betónových dlaždíc alebo štrku a trenie podložiek na fólii	Do strechy sa nevŕta, hydroizolácia zostáva celistvá	Veľká hmotnosť, často 35–220 kg/m² vrátane FV [21]; podľa FM Global len na lepených fóliách a pri sklone strechy do 2,4° [16]; dlaždice tlačia na izoláciu
Kotvy v hydroizolácii	Kotva prechádza izoláciou do nosnej dosky, fólia je k nej privarená	Malá prídavná hmotnosť, asi 12–15 kg/m² [22]	Kvalita zvaru; izolácia musí mať pevnosť aspoň 70 kPa (minerálna vlna) alebo 120 kPa (penové izolácie) [22]
Kotvenie do nosnej konštrukcie	Stojky prechádzajú všetkými vrstvami až do nosnej konštrukcie	Nezávisí od trenia ani od tiaže	Každý prestup treba oplechovať a utesniť na celú životnosť strechy [16]; tepelné mosty
Priťaženie substrátom (biosolárna strecha)	Tiaž vegetačného substrátu na základni rámu	Strecha je zároveň zelená strecha	Tiaž sa mení s vlhkosťou (pri 10 cm asi 112 kg/m² suchý a 140 kg/m² mokrý substrát [23]); vietor môže substrát odviať

Pod každým FV poľom musí saniu vetra odolať aj samotná hydroizolácia. Okrem lepenia a mechanického kotvenia cez fóliu sa používa aj indukčné kotvenie, napríklad systém EJOT Centrix: kotevné taniere s vrstvou lepidla aktivovaného teplom sa upevnia k podkladu, na ne sa položí fólia a indukčný prístroj taniere cez fóliu zahreje, takže sa k nej zospodu prilepia. Fólia sa tak neprederaví, kotvy možno rozmiestniť rovnomerne po celej ploche a nie len v presahoch pásov [24]. Výrobca uvádza tento spôsob pre fólie z PVC, TPO, FPO a EPDM [24].

6. Ako môže pole zlyhať

Pole s balastom môže zlyhať štyrmi spôsobmi (obr. 7). **Nadvihnutie** nastane, keď je sila nahor väčšia ako tiaž poľa a balastu. **Posun** nastane, keď trenie medzi podložkami a fóliou neudrží silu do boku; keďže vietor pole zároveň nadvihuje, trenie je pri búrke menšie ako v pokoji. **Prevrátenie** hrozí vysokým a strmým radom. Štvrtým spôsobom je **poškodenie strešného plášťa**: podložky a dlaždice fóliu odierajú a stláčajú izoláciu, najmä keď sa pole pri vetre opakovane pohybuje. Pri kotvených systémoch zlyhávajú najčastejšie spoje a príchytky [25, 26].



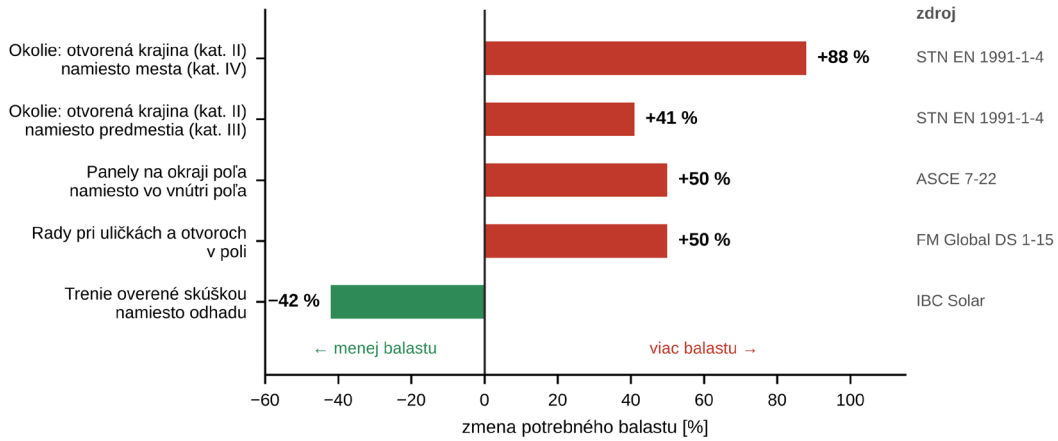
Obr. 7 Spôsoby zlyhania FV radu s balastom; prerušovaná čiara je pôvodná poloha, zdroj: autori

Na trenie sa nedá spoľahnúť naslepo. Ak nie je overené skúškou pre konkrétnu podložku a fóliu, poisťovateľ FM Global odporúča uvažovať súčiniteľ trenia najviac 0,4 a z hodnôt za sucha a za mokra brať nižšiu [16]. V príklade jedného výrobcu klesol potrebný balast z 2 570 kg na 1 500 kg, keď sa skúškou preukázalo vyššie trenie [27].

7. Od čoho závisí potrebný balast

Balast musí splniť dve podmienky. Jeho tiaž musí byť väčšia ako sila nahor, inak sa pole nadvihne. A trenie pod podložkami musí byť väčšie ako sila do boku, inak sa pole posunie. Trenie pritom tvorí len časť tiaže – pri súčiniteli 0,4 udrží 100 kg balastu proti posunu silu zodpovedajúcu len 40 kg, a keďže vietor pole zároveň nadvihuje, ešte menej. Preto pri poliach s balastom častejšie rozhoduje posun ako nadvihnutie; aj pri skúške v skutočnej veľkosti sa pole najprv posunulo a až potom prevrátilo [13].

Potrebný balast je priamo úmerný tlaku vetra a súčiniteľom, ktoré pre daný systém určí skúška vo veternom tuneli. Obr. 8 zhŕňa, o koľko percent zmenia potrebný balast jednotlivé okolnosti podľa noriem, smerníc a podkladov výrobcov. Každý stĺpec porovnáva dve situácie, ktoré sa líšia len v jednej veci; červené stĺpce znamenajú, že treba viac balastu, zelený, že stačí menej. Hodnoty nie sú výsledkom vlastného výpočtu, ale sú prevzaté z uvedených zdrojov.



Obr. 8 Ako jednotlivé okolnosti menia potrebný balast FV poľa, spracované podľa [5, 9, 16, 27]

Graf treba čítať takto:

- **Okolie budovy.** Tlak vetra vo výške 8 m je podľa STN EN 1991-1-4 v otvorenej krajine (kategória II) o 41 % väčší ako na predmestí (kategória III) a o 88 % väčší ako v meste (kategória IV) (obr. 3) [5]. O rovnaký pomer sa zväčší aj potrebný balast.
- **Okraj poľa.** Krajné panely nie sú chránené susednými radmi. Americká norma ASCE 7-22 pre ne zvyšuje zaťaženie vetrom o 50 % [9].
- **Uličky a otvory.** Každá ulička vytvára nové okraje poľa. FM Global pri nich vyžaduje o 50 % viac balastu [16].
- **Trenie.** Ak výrobca skúškou preukáže vyšší súčiniteľ trenia medzi podložkou a fóliou, balast sa zmenší. V príklade výrobcu IBC Solar klesol z 2 570 kg na 1 500 kg, teda o 42 % [27].

Okolnosti sa navzájom násobia. Krajný rad poľa v otvorenej krajine tak potrebuje približne 1,41 × 1,5 ≈ 2,1-krát viac balastu ako vnútorný rad rovnakého systému na predmestí. Holandská štúdia uvádza pre polia s balastom 35–220 kg/m² vrátane FV zariadenia [21]. Ak má ľahká strecha rezervu napríklad 0,75 kN/m², teda asi 76 kg/m², horná časť tohto rozsahu sa do nej nezmestí. Okraje poľa treba potom buď vynechať, alebo ukotviť.

8. Skúsenosti zo skutočných porúch

Poisťovne v zahraničí po búrkach výslovne evidujú škody na FV paneloch. Po februárových búrkach v roku 2022 hlásili holandské poisťovne škody vyše 500 mil. € vrátane škôd na FV paneloch [28] a belgická poisťovňa AG Insurance nezvyčajne veľa škôd na paneloch [29]. Slovenské poisťovne vo svojich správach rozlišujú len krupobitie, víchricu a povodeň a FV panely uvádzajú iba ako jednotlivé prípady [30, 31]. Systematické údaje o odfúknutých paneloch na Slovensku preto zatiaľ chýbajú. Zahraničné štúdie a prípady (tab. 2) však ukazujú opakujúci sa obraz: polia zlyhávajú v rohoch, na okrajoch a v spojoch, a v Európe najmä pre chyby návrhu a montáže.

Tab. 2 Vybrané poruchy FV polí na strechách a poučenia z nich

Kde a kedy	Čo sa stalo	Poučenie pre prax
Karibik, hurikány 2017–2019 [25]	Na 46 strechách zlyhávali príchytky, rámy a ukotvenie; úlomky ničili ďalšie panely. Strešné panely zlyhávali častejšie ako pozemné.	Spoje a príchytky sú najslabším miestom
Guam, tajfún 2023 [32]	Na 24 strechách sa príchytky uvoľňovali jedna po druhej; škody sa sústredili v rohoch striech.	Nespoliehať sa len na balast; rohy strechy vynechať
Holandsko, búrka Eunice 2022 [33]	Plochá strecha so 120 panelmi: chýbal plán balastu, príchytky boli voľné a výpočet vetra nezohľadnil kategóriu terénu.	Bola to chyba návrhu, nie vyššia moc
Holandsko, rodinný dom 2023 [34]	Šesť z dvanástich panelov aj s 10 kg dlaždicami odletelo bez silnej búrky; k systému nebol návod ani výpočet balastu.	Balast treba vypočítať, nie odhadnúť
Skúška v plnej mierke, USA [13]	Pole s balastom sa pri vetre 27–34 m/s najprv posunulo a potom celé prevrátilo.	Najnebezpečnejší je vietor šikmo na roh

Prvé slovenské prípady poskytla poisťovňa Colonnade (tab. 3) [35]. Ide o jednotlivé udalosti, nie o štatistiku, ukazujú však dve veci. Fotovoltiku ničí nielen vietor priamo, ale aj úlomky iných konštrukcií – strecha altánku alebo susedného objektu; v dvoch zo štyroch prípadov bola príčinou práve takáto „letiaca strecha“. A v žiadnom prípade nebol zaznamenaný typ strechy, výška budovy, počet panelov, spôsob kotvenia ani rýchlosť vetra. Bez týchto údajov nemožno zistiť, prečo pole zlyhalo, ani porovnať slovenské prípady so zahraničím. Pri likvidácii škôd na FV by preto stačilo zaznamenať niekoľko údajov navyše: typ a výšku strechy, počet a polohu poškodených panelov, spôsob kotvenia a dátum s miestom, podľa ktorých možno rýchlosť vetra doplniť z meraní SHMÚ.

Tab. 3 Prípady škôd na FV systémoch spôsobených vetrom na Slovensku (podľa podkladov poisťovne Colonnade [35])

Dátum, obec (okres)	Objekt	Čo sa stalo	Príčina poškodenia FV
25. 12. 2024, Ráztočno (okres Prievidza)	altánok, rodinný dom	Vietor odniesol strechu altánku, ktorá rozbila jeden FV panel; nie je isté, či bol panel na streche.	úlomok iného objektu
6. 4. 2025, Čierna nad Tisou (okres Trebišov)	prevádzková budova	Vietor poškodil viacero panelov na streche vrátane nosnej konštrukcie a uchytenia.	priame pôsobenie vetra na pole
7. 7. 2025, Vyšný Medzev – Baňa Lucia (okres Košice-okolie)	budova s FV na streche	Pri víchrici boli poškodené panely na streche; vietor zároveň vytrhol okenicu a odniesol hrebenáče.	priame pôsobenie vetra, možné aj úlomky
21. 8. 2026, Dubovec (okres Rimavská Sobota)	rodinný dom	Časť strechy susedného objektu dopadla na strechu domu a poškodila fotovoltiku aj odkvapy.	úlomok iného objektu

8.1 Ako k tomu pristupujú v zahraničí a u nás

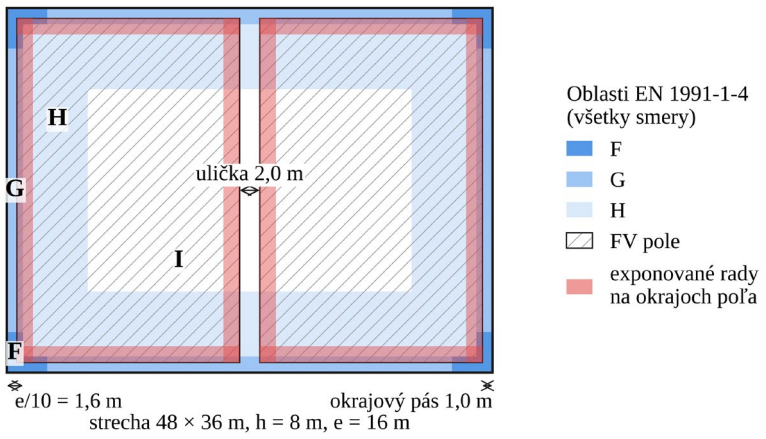
Krajiny s väčšími skúsenosťami s FV na plochých strechách majú pre návrh na vietor osobitný návod, poisťovne v nich kladú konkrétne požiadavky a škody sa evidujú (tab. 4). Na Slovensku chýbajú všetky tri: norma pre FV polia na strechách hodnoty nemá [5], národný návod ako britský BRE Digest 489 [36] alebo holandská NEN 7250 [37] neexistuje a údaje o škodách sa nezbierajú [30, 31]. Projektant sa tak musí spoliehať na podklady výrobcov. Prirodzeným ďalším krokom by bol slovenský technický návod pre kotvenie FV na plochých strechách, ktorý by spojil postup podľa STN EN 1991-1-4, požiadavky na skúšky trenia a systému a evidenciu porúch.

Tab. 4 Prístup k návrhu FV polí na strechách na vietor a k evidencii škôd v zahraničí a na Slovensku

Krajina	Návrh na vietor pre FV polia na strechách	Kontrola, poistenie a údaje o škodách
USA	Norma ASCE 7-22 má vlastné súčinitele pre FV polia [9]; postup SEAOC PV2 pre polia na plochých strechách [38]. Napr. v Los Angeles treba trenie zmerať skúškou za sucha aj za mokra a FV smie zvýšiť namáhanie strešnej konštrukcie najviac o 5 % [19].	Poisťovateľ FM Global: balast len na lepených fóliách a pri sklone do 2,4°, trenie najviac 0,4, bezpečnosť 2,0, pri otvoroch o 50 % viac balastu, strechu staršiu ako 10 rokov vymeniť, skúšky vo veternom tuneli s medznou vrstvou [16]. Po hurikánoch obhliadky FEMA a NREL [26, 32].
Holandsko	NEN 7250 stanovuje požiadavky a výpočtové metódy pre FV na strechách vrátane zaťaženia vetrom a skúšky odolnosti upevnenia [37]; vládna štúdia posúdila vplyv FV na únosnosť striech [21].	Poisťovne po búrkach evidujú škody na FV [28]; spory o chybnú montáž rozhoduje rozhodcovský súd [33].
Veľká Británia	Návod BRE Digest 489 na zaťaženie vetrom pre FV na strechách podľa BS EN 1991-1-4, vrátane nadvihnutia, prevrátenia a posunu polí na plochých strechách; vznikol preto, že norma to nerieši [36].	–
Nemecko	Norma pre FV polia na plochých strechách chýba; zväz BSW-Solar preto v roku 2021 vydal návod, ako navrhnúť balast na základe skúšok vo veternom tuneli, lebo vypočítaný balast pre podobné systémy sa výrazne líšil [15].	Smernica poisťovní VdS 3145 vyžaduje doklad, že montáž neohrozí stabilitu budovy, kontrolu po búrke a ročnú kontrolu prestupov [39].
Slovensko	STN EN 1991-1-4 súčinitele pre FV polia nemá [5]; národný návod chýba. ATN 011 rieši požiarnu bezpečnosť a rozmiestnenie polí [40].	Poisťovne škody na FV osobitne nevykazujú [30, 31]; dostupné sú len jednotlivé prípady [35].

9. Rozmiestnenie poľa a údržba

Požiarne predpisy vyžadujú okolo poľa okrajový pás bez panelov, podľa ATN 011 aspoň 1,0 m, a pri veľkých strechách aj uličky medzi poľami [40]. Pri hale vysokej 8 m je však okrajová oblasť z hľadiska vetra široká 1,6 m [5], takže krajné rady zostávajú v najviac namáhaných oblastiach F a G (obr. 9). Každá ulička navyše vytvára dva nové okraje poľa, ktoré nie sú chránené susednými radmi; FM Global pri nich odporúča asi o 50 % viac balastu alebo kotvenie [16].



Obr. 9 Strecha haly 48 × 36 m s dvoma poľami a uličkou 2 m; červené pásy sú exponované okraje polí, modré odtiene oblasti F, G a H, zdroj: autori

Balast aj podpery tlačia na tepelnú izoláciu. Doska z minerálnej vlny určená pod FV má pevnosť 80 kPa pri 10 % stlačení [41] a bodové zaťaženie sa na nej bez roznášacích

líšt spravidla nepovoľuje [42]. Pre údržbu poľa treba vymedziť chodníky s krycími doskami. Pole s balastom sa môže posunúť aj pri slabšom vetre, ako je návrhový, preto poisťovne odporúčajú zdokumentovať jeho polohu hneď po montáži a skontrolovať ju po každom silnom vetre [43].

10. Kontrolný zoznam pre návrh a montáž

- Overiť skutočnú skladbu, únosnosť a životnosť strechy; starú hydroizoláciu najprv obnoviť.
- Určiť kategóriu terénu pre všetky smery vetra; pri pochybnostiach zvoliť otvorenejší terén.
- Ak je potrebný balast väčší ako rezerva strechy, okraje poľa ukotviť alebo vynechať.
- Používať hodnoty zo skúšky konkrétneho systému; bez skúšky uvažovať trenie najviac 0,4 [16].
- Okrajový pás bez panelov voliť aspoň $e/10$ [5]; krajné rady a rady pri uličkách posúdiť osobitne.
- Pod podpery dať roznášacie podložky a vymedziť chodníky pre údržbu.
- Po montáži zdokumentovať polohu poľa, po silnom vetre ju skontrolovať a spoje dotiahnuť.

11. Záver

Kotvenie FV poľa na plochej streche je viac než otázka počtu betónových dlaždíc. Vietor pôsobí na panel zhora aj zdola a najviac v rohoch a na okrajoch strechy aj poľa. Pole s balastom ohrozuje najmä posun. Potrebný balast rastie s otvorenosťou okolia budovy, na okrajoch poľa a pri uličkách a klesá, ak je trenie overené skúškou. Na existujúcej ľahkej streche sa preto pole s balastom často nezmestí do rezervy konštrukcie a okraje treba ukotviť alebo vynechať. Poruchy vo svete ukazujú, že polia zlyhávajú v rohoch, na okrajoch a v spojoch, často pre chyby návrhu a montáže. Prvé slovenské prípady ukazujú, že FV panely ničia aj úlomky iných konštrukcií a že pri likvidácii škôd chýbajú údaje o streche a kotvení. Na rozdiel od USA, Holandska či Veľkej Británie nemá Slovensko pre návrh FV polí na vietor ani národný návod, ani evidenciu škôd.

Literatúra

[1] TASR: SAPI: Vlani pribudlo v SR takmer 16 000 nových fotovoltických zdrojov. Teraz.sk, 19. 5. 2026.

[2] Jowett, P.: Slovakia deploys 243 MW of solar in 2025. pv magazine, 24. 3. 2026. https://www.pv-magazine.com/2026/03/24/slovakia-deploys-243-mw-of-solar-in-2025/

[3] Directive (EU) 2024/1275 of 24 April 2024 on the energy performance of buildings (recast). Official Journal of the European Union L 2024/1275 (2024).

[4] Shelley, E., Zhang, W.: Flow structures and rooftop wind pressures altered by porous parapets over a low-rise building. Journal of Fluids and Structures 147, 104692 (2026). https://doi.org/10.1016/j.jfluidstructs.2026.104692

[5] STN EN 1991-1-4:2007 Eurokód 1. Zaťaženia konštrukcií. Časť 1-4: Všeobecné zaťaženia. Zaťaženie vetrom (EN 1991-1-4:2005+A1:2010), vrátane národnej prílohy. ÚNMS SR, Bratislava (2007).

[6] Stathopoulos, T., Baskaran, A.: Wind pressures on flat roofs with parapets. Journal of Structural Engineering 113(11), 2166–2180 (1987). https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1987)113:11(2166)

[7] Kučírek, P., Šikula, O., Krajčík, M., Mohapl, M., Arıcı, M.: Aerodynamic loading of lightweight green roof systems on industrial buildings: A case-based CFD study of an existing industrial hall. Case Studies in Thermal Engineering 80, 107842 (2026). https://doi.org/10.1016/j.csite.2026.107842

[8] I.F.I. Institut für Industrieaerodynamik: Wind loads on the PV mounting system K2 S-Dome 6.10/6.15, short report KSR04-11-1. Aachen (2023).

[9] ASCE/SEI 7-22: Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. American Society of Civil Engineers, Reston, VA (2022).

[10] Kopp, G.A.: Wind loads on low-profile, tilted, solar arrays placed on large, flat, low-rise building roofs. Journal of Structural Engineering 140(2), 04013057 (2014). https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000825

[11] Van der Valk Solar Systems: ValkPro datasheet. Monster (2020).

[12] Banks, D.: The role of corner vortices in dictating peak wind loads on tilted flat solar panels mounted on large, flat roofs. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics (2013). https://doi.org/10.1016/j.jweia.2013.08.015

[13] Al Sayegh, H., Gan Chowdhury, A., Zisis, I., Elawady, A., Estephan, J., Tolera, A.: Full-scale experimental investigation of wind loading on ballasted photovoltaic arrays mounted on flat roofs. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 256, 105963 (2025). https://doi.org/10.1016/j.jweia.2024.105963

[14] Wang, S., Reed, D.A., Lyman, G., Estephan, J., Irwin, P., Chowdhury, A.: Examination of wind speed based on field measurements on a low-rise building. Frontiers in Built Environment 11 (2025). https://doi.org/10.3389/fbuil.2025.1498984

[15] BSW-Solar: Hinweispapier zur Bemessung von Montagesystemen auf Grundlage von Windkanalversuchen [Návod na dimenzovanie montážnych systémov na základe skúšok vo veternom tuneli]. Bundesverband Solarwirtschaft, Berlin (2021).

[16] FM: Property Loss Prevention Data Sheet 1-15: Roof-Mounted Solar Photovoltaic Panels. April 2026, full revision. FM Global, Johnston, RI (2026).

[17] Alrawashdeh, H., Stathopoulos, T.: Wind loads on solar panels mounted on flat roofs: Effect of geometric scale. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 206, 104339 (2020). https://doi.org/10.1016/j.jweia.2020.104339

[18] Mokhtar, N.O., Khan, S.R., Catarelli, R.A., Fernández-Cabán, P.L.: Sensitivity of wind-induced roof pressures near perimetric building parapets to low-frequency upstream turbulence. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 277, 106576 (2026). https://doi.org/10.1016/j.jweia.2026.106576

[19] County of Los Angeles, Department of Public Works: Submittal requirements for rooftop ballasted solar photovoltaic system (H009). Los Angeles (n.d.).

[20] Kruszka, L., Ostrowska, A.: Construction disaster hazard caused by a defective building structural survey. Civil and Environmental Engineering Reports 34(2), 193–203 (2024). https://doi.org/10.59440/ceer/190206

[21] Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties: Impactstudie zonnepanelen op daken [Impact study of solar panels on roofs]. Report 18330, Den Haag (2021).

[22] Sika: SikaRoof Anchor system in combination with solar roof systems. Technical information, p. 10. Sika AG, Baar (n.d.).

[23] ZinCo: Green roof ballast – information sheet. ZinCo GmbH, Nürtingen (2024).

[24] EJOT: Centrix – Electro-bonding system for flat roofs. Firemný prospekt, EJOT SE & Co. KG, Bad Berleburg (b. r.).

[25] Ceferino, L., Lin, N., Xi, D.: Bayesian updating of solar panel fragility curves and implications of higher panel strength for solar generation resilience. Reliability Engineering & System Safety 229, 108896 (2023). https://doi.org/10.1016/j.ress.2022.108896

[26] FEMA: Rooftop solar panel attachment: Design, installation, and maintenance. Hurricanes Irma and Maria in the U.S. Virgin Islands, Recovery Advisory 5. Federal Emergency Management Agency, Washington, DC (2018).

[27] Cayé, J.: Static friction coefficient with AeroFix and AeroFlat. IBC SOLAR, 17 February 2020.

[28] Verbond van Verzekeraars: More than 500 million euros in damage caused by February storms. Den Haag (2022).

[29] Solar Magazine: Belgische verzekeraar AG Insurance: veel schadegevallen zonnepanelen door storm Eunice [Veľa škôd na solárnych paneloch po búrke Eunice]. Solar Magazine, 24. 2. 2022.

[30] Noviny.sk: Zničené strechy a rozbité autá, škody zo živelnej pohromy odhadujú na 2 milióny eur. 16. 8. 2023.

[31] TASR/OTS: Allianz hlási extrémne leto. Teraz.sk, 27. 8. 2026.

[32] Elsworth, J., Van Geet, O., Kurnik, C., Salasovich, J.: Solar photovoltaic (PV) damage assessment after Typhoon Mawar: Findings and recommendations for resilient PV on Guam. NREL/TP-5R00-89629, National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO (2024).

[33] Solar Magazine: Zonnepanelen kapot door storm: bouwbedrijf moet schade vergoeden na foute installatie [Solárne panely zničené búrkou: stavebná firma musí nahradiť škodu po chybnej inštalácii]. Solar Magazine, 31. 8. 2024.

[34] de Jonge Baas, M.: Hoe overleven zonnepanelen op daken het Nederlandse stormseizoen? [Ako prežijú solárne panely na strechách holandskú sezónu búrok?]. Solar Magazine, 5. 1. 2024.

[35] Colonnade Insurance S.A., pobočka poisťovne z iného členského štátu: Popisy vybraných poistných udalostí na FV systémoch spôsobených vetrom. Podklad poskytnutý autorom, Košice (2026).

[36] Blackmore, P.: Wind loads on roof-mounted photovoltaic and solar thermal systems. BRE Digest DG 489, revised edition. BRE, Watford (2014).

[37] NEN 7250:2021: Zonne-energiesystemen – Integratie in daken en gevels – Bouwkundige aspecten. NEN, Delft (2021).

[38] SEAOC PV2-2017: Wind Design for Solar Arrays. Structural Engineers Association of California, Sacramento, CA (2017).

[39] VdS 3145:2017-11 Photovoltaikanlagen – Technischer Leitfaden. GDV, VdS Schadenverhütung, Köln (2017).

[40] ATN 011:2025: Fire safety of buildings – Buildings with photovoltaic power plants and electricity storage. Slovak Association for Passive Fire Protection, Banská Bystrica (2025).

[41] ROCKWOOL: Solarrock flat-roof insulation board, technical data sheet, issue 04/2026. Gladbeck (2026).

[42] Fleischmann, M.: Mounting systems blog series part 6: Flat roof heat insulation – how much of a burden can it handle? IBC SOLAR, 20 April 2017.

[43] IBHS: Inspection checklist for photovoltaic (PV) arrays on commercial roofs. Insurance Institute for Business & Home Safety, Richburg, SC (n.d.).

Článok je recenzovaný.