

Marek Pavlík, Dušan Medveď, Zsolt Čonka, Michal Kolcun, Samuel Bucko, Jozef Király

## Návrh riešenia technických problémov pri fotovoltaických elektrárnach

Tento príspevok sa zaoberá možnými technickými problémami, ktoré vznikajú pri návrhu stringovania fotovoltaických panelov. V praxi sa často stretávame s tým, že teplotné podmienky sú iné a tie ovplyvňujú parametre fotovoltaického panela. Údaje v technických listoch fotovoltaického panela sú často udávané pre podmienky STC, čo znamená pre teplotu 25 ° C, čo v praxi nie je možné dosiahnuť počas celej prevádzky fotovoltaickej elektrárne. Preto tento príspevok pojednáva o presnejšom výpočte počtu fotovoltaických panelov v stringu. Poukazuje na postup výpočtu pre príklad fotovoltaického panela a striedača.

Kľúčové slová: fotovoltaický panel; MPP bod; účinnosť fotovoltaického panela

This paper deals with possible technical problems that arise in the design of stringing photovoltaic panels. In practice, we often encounter that the temperature conditions are different and they affect the parameters of the photovoltaic panel. The data in the technical data sheets of the photovoltaic panel are often given for STC conditions, which means for a temperature of 25 ° C, which in practice cannot be achieved during the entire operation of the photovoltaic power plant. Therefore, this paper deals with a more accurate calculation of the number of photovoltaic panels in a string. It points out the calculation procedure for the example of a photovoltaic panel and an inverter. (**Proposal for solving technical problems in photovoltaic power plants**)

Keywords: photovoltaic panel; MPP point; efficiency of photovoltaic panel

### I. ÚVOD

Fotovoltaická energia je získavaná z najčistejšieho a najdostupnejšieho zdroja energie na Zemi, zo slnečnej energie. Slnečná energia sa premieňa na elektrickú buď nepriamo, kde sa energia premieňa na tepelnú a neskôr na elektrickú, alebo priamo pomocou fotovoltaických článkov.

Fotovoltaický článok je zariadenie, ktoré vyrába elektrickú energiu pri vystavení slnečnej energii. Funguje na princípe fotoelektrického javu, ktorý objasnil Albert Einstein a v roku 1921 za tento objav dostal Nobelovu cenu za fyziku. Fotovoltaické články boli prvýkrát vyvinuté a použité v 50 rokoch vo vesmírnom odvetví. Pre toto odvetvie je to najideálnejší zdroj energie vzhľadom na takmer neobmedzené množstvo slnečnej energie. V 21. storočí sú fotovoltaické články rozšírené do rôznych odvetví po celom svete. Od malých fotovoltaických panelov v kalkulačkách a v zväračských helmách cez osvetlenia reklám, napájanie domácností, až po veľké fotovoltaické elektrárne ktoré napájajú niekoľko tisíc domácností.

Najväčšou nevýhodou fotovoltaického panelu je jeho nízka účinnosť. Účinnosť bežne používaných panelov dosahuje v praxi maximálne 25%. V laboratórnych podmienkach sa dosahujú vyššie účinnosti, avšak pri prechode do komerčnej prevádzky je nutné znížiť náklady na prijateľnú hodnotu. Účinnosť sa zvyčajne meria pri štandardných skúšobných podmienkach: a to pri teplote okolia 25°C a intenzite svetla 1000W/m<sup>2</sup>. Toto sú laboratórne podmienky ktoré sú v praxi len málokedy dosiahnuté, teda účinnosť je v prevádzke nižšia ako pri skúšobných podmienkach[1].

Najpoužívanejší materiál na výrobu fotovoltaických článkov je kremík. Podiel na trhu je asi 86%. Kremík nie je jedovatý a je rozsiahlo využívaný v elektronike. Kremík je po kyslíku druhý najrozšírejší prvok na Zemi a teda je ľahko dostupný. Nevyskytuje sa však v čistej forme a tak sa musí získavať z roztaveného

kremikového piesku pri vysokých teplotách. Pre výrobu fotovoltaických panelov sa predovšetkým využíva kremikový odpad z priemyslu. Kremik je možné spracovať na monokryštalické alebo polykryštalické solárne články[1] [2].

### II. FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNE A ICH PRIPOJENIE K DISTRIBUČNEJ SÚSTAVE

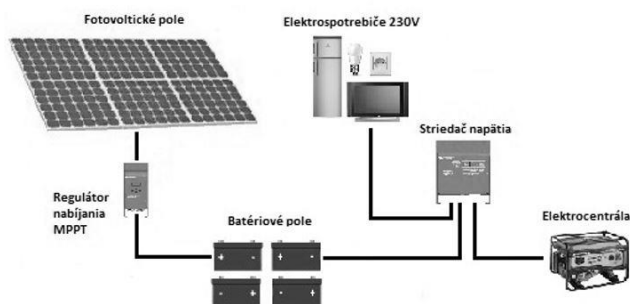
Fotovoltaická elektráreň je súbor vzájomne spolupracujúcich zariadení, ktoré premieňajú slnečnú energiu na elektrickú energiu. Táto energia sa následne využíva na napájanie jedného alebo viacerých zariadení, alebo sa uschováva v batériách a následne spotrebúva v čase nedostatku slnečného svetla. Podľa spôsobu pripojenia k sieti delíme fotovoltaické elektrárne na: [1] [2]

1. „Off-grid“ (systémy odpojené od siete = ostrovné systémy)
2. „Grid-connected“ (systémy pripojené k sieti)
  - 2.a „Distributed grid-connected“ (malé systémy pripojené k distribučnej sústave)
  - 2.b „Central grid-connected“ (veľké systémy pripojené k prenosovej sústave)
    - a) *Off-grid systémy*

V dnešnej dobe je prístup k distribučnej a prenosovej sústave takmer v každom meste, a takmer na každom mieste vo svete. Napriek tomu aj dnes je vo svete veľa oblastí a miest, kde nie je možné pripojenie na rozvodnú sieť. Sú to miesta, kde pripojenie k sieti je finančne veľmi nevýhodné alebo technicky nemožné. Preto sa musí energia vyrábať v mieste spotreby alebo v jej blízkosti. Najčastejšie sa v takýchto prípadoch využíva slnečná energia. Energiu je nutné skladovať pre prípad nedostatku zdroja energie (počas noci, oblačné počasie a podobne). Pre skladovanie tejto energie sa využívajú rôzne typy batérií, ktorých vývoj stále napreduje. Systém ktorý nie je pripojený na sieť sa nazýva Off-grid alebo ostrovný systém. Tento

musí obsahovať zariadenia pre výrobu, transformáciu, zmenu a uskladnenie energie[2] [3].

Malé ostrovné systémy môžeme vidieť napríklad: v kalkulačke so solárnym panelom, v reklamných billboardoch, vo svetelnej signalizácii a podobne. Off-grid systémy sú využívané aj pre napájanie výletných alebo malých súkromných lodí, chat a domov bez možnosti pripojenia na sieť. Ostrovné systémy sa používajú aj v lokalitách, kde malé mesto alebo dedina je vo veľkej vzdialenosti od distribučnej siete (napr.: vzdialené ostrovy, krajiny tretieho sveta alebo miesta Tundry). V týchto prípadoch by bolo finančne a stavebne náročné pripájať tieto oblasti na verejnú sieť. Preto sa takéto oblasti pripájajú na ostrovný systém. Princiipiálna schéma ostrovného systému so zálohou (elektrocentrála) je zobrazená na Obr.1.



Obr. 1. Princiipiálna schéma ostrovného systému so zálohou (elektrocentrála).

#### b) On-grid systémy

On-grid systémy sú fotovoltaické systémy pripojené do distribučnej alebo prenosovej sústavy. Výhodou tohto pripojenia je že vďaka pripojeniu k sieti nie je potrebné aby FV systém obsahoval batérie na uskladnenie prebytočnej energie. Namiesto toho sa energia posielala do siete a využíva sa inde v sústave. Navyše vo väčšine krajínach je za dodávanú energiu do siete zaplatená táto energia majiteľovi, čo môže znížiť návratnosť systému. V čase nedostatku slnečného svitu sa naopak energia dodáva zo siete a odkupuje. Avšak v čase nedostatku slnečného svitu teda večer a v noci je elektrická energia lacnejšia ako v čase špičiek. Takto pripojené systémy nemusia mať dostatok výkonu na pokrytie celej spotreby objektu. Môžu tak mať akýkoľvek výkon od niekoľko stoviek wattov až po niekoľko kilowattov. Tu je potrebné si overiť podmienky pripojenia k sieti. Niektorí prevádzkovatelia distribučných sietí majú ako podmienku maximálny možný výkon FV elektrárne[1] [3].

#### c) Hybridné systémy

Hybridné systémy v sebe zahrňujú kombináciu oboch vyššie spomenutých systémov. Na jednej strane sú pripojené do distribučnej sústavy, na druhej strane vyrobenú elektrickú energiu dodávajú pre vlastnú spotrebu. V prípade nedostatku vyrobenej elektrickej energie, tieto systémy dokážu dodávať potrebnú elektrickú energiu z distribučnej siete[1] [3].

### III. STRIEDAČE PRE FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY

Základnými prvkami FV elektrárne sú fotovoltaické panely, meniče napätia (invertory), zariadenia na optimalizáciu výkonu, zariadenia na meracie a monitorovacie činnosti, nosné konštrukcie, systémy naklápania za slnkom, spájacie káble, spájacie boxy na spájanie stringov do poľa, modulové spájacie boxy a rôzne ochrany. V prípade off-grid elektrárne aj batérie a regulátory nabíjania batérii. Menič napätia je najzákladnejšou súčasťou grid-connected systémov. Jeho úlohou je meniť jednosmerný prúd z fotovoltaických

panelov, na striedavý prúd a požadované napätie. Pri malých FVE je požadované napätie sieťové, a teda 230V alebo trojfázové 400V pri frekvencii 50Hz. Pri veľkých FVE ktoré sú pripájané na prenosovú sústavu, je toto napätie transformované na napäťovú hladinu akú má daný bod pripojenia.

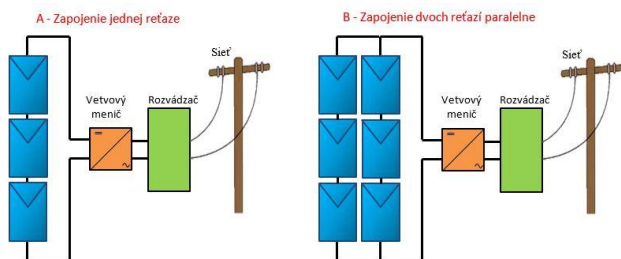
Existujú dva hlavné typy používaných meničov napätia. Prvým typom je lacnejšia verzia striedača ktorý funguje na princípe spínania tyristorov (mostíkový striedač). Ten je lacnejší, ľahší, menší a má vyššiu účinnosť. Nevýhodou je že neposkytuje galvanické oddelenie a môže púšťať malé množstvo jednosmerného prúdu do obvodu. Taktiež pri málo kvalitných meničoch môže byť problémom že negenerujú čistý sínusový priebeh ale priebeh je deformovaný. To môže spôsobovať poruchy na zariadeniach. Druhým, dominantnejším typom je menič napätia obsahujúci transformátor. Transformátor slúži jednak na zmenu napäťovej hladiny, ale v spolupráci s tyristormi aj na zmenu jednosmerného prúdu na striedavý. Spínaním tyristorov v sa mení smer prúdu vo vinutí transformátora v dôsledku čoho vzniká striedavé napätie. Na rozdiel od bez-transformátorových meničov tie s transformátorom poskytujú izoláciu (galvanické oddelenie) a nevstrekujú zložku jednosmerného prúdu do striedavého obvodu. Transformátory používané v meničoch sú buď vysokofrekvenčné alebo nízkofrekvenčné. Vysokofrekvenčné sú efektívnejšie a ľahšie, avšak ich výroba je komplikovanejšia [3].

Menič napätia v prípade off-grid systému s batériami je odlišný od bežne používaných meničov v prípade systému pripojeného do siete. Preto rozdeľujeme meniče napätia na:[4]

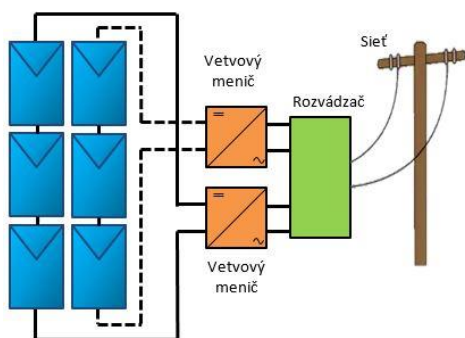
- batériový menič napätia – nie je napájaný z fotovoltaických panelov ale z batérii. Batérie sú nabíjané regulátorom napätia. Tento typ meniča sa označuje aj ako výkonový menič. Oproti sieťovému meniču je veľmi odlišný. Ich rozsah výkonu je zvyčajne od 1 kW do 5 kW.
- batériový menič s regulátorom dobíjania – je napájaný z FV systému a môže nabíjať batérie, transformovať napätie (buď z batérie alebo z FV systému) a napájať spotrebiče striedavého napätia v objekte, alebo môže el. energiu odovzdávať do siete.
- sieťový menič napätia – tento typ sa využíva výhradne na transformáciu napätia pre napájanie spotrebičov, alebo pre odovzdávanie elektrickej energie do siete. Slúži iba pre grid-connected systémy bez batérii. Menič automaticky prepína smer toku elektrickej energie, v prípade prebytku automaticky púšťa energiu do siete.

Fotovoltaické panely je možné medzi sebou spájať do rôznych zapojení. Podľa toho ako sú panely pospájané môžeme rozdeliť meniče na: vetvové, viacvetvové, centrálné a modulové.

Vetvový menič napätia sa využíva v prípade že sú moduly zapojené v sérii za sebou. Najčastejšie sa do série (reťazca/vetvy) pripája 3 až 5 modulov. V prípade viacerých modulov sa môžu takéto vetvy (reťazce) buď zapojiť paralelne k jednému vetvovému meniču (Obr.2 - zapojenie B), alebo sa každá vetva pripojí na samostatný vetvový menič (Obr.3). Výhodou zapojenia aké vidíme na obrázku 9 zapojenie B je nižšia cena, ale nevýhodou je že pri zatičení jedného reťazca (alebo jeho poškodení) sa zníži výstup z celého poľa. Rovnako aj pri poškodení meniča vypadáva celé pole a nie je schopné dodávať elektrickú energiu. Nevýhody jedného meniča, pre zapojenie viacerých paralelných vetiev, môžeme eliminovať použitím samostatných meničov pre každú vetvu (Obr.3). Toto zapojenie má navyše výhodu v tom že v prípade rôzneho oslnenia, respektíve zatičenia jednotlivých reťazi nie je ovplyvnené celé pole. Nevýhodou je vysoká cena meničov.



Obr. 2. Možnosti zapojenia reťazcov do jedného vetvového meniča[3].



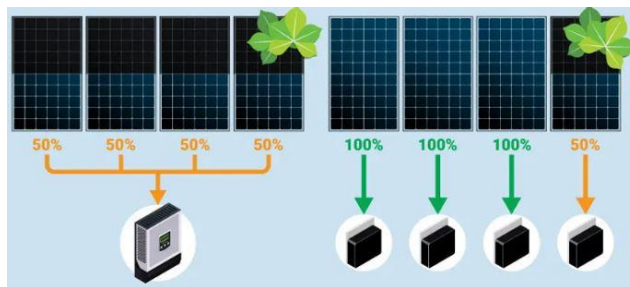
Obr. 3. Zapojenie každej vetvy na samostatný menič napätia[3].

Ďalšou alternatívou v prípade viacerých vetiev je použitie takzvaného viacvetvového meniča napätia. Tento menič má viacero vstupov pre sledovanie bodu maximálneho výkonu (MPPT), ale iba jeden menič. Vďaka tomu môže optimalizovať výkony jednotlivých vetiev a tým dosahovať čo najlepší výkon. Napríklad na obľubej streche má každá reťaz iný uhol natočenia a teda aj inú koncentráciu svetla, tu je veľmi výhodné použiť takýto menič napätia. Viacvetvový menič napätia je lacnejšou alternatívou ako použitie viacerých samostatných vetvových meničov.

Centrálny menič napätia (Central inverter) je veľmi podobný vetvovému meniču napätia, ktorý obsahuje viac paralelných vetiev (viď. Obr. 2). Avšak centrálny menič napätia sa používa v prípade veľkých počtov paralelných vetiev a zvyčajne sa využíva pre inštalované výkony väčšie ako 10kW. Takéto veľké plochy reťazí sú väčšinou umiestnené na rozsiahlych poliach alebo strechách veľkých závodov. Tam sa uvažuje rovnaké osvetlenie (respektíve zatienenie), pre celé polia panelov a preto je ich možné zapojiť na spoločný centrálny menič napätia. Výkon sa tak neoptimalizuje pre jednotlivé vetvy ale pre celé pole, kde pole predstavuje rovnako dlhé reťaze zapojené paralelne. Centrálny menič môže byť buď jeden veľký menič ktorý stačí pre celé pole, alebo je tvorený napríklad budovou (miestnosťou) v ktorej je viacero menších viacvetvových meničov, kombinujúcich jeden elektrický výstup. Napríklad pre potrebu 100kW systému sa zapojí 5 meničov napätia s výkonom 20kW a podobne. Niektorí výrobcovia vyvíjajú centrálny menič napätia tak, že pozostávajú z viacerých menších meničov pracujúcich selektívne v závislosti od množstva vyrábanej energie, čo zväčšuje ich efektívnosť.

Posledným typom striedača je modulový menič napätia. Pod týmto pojmom rozumieme zariadenie malého výkonu ktoré je inštalované zväčša na zadnej strane modulu. Každý modul tak má svoj vlastný malý menič napätia a to znamená že sa optimalizácia pracovného bodu nastavuje pre každý modul zvlášť. To znamená že prípadným zatienením jedného panela sa neznižuje výkon celej vetvy ako v

prípade vetvového meniča, ale len výkon daného panela (Obr.4). Výhodou je aj absencia potreby jednosmerných rozvodov, pretože z meniča sa už vedie striedavý obvod. Jednotlivé meniče sa medzi sebou pripájajú paralelne. Nevýhodou je umiestnenie meniča napätia na zadnej strane, čo v prípade poruchy meniča môže predstavovať problém, pretože sa modul zvyčajne musí demontovať. Ďalšou nevýhodou je že menič môže byť vystavený vysokým teplotám, ktoré jeho prevádzku negatívne ovplyvňujú a môžu ho poškodiť.



Obr. 4. Porovnanie vetvového meniča (vľavo) a modulových meničov (vpravo) [5].

V Tab.1 je možné vidieť porovnanie typov striedačov, ktoré boli skôr popísané.

TABUĽKA I  
Porovnanie rôznych typov striedačov

Typ	Modulový	Vetvový	Viacvetvový	Centrálny
Výkon	100 - 300 W	0,7 – 11 kW	2 – 17 kW	10 – 300 kW
MPPT	Áno	Áno	Viacero	Viacero
Účinnosť	95 %	93 – 97 %	97 %	97 %
Výhody	Žiaden DC obvod; Ľahké prídanie ďalších modulov	Prístupnosť	Viacero MPPT; Prístupnosť	Cena; Všetko na jednom mieste
Nevýhody	Neprístupnosť	Iba jeden MPPT pre celú vetvu	Cena	Zlyhanie meniča = 0 výkon poľa

#### IV. TECHNICKÉ PROBLÉMY PRI NÁVRHU FOTOVOLTAICKEJ ELEKTRÁRNE

Pre správny návrh elektrárne je nutné okrem zadefinovania požadovaného výkonu, vyhotoviť aj všetky potrebné výpočty, pre správnu funkciu a prevádzku elektrárne. Taktiež je nutné vytvoriť aj ekonomické vyhodnotenie elektrárne a posúdiť vplyv rôznych faktorov a technických porúch na elektráreň.

Zapojenie elektrárne musí byť správne navrhnuté, aby bol výkon elektrárne čo najvyšší počas celej životnosti elektrárne. Nesprávnym pospájaním fotovoltaických panelov do vetiev a polí môže spôsobiť poškodenie niektorého zo zariadení. Poškodenie zariadenia alebo iných súčasti elektrárne, napríklad preťaženie káblov môže spôsobiť požiar, ktorý by okrem elektrárne mohol spôsobiť aj ďalšie škody na majetku alebo ujmu na zdraví zvierat alebo ľudí.

Z týchto dôvodov je nutný správny návrh elektrárne a správne dimenzovanie panelov voči meniču napätia. Vo všeobecnosti platí že výkon meniča by mal čo najbližšie alebo rovný výkonu FV poľa. Čím menší je rozdiel medzi výkonmi tým vyššia je prevádzková účinnosť

meniča napätia. Okrem toho musí byť zabezpečené aby sa menič a FV pole zhodovali z hľadiska napätí, prúdov a energií, aby sa zabezpečila bezproblémová prevádzka.

Podľa programu PV\*SOL je minimálna teplota pre oblasť Košíc - 13°C a maximálna teplota je 37°C. Táto teplota je nutná pre výpočet maximálneho a minimálneho napätia panelov, nakoľko teplota okolia a teda teplota panelov pôsobí na výkonovú krivku. Ďalej bude uvažované s FV panelom s týmito parametrami:

TABUĽKA II  
Parametre FV panela

$P_{MAX}$ (W)	$\xi_P$ (%)	$I_{MP}$ (A)	$U_{MP}$ (V)	$I_{SC}$ (A)	$U_{OC}$ (V)	$kt_{ISC}$ (%/°C)	$kt_{UOC}$ (V/°C)	$kt_{P_{MAX}}$ (%/°C)	$U_{S_{MAX}}$ (V)
250	15,33	8,17	30,7	8,68	37,8	0,03	-0,123	-0,44	1000

- $P_{MAX}$  – Maximálny výkon panela
- $\xi_P$  – Maximálna účinnosť panela
- $I_{MP}$  – Prúd v bode maximálneho výkonu (MPP)
- $U_{MP}$  – Napätie v bode maximálneho výkonu (MPP)
- $I_{SC}$  – Skratový prúd (short circuit)
- $U_{OC}$  – Napätie naprázdno (open circuit)
- $kt_{ISC}$ ;  $kt_{UOC}$ ;  $kt_{P_{MAX}}$  – Teplotné koeficienty prúdu; napätia; výkonu
- $U_{S_{MAX}}$  – Maximálne systémové napätie.

Parametre striedača s ktorým bolo uvažované:

TABUĽKA III  
Parametre striedača

Počet DC vstupov / počet MPP sledovačov	MPPT	3/3
Maximálny odporúčajúci výkon na DC strane	$P_{DC}$	11 kW
Maximálne vstupné napätie (naprázdno)	$U_{MAX}$	950 V
Minimálne vstupné napätie	$U_{MIN}$	180 V
Začínajúce vstupné napätie	$U_{START}$	180 V
Nominálne napätie	$U_N$	680 V
Maximálne MPP napätie (vrchná hranica rozsahu regulácie MPP)	$U_{MPP\_MAX}$	850 V
Minimálne MPP napätie (spodná hranica rozsahu regulácie MPP)	$U_{MPP\_MIN}$	180 V
Maximálny vstupný prúd pri paralelnom zapojení	$I_{MAX}$	25 A

Vonkajšia teplota ovplyvňuje teplotu panela. Vplyvom teploty sa mení napätie panelov a to spôsobuje aj zmenu výkonu. Preto je nutné určiť napätie panela pri maximálnej aj minimálnej teplote okolia. Nedodržaním povoleného rozsahu napätia, by mohlo dôjsť k častému odpájaniu meniča napätia pri vysokých alebo nízkych teplotách.

Výpočet maximálnej teploty panela ( $t_{p_{MAX}}$ ):

$$t_{p_{MAX}} = t_{MAX} + \Delta t_p = 37^\circ C + 25^\circ C = 62^\circ C \quad (1)$$

Kde:

$t_{MAX}$  je maximálna teplota okolia v oblasti Košíc

$\Delta t_p$  je zvýšenie teploty panela vplyvom slnečného svetla

Výpočet minimálnej teploty panela ( $t_{p_{MIN}}$ ):

$$t_{p_{MIN}} = t_{MIN} + \Delta t_p = -13^\circ C + 0^\circ C = -13^\circ C \quad (2)$$

Kde:

$t_{MIN}$  je minimálna teplota okolia v oblasti Košíc

$\Delta t_p$  je zvýšenie teploty panela vplyvom slnečného svetla

Zvyšovaním teploty panela jeho napätie klesá. Panel tak dosiahne maximálne napätie pri minimálnej teplote panela ( $t_{p_{MIN}}$ ). Hodnota napätia naprázdno je podľa parametrov panela:  $U_{OC} = 37,8$  V. Táto

hodnota napätia je však udaná pri štandardných testovacích podmienkach (STC – standard test conditions) kde teplota okolia a panela je 25°C. Preto je nutné túto hodnotu prepočítať. Následne vypočítame o koľko sa zmení napätie pri zmene teploty. Výsledne napätie je súčtom napätia naprázdno a zmeny napätia pri zmene teploty o  $\Delta t$ .

Rozdiel medzi teplotou pri STC a minimálnou teplotou v oblasti KE ( $\Delta t$ ):

$$\Delta t = t_{p_{MIN}} + t_0 = -13^\circ C + 25^\circ C = 12^\circ C \quad (3)$$

kde  $t_0$  je teplota pri STC

Zmena napätia pri zmene teploty o hodnotu  $\Delta t$  ( $\Delta U$ ):

$$\Delta U = \Delta t \cdot |kt_{U_{OC}}| = 12^\circ C \cdot 0,123 V/^\circ C = 1,476 V \quad (4)$$

kde  $kt_{U_{OC}}$  je teplotný koeficient zmeny napätia naprázdno.

Maximálna hodnota napätia panela ( $U_{p_{MAX}}$ ):

$$U_{p_{MAX}} = U_{OC} + \Delta U = 37,8 V + 1,476 V = 39,276 V \quad (5)$$

Minimálne napätie bude na svorkách panela v čase keď je jeho teplota maximálna v rámci danej oblasti. Maximálna teplota okolia je +37°C. Avšak pri dopade slnečných lúčov na panel sa panel ohrieva na vyššiu teplotu ako je teplota okolia. Vypočítaná maximálna teplota panela je  $t_{p_{MAX}} = 62^\circ C$ . Zníženie napätia budeme uvažovať pri napätí  $U_{MP}$ . Avšak keďže parametre panela neobsahujú informáciu o teplotnom koeficiente pre  $U_{MP}$ , musíme zistiť koeficient zmeny  $U_{MP}$  z koeficientu zmeny pre výkon ( $kt_{P_{MAX}}$ ) a prepočítať ho na napätie. Ďalej pokračuje výpočet obdobne ako v prípade maximálneho napätia. Zmena napätia ( $\Delta U$ ) bude mať zápornú hodnotu nakoľko sa napätie zvyšovaním teploty znižuje.

Výpočet teplotného koeficientu pre napätie maximálneho výkonu ( $kt_{U_{MP}}$ ):

$$kt_{P_{MAX}} = kt_{P_{MAX}} / 100 - 0,44\% \cdot 100 = -0,0044 \quad (6)$$

$$kt_{U_{MP}} = kt_{P_{MAX}} \cdot U_{MP} = -0,0044^\circ C^{-1} + 30,7 V = -0,13508 V/^\circ C$$

Rozdiel medzi teplotou pri STC a maximálnou teplotou v oblasti KE ( $\Delta t$ ):

$$\Delta t = t_{p_{MAX}} - t_0 = 62^\circ C - 25^\circ C = 37^\circ C \quad (7)$$

Zmena napätia pri zmene teploty o hodnotu  $\Delta t$  ( $\Delta U$ ):

$$\Delta U = \Delta t \cdot kt_{U_{MP}} = 37^\circ C \cdot (-0,13508 V/^\circ C) = -4,998 V \quad (8)$$

Minimálna hodnota napätia panela ( $U_{p_{MIN}}$ ):

$$U_{p_{MIN}} = U_{MP} + \Delta U = 30,7 V + (-4,998 V) = 25,702 V \quad (9)$$

Rozsah napätia ktoré môže panel dosiahnuť v oblasti Košíc, je tak od 25,702 V do 39,276 V.

Poznať minimálny počet panelov vo vetve je dôležitý pre správnu funkciu meniča napätia. Pri malom počte panelov, by ich súčet napätí bol pod minimálnou hodnotou napätia meniča. To by spôsobilo to, že menič by ostal odpojený od siete a elektrárň by tak nedodávala žiaden výkon.

Keďže v DC obvodoch vznikajú straty, tak sa vytvorí aj úbytok napätia na rozvodoch DC. Tento úbytok napätia je vo všeobecnosti asi 1% z napätia panelov. Teda hodnotu minimálneho napätia panela ( $U_{p_{MIN}}$ ) je nutné vynásobiť číslom 0,99 aby sme dostali najnižšiu hodnotu napätia na vstupe do meniča napätia.

Minimálne napätie s uvažovaním úbytku napätia na DC obvodoch ( $U_{MIN-DC}$ ):

$$U_{MIN-DC} = U_{p_{MIN}} \cdot 0,99 = 25,702 V \cdot 0,99 = 25,445 V \quad (10)$$

Minimálne napätie meniča s uvažovanou rezervou výkonu 10%:

$$Um_{MIN} = U_{MIN} \cdot 1,1 = 180V \cdot 1,1 = 198V \quad (11)$$

Minimálny počet panelov vo vetve ( $n_{MIN}$ ):

$$n_{MIN} = Um_{MIN}/U_{MIN-DC} = 198V/25,445V = 7,78 \Rightarrow 8 ks \quad (12)$$

Najmenšie množstvo panelov vo vetve, pre dosiahnutie požadovaného minimálneho napätia na meniči, je 7,78. Uvažujeme tak najbližšie celé vyššie číslo a to je 8 kusov.

Prekročením maximálneho počtu sériovo zapojených panelov vo vetve, by nastalo prekročenie maximálnej hodnoty napätia na DC strane meniča. To by malo za následok spustenie ochranných prvkov meniča a jeho odstavenie z prevádzky. Tým by sa odstavila celá elektrárňa alebo celé pole panelov napojených na tento menič. Preto je nutné poznať maximálne napätie panelov zapojených do série, teda ich maximálny počet. V tomto prípade sa úbytok napätia na DC strane neuvažuje aj keď reálne vzniká. Dôvodom je že pre výpočet potrebujeme uvažovať čo najnižší, ideálne žiaden úbytok napätia, aby bolo maximálne napätie čo najvyššie a teda aj rezerva je vyššia.

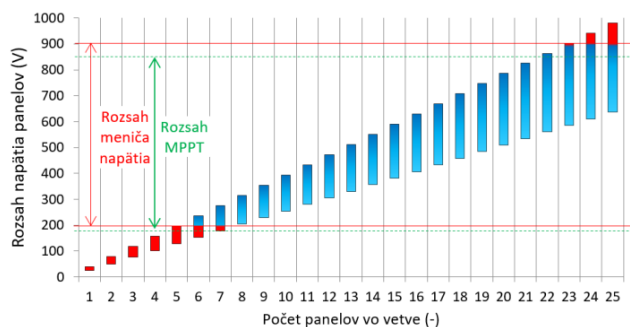
Maximálne napätie meniča s uvažovanou rezervou výkonu 5%:

$$Um_{MAX} = U_{MAX} \cdot 0,95 = 950V \cdot 0,95 = 902,5V \quad (13)$$

Maximálny počet panelov vo vetve ( $n_{MAX}$ ):

$$n_{MAX} = Um_{MAX}/U_{P_{MAX}} = 902,5V/39,276V = 22,98 \Rightarrow 22 ks \quad (14)$$

Vypočítané množstvo panelov zaokrúľujeme na najbližšie celé číslo smerom nadol. Do série je tak možné pripojiť najviac 22 kusov panelov. Avšak pred zapojením je nutné overenie rozsahu MPPT. Výsledkom je že MPPT rozsah už nepovoľuje 22 panelov v sérii ale iba 21. Povolný rozsah počtu panelov zapojených v jednej vetve je tak 8 až 21 panelov. Obr. 5 zobrazuje rozsah napätí vetiev, podľa počtu zapojených panelov a tiež hranice maximálneho a minimálneho napätia meniča.



Obr. 5. Možné dĺžky vetiev podľa krajných hodnôt meniča napätia.

## V. ZÁVER A DISKUSIA

Tento príspevok pojednáva o technických problémoch pri realizácii fotovoltaických elektrárníach. Pri realizácii sa často stretávame s problémom stringovania, pričom väčšinou sa stringovanie definuje podľa základných parametrov fotovoltaického panela a striedača.

Tento príspevok poukazuje na to, že je potrebné sa zaoberať výpočtom počtu panelov v stringu na základe technických údajov fotovoltaického panela a striedača a neuvažovať len s technickými údajmi bez výpočtu. Dôvodom je to, že vypočítané hodnoty sú presnejšie. Ak by bol výpočet počtu panelov v stringu definovaný len na základe technických údajov, mohlo by sa stať, že v praxi budú mať fotovoltaické panely vplyvom teploty odlišné parametre. Dôvodom je to, že technické údaje pre fotovoltaický panel sú zadefinované pre určité teplotné podmienky – prevažne pre 25 ° C. Avšak v praxi sa často stretávame s tým, že okolitá teplota je značne odlišná od teploty 25 ° C.

## POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore projektu APVV-19-0576 „Sebestačnosť elektroenergetiky v podmienkach liberalizovaného trhu s elektrinou“.

## LITERATÚRA

- [1] G. Stapleton and S. Neill, "Grid-connected Solar Electric Systems," 2011, pp.244. ISBN: 978-1-84971-344-3.
- [2] R. Haselhuhn, "Fotovoltaika – Budovy jako zdroj proudu," online, 2010, pp. 33, ISBN: 978-80-86167-33-6.
- [3] EU-Power, "Fotovoltaické panely na výrobu elektrickej energie," online, 2021. Dostupné na: <https://eu-power.sk/fotovoltaika/fotovoltaicke-panely/>
- [4] Dan Hahn, "What are microinverters?," online, 2020. Dostupné na <https://www.solarreviews.com/blog/what-are-microinverters>
- [5] Web Group s.r.o., "Delenie fotovoltaických článkov," 2015, online, Dostupné na: <https://www.stavebnik.sk/clanky/delenie-fotovoltaickych-clankov-.html>.

## ADRESY AUTOROV

Marek Pavlík, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, [marek.pavlik@tuke.sk](mailto:marek.pavlik@tuke.sk)  
 Dušan Medved, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, [dušan.medved@tuke.sk](mailto:dušan.medved@tuke.sk)  
 Zsolt Čonka, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, [zsolt.conka@tuke.sk](mailto:zsolt.conka@tuke.sk)  
 Michal Kolcun, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, [michal.kolcun@tuke.sk](mailto:michal.kolcun@tuke.sk)  
 Samuel Bucko, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, [samuel.bucko@tuke.sk](mailto:samuel.bucko@tuke.sk)  
 Jozef Király, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, [jozef.kiraly@tuke.sk](mailto:jozef.kiraly@tuke.sk)