

Porovnanie fotovoltických systémov z pohľadu výroby elektrickej energie

¹Peter SARAKA, ²Marek PAVLÍK

¹ Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická Univerzita v Košiciach, Slovenská Republika.

¹peter.saraka@student.tuke.sk, ²marek.pavlik@tuke.sk

Abstrakt— Predkladaný príspevok pojednáva o návrhu fotovoltického systému pre rodinný dom. Príspevok porovnáva tri typy fotovoltických panelov – monokryštalický, polykryštalický a amorfný. Zároveň sa článok venuje ich vzájomnému porovnaniu z pohľadu množstva vyrobenej elektrickej energie. Simulácie boli realizované pre rôzne svetové strany a pre rôzne skony fotovoltických panelov. Výsledkom je potvrdenie nasledujúcich faktov. V našich podmienkach dosahujú fotovoltické panely najvyššie množstvo vyrobenej elektrickej energie pri orientácii na juh so sklonom 30 stupňov.

Kľúčové slová— PV SOL, OZE, softvér pre návrh OZE

I. ÚVOD

Nárast spotreby elektrickej energie a rozvoj vedy a techniky vedie k čoraz väčšiemu záujmu o výrobu elektrickej energie z alternatívnych zdrojov. Znižujúce sa zásoby vyčerpatelných zdrojov energie nútia verejnosť premýšľať o možnostiach využitia obnoviteľných zdrojov energie ako sú slnko, voda, vietor a biomasa. Slnko a jeho žiarenie je zdrojom s obrovským potenciálom pre ľudstvo a bez neho by nebol život na zemi. V posledných rokoch nastal veľký rozvoj v oblasti využitia energie slnka a výroby elektrickej energie z neho. Hlavnou výhodou využívania tejto energie je jej možnosť využitia takmer na každom mieste. V posledných rokoch sa stále zvyšujú možnosti rozvíjania nových technológií využívania slnečnej energie a zvyšovania účinnosti premeny slnečnej energie na iný druh energie [1].

Obnoviteľné zdroje energie majú perspektívu danú existenciou Slnka so zachovaním termodynamickej rovnováhy na Zemi. Medzi takéto zdroje patrí slnečná, veterná, vodná, geotermálna a energia biomasy. V súčasnosti rozvoj využitia týchto zdrojov rastie a pre budúce generácie majú nenahraditeľný význam, keďže zásoby fosílnych palív a jadrového paliva klesajú. Hlavnou výhodou OZE je ich neustála obnova daná existenciou slnka, ekologickosť a možnosti spojené s princípom trvalo udržateľného rozvoja. Veľa krajín v dôsledku energetických problémov prechádzajú k čoraz vyššiemu podielu využívania práve OZE. Slnečná energia má mnohonásobnú kapacitu využitia pre energetické potreby ľudstva tejto planéty[1][2].

Slnečná energia je prúd elektromagnetického žiarenia v tomto prípade nazývaného ako slnečné žiarenie vysielané z povrchu slnka na osvetlenú stranu Zeme. Slnko môžeme považovať za čierne teleso, ktoré podľa Planckovho zákona vyžaruje energiu v celom rozsahu vlnových dĺžok odpovedajúcich vyžarovaniu čierneho telesa, z ktorého na Zem dopadne najviac energie v oblasti viditeľného žiarenia. Výkon Slnka je približne 4×10^{26} W, no na atmosféricky obal Zeme dopadne len malá časť tejto energie, ktorá sa nazýva solárna konštanta a činí priemerne $1\,367$ W/m². Pri prechode atmosférou sa táto hodnota znižuje a pri peknom slnečnom počasí na povrch zeme dopadne v čase najväčšej intenzity približne $1\,000$ W/m². Platí že najvyšší tok slnečného žiarenia za rok dopadá na územie okolo rovníka a smerom k pólom táto hodnota klesá. Pre Slovensko tok slnečného žiarenia je približne $1\,055$ kWh/m² za rok, z toho najväčšia časť dopadne v letných mesiacoch[1][3][4].

II. ROZDELENIE FOTOVOLTICKÝCH SYSTÉMOV

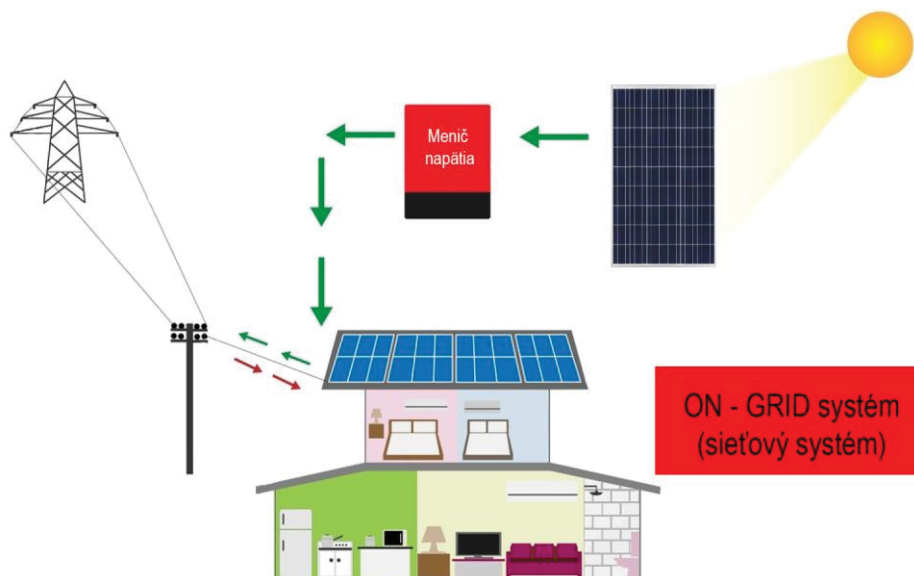
FV systémy sa môžu podľa účelu použitia rozdeliť na 3 základné skupiny.

Systém On-grid dodáva vyrobenú elektrickú energiu do elektrickej siete. FV panely sú cez

sieťový striedač a elektromer pripojené do verejnej elektrickej siete. Tento systém je určený pre priamu dodávku elektrickej energie do elektrickej siete. Dodávaný výkon sa pohybuje v jednotkách kilowattov až megawattov [1][3].

Systém Off-grid sa používa v oblastiach kde nie je dostupná verejná elektrická sieť. FV panely sú pripojené k regulátoru nabíjania na batériu, ďalej nasleduje striedač pre zmenu jednosmerného napätia na striedavé ku ktorému je napojený objekt pre ktorý vyrába daný FV systém energiu [1][3].

Hybridný systém je kombinácia systémov on-grid a off-grid (Obr. 1). Tento systém vyrába elektrickú energiu pre zvolený objekt a pri jej nedostatku odoberá energiu z verejnej elektrickej siete. Pri prebytku vyrobenej elektrickej energie môže systém dodávať energiu do verejnej elektrickej siete [1][3].



Obr. 1 Hybridný fotovoltický systém[1]

Kremík, surovina potrebná pre výrobu FV článkov je po kyslíku najčastejšie sa vyskytujúci prvkom na Zemi. Čistý kremík sa získava z kremičitého piesku, chemicky je kremeň oxid kremičitý SiO_2 a aby sme z neho mohli získať čistý kremík, musia sa z kremeňa odstrániť atómy kyslíka za prítomnosti vysokých teplôt. Chemicky čistý kremík sa získa ďalšími chemickými úpravami na požadovanú čistotu. Najčastejšie používanými typmi FV článkov sú monokryštalický, polykryštalický a amorfný FV článok [1][2][3].

Prvá generácia fotovoltických článkov

V súčasnosti je to najrozšírenejšia technológia výroby kryštalických kremíkových článkov s pomerne vysokou účinnosťou premeny energie. Ich výroba je pomerne drahá.

Monokryštalické články sú základným typom FV článkov vyrábajúce sa z vysokočistého monokryštalického kremíka. Tento kremík sa vyrába Czochralskeho metódou, ktorá je značne technicky i energeticky náročná. Účinnosť týchto článkov v sériovej výrobe sa pohybuje približne 15 % až 17 %.

Polykryštalické články sa vyrábajú odlievaním čistého kremíku do ingotových foriem a rezaním na tenké plátky. V súčasnosti sú to najpoužívanejšími typmi FV článkov hoci majú horšie elektrické vlastnosti ako monokryštalické články. Ich účinnosť sa pohybuje približne 13 % až 16 % [1][2][3].

Články vyrobené z Arzenidu Gália (GaAs) majú vyššiu účinnosť ako kremíkové články. Ich účinnosť sa pohybuje aj nad 20 % no ich nevýhodou sú vyššie výrobné náklady. Ich veľkou výhodou je že pri vyšších teplotách ne strácajú výkon tak výrazne ako kryštalické kremíkové články.

Druhá generácia fotovoltických článkov

Do tejto generácie patria tenko vrstvé články, kvôli znižovaniu nákladov na ich výrobu. Tieto články sa vyznačujú nižšou účinnosťou premeny energie oproti článkom prvej generácie.

Základným materiálom tenko vrstevných článkov je Amorfný kremík (a-Si). Vyrába sa chemickým odlučovaním pri teplotách 200 °C z plynného silanu. Tieto články majú vyšší absorpčný koeficient slnečného žiarenia a vďaka ich tenkej vrstve sú dostatočne pružné a ohybné. Nevýhodou týchto článkov je ich pomerne malá účinnosť pohybujúca sa okolo 7 %.

Články vyrábané na báze Teluridu Kadmnatého (CdTe) sa vyrábajú zo zlúčeniny kadmia a telúru. Vylučovanie polovodičových vrstiev prebieha pri teplote 700°C vákuovou metódou.

Tieto články majú vyššiu účinnosť ako amorfne články a ich účinnosť sa pohybuje približne 9 % až 11 %. Ďalšou výhodou je že vplyvom zvýšenej teploty nestrácajú svoj výkon.

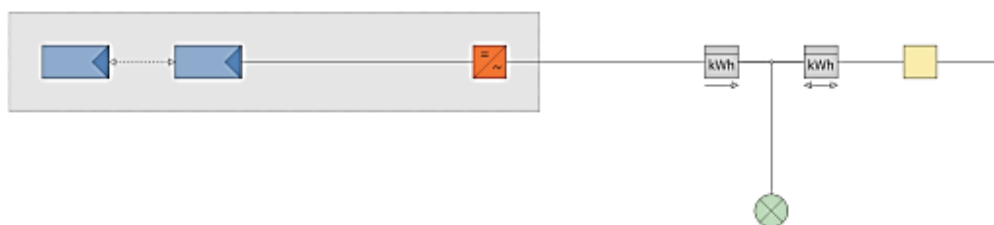
Články CIS (Copper-Indium-diSelenid) v súčasnosti dosahujú účinnosť okolo 11 %. Tieto články sa vyrábajú naparovacou technológiou vo vákuovom prostredí pri teplote asi 500°C [1][2][5].

Tretia generácia fotovoltaických článkov

Tretia generácia FV článkov prináša snahu o čo najvyššiu efektivitu absorpcie fotónov a tým čo najlepší výkon článkov. V súčasnosti medzi najpokročilejšie články patria viacvrstvové a koncentrátorové články. Viacvrstvové články využívajú viac vrstiev, pričom každá časť využíva určitú časť spektra slnečného žiarenia. V súčasnosti sú najdostupnejšími typmi tenko vrstvové články, v ktorých jedna vrstva je tvorená amorfným a druhá mikrokryštallickým kremíkom (a-Si/ μ c-Si). Účinnosť týchto článkov v súčasnosti je približne 11 %, výhodou je menšia počiatočná degradácia [1][2][3].

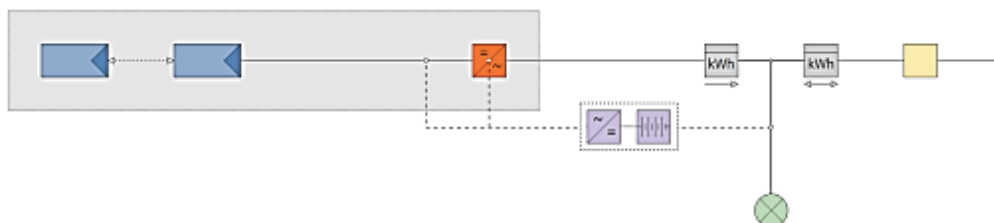
III. NÁVRH FOTOVOLTICKÉHO SYSTÉMU

Návrh fotovoltaického systému bol realizovaný v programe PV Sol. V menu programu PV SOL sa ako prvé vyberie typ FV systému. Pri návrhu sa budú využívať dva typy systému pričom oba budú pripojené do 3 fázovej elektrickej siete s fázovým napätím 230 V. Ako prvý typ FV systému sa zvolí Grid-connected PV System with Electrical Appliances, čo predstavuje FV systém pripojený do elektrickej siete s elektrickými spotrebičmi (Obr. 2).



Obr. 2 FV systém pripojený do elektrickej siete s elektrickými spotrebičmi

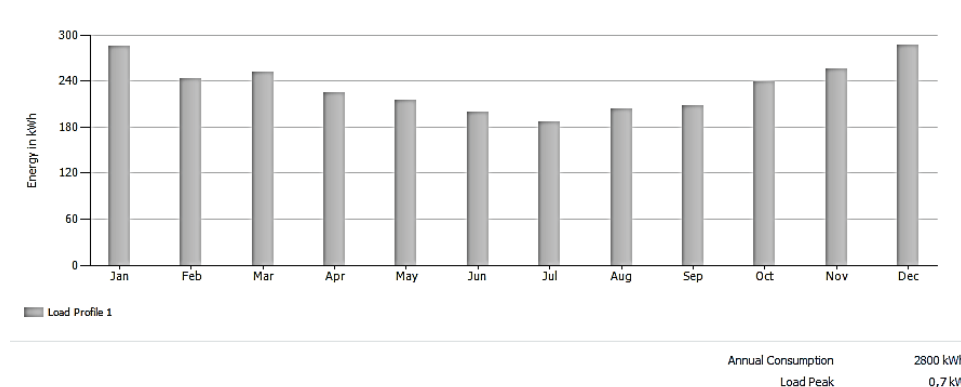
Ako druhý typ FV systému je možné zvoliť Grid-connected PV System with Electrical Appliances and Battery System, čo predstavuje FV systém pripojený do elektrickej siete s elektrickými spotrebičmi a batériovým systémom (Obr. 3). Tento systém ale nie je predmetom tohto článku.



Obr. 3 FV systém pripojený do elektrickej siete s elektrickým spotrebičmi a batériovým systémom

Výroba elektrickej energie FV systémom je závislá od klimatických podmienok v ktorých daný systém pracuje. Ďalším krokom pred samotným simulovaním je definovanie klimatických podmienok v programe. Umiestnenie objektu rodinného domu je zadané v programe ako mesto Hanušovce nad Topľou v Prešovskom kraji Slovenska. Po definovaní miesta umiestnenia objektu program PV SOL určí klimatické podmienky pre celý rok prevádzky FV systému. V tomto prípade ročná hodnota globálneho slnečného žiarenia je 1130 kWh/m² a priemerná ročná teplota je 9,2 °C.

Dôležitým údajom pri návrhu FV systému je spotreba elektrickej energie. Za obdobie jedného kalendárneho roka je spotreba elektrickej energie pre daný rodinný dom približne 2800 kWh. V programe je možné definovať zaťaženie na základe ročnej spotreby elektrickej energie a program nám následne vypočíta spotrebu v jednotlivých mesiacoch a špičku zaťaženia. V tomto návrhu program vypočítal ako špičku zaťaženia 0,7 kW čo v skutočnosti môže občasne byť aj vyššia hodnota (Obr. 4).



Obr. 4 Graf spotreby elektrickej energie

IV. VÝSLEDKY

V tejto časti bude porovnávaná výroba elektrickej energie pomocou rôznych panelov s rôznou svetovou orientáciou a s rôznym sklonom natočenia panela. Cieľom bude porovnať výrobu elektrickej energie FV panelmi v daných klimatických podmienkach. Z knižnic programu boli vybrané 3 typy panelov. Celkový inštalovaný výkon pri porovnaní výroby elektrickej energie je 2 kW a porovnáva sa výroba pre orientáciu smerom na sever (0°), východ (90°), juh (180°) a západ (270°). Sklon natočenia panela je 0° až 90° s krokom 15° . Výsledky simulácií výroby elektrickej energie pre monokryštalický, polykryštalický a amorfný panel sú uvedené v nasledujúcich tabuľkách.

Výroba elektrickej energie monokryštalickým panelom pri rôznej svetovej orientácii a rôznom sklone panela pre inštalovaný výkon 2 kW je uvedená v nasledujúcej tabuľke (Tab. 1).

Tab. 1 Výroba elektrickej energie pre monokryštalický panel

Orientácia panela	Sklon panela						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
Sever 0°	1814	1567	1301	1046	841	732	637
Východ 90°	1814	1740	1658	1553	1420	1258	1073
Juh 180°	1814	1979	2045	2013	1882	1657	1360
Západ 270°	1814	1855	1847	1787	1672	1510	1308

Zo simulácie vyplýva, že najvyššia výroba elektrickej energie je pri južnej svetovej orientácii pri 30° sklone panela. Výroba elektrickej energie polykryštalickým panelom pri rôznej svetovej orientácii a rôznom sklone natočenia panela pre inštalovaný výkon 2 kW je uvedená v nasledujúcej tabuľke (Tab. 2).

Tab. 2 Výroba elektrickej energie pre monokryštalický panel

Orientácia panela	Sklon panela						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
Sever 0°	1869	1617	1343	1078	866	753	655
Východ 90°	1869	1791	1704	1595	1457	1290	1101
Juh 180°	1869	2037	2102	2068	1934	1703	1397
Západ 270°	1869	1912	1904	1842	1723	1555	1347

Zo simulácie vyplýva, že najvyššia výroba elektrickej energie je pri južnej svetovej orientácii pri 30° sklone panela. V porovnaní s monokryštalickým panelom má polykryštalický panel mierne vyššiu výrobu elektrickej energie. Výroba elektrickej energie amorfným panelom pri rôznej svetovej orientácii a rôznom sklone natočenia panela pre inštalovaný výkon 2 kW je uvedená v nasledujúcej tabuľke (Tab. 3). Zo simulácie vyplýva, že najvyššia výroba elektrickej energie je pri južnej svetovej orientácii pri 30° sklone panela. V porovnaní s monokryštalickým a polykryštalickým panelom má amorfný panel mierne vyššiu výrobu elektrickej energie v daných klimatických podmienkach.

Tab. 3 Výroba elektrickej energie pre monokryštalický panel

Orientácia panela	Sklon panela						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
Sever 0°	1905	1639	1352	1080	866	754	657
Východ 90°	1905	1825	1736	1624	1480	1307	1112
Juh 180°	1905	2083	2154	2119	1977	1731	1409
Západ 270°	1905	1953	1950	1888	1767	1594	1378

V. ZÁVER

Pri realizácii FV systému pre predmetný rodinný dom by rozhodovala možná výška celkových investičných nákladov. FV systém s najnižšími investičnými nákladmi a najkratšou dĺžkou návratnosti by bol FV systém bez batériového systému s inštalovaným výkonom 600 W, zložený z amorfných panelov. Tento systém by vyrábal pomerne málo elektrickej energie a značnú časť by odoberal z elektrickej siete, no návratnosť by bola pomerne krátka.

Pri všetkých troch simuláciách sa potvrdil fakt, že najvyššie hodnoty vyrobenej elektrickej energie majú panely orientované na juh. Pri všetkých troch bola výroba elektrickej energie najvyššia, čo potvrdzujú výsledky simulácií v Tab.1, 2 a 3. Ďalej taktiež platí, že aj skon fotovoltických panelov ovplyvňuje množstvo vyrobenej elektrickej energie. Podobne bol dokázaný fakt, že najvyššie hodnoty vyrobenej elektrickej energie boli pri sklone 30 stupňov. Toto tvrdenie platí pre všetky tri typy fotovoltických panelov.

POĎAKOVANIE

Túto prácu podporila Vedecká grantová agentúra Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied grantom VEGA č. 1/0372/18.

Táto práca vznikla vďaka podpore udeľovania grantu FEI FEI-2018-54 Vplyv materiálov na prienik elektromagnetického poľa.

LITERATÚRA

- [1] R. Hasekhuhn, Fotovoltaika. 2016, 176 s. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [2] M. Kolcun, J. Džmura, M. Mešter a M. Pavlík, Elektrárne, 1. Vyd, Košice, 2017, 202 s., ISBN 978-80-553-3119-5.
- [3] K. Martinger, J. Truxa, Solární energie pro váš dum. 96 s., 2010, ISBN 80-86517-89-6.
- [4] Slovenská inovačná a energetická agentúra: Výhody a obmedzenia zariadení na využívanie OZE podporovaných v rámci projektu Zelená domácnostiam [online]. Bratislava: SIEA, 2018. [2019-04-21]. Dostupné na internete: <<http://www.siea.sk/podporovane-zariadenia/#>>.
- [5] M Pavlík a M. Kolcun, Predikcia ceny elektriny na burze PXE použitím RSI a MACD indikátorov, 2014, In Energetika, Vol. 64, no. 5, s. 279 – 281, ISSN 0375-8842.