

Ján Tkáč, Ľubomír Beňa

Slnčné žiarenie a jeho spektrálne zloženie

Základným svetelným zdrojom pre našu planétu je Slnko, ktorého žiarenie zabezpečuje správnu funkciu našej biosféry a je teda základnou podmienkou života na Zemi. Slnko vyžaruje svoju energiu v širokom rozsahu vlnových dĺžok, ktoré významným spôsobom ovplyvňujú našu biosféru. V súčasnosti sa mimoriadne rozširuje jej využívanie na energetické účely, pričom veľmi významný vplyv na energetický zisk má aj spektrálne zloženie dopadajúceho slnečného žiarenia. Pod vplyvom meniacich sa atmosférických a meteorologických podmienok dochádza k ovplyvňovaniu spektrálneho zloženia dopadajúceho svetla. Príspevok je zameraný do oblasti svetelných zdrojov s podrobnejšou orientáciou na ich spektrálne charakteristiky. Cieľom príspevku bolo porovnať spektrálne charakteristiky rôznych svetelných zdrojov vrátane Slnka.

Kľúčové slová: svetelné žiarenie, spektrum, slnečné žiarenie, svetelné zdroje, fotovoltické články

I. ÚVOD

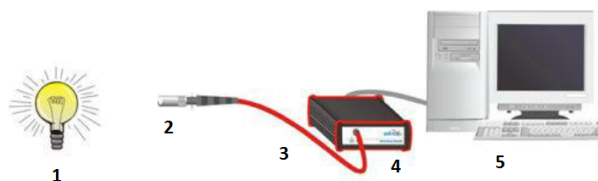
Pre našu planétu je Slnko základným predpokladom pre existenciu života. Planéta Zem a jej biosféra je energeticky zabezpečená Slnkom. Ľudstvo po dlhom období využívania Slnka iba ako zdroja denného tepla a svetla prešlo vývojom rôznych svetelných zdrojov, ktorého hlavným cieľom bolo skonštruovať svetelné zdroje, ktoré by mali dostatočný svetelný výkon v nočných hodinách. Bolo vyvinuté množstvo zdrojov pracujúcich na rôznych princípoch. Ich vlastnosti odpovedali technickej úrovni ľudstva v príslušnej dobe. Prelom nastal až po rozsvietení prvej žiarovky elektrinou. Slnko je tým najdokonalejším zdrojom nielen svetla, ale aj energie ktorú ľudstvo potrebuje. Slnčná energia má v biosfére našej planéty nezastupiteľné miesto. Zabezpečuje energeticky celú našu planétu, a preto je potrebné považovať ju za základný široko použiteľný zdroj svetelného žiarenia, ktoré je v súčasnosti aj energeticky využiteľné [3]. Poskytuje nám nie len svetlo, ale umožňuje aj celý rad premien energie na iné formy.

Slnčná energia má však pri energetickom využívaní svoje nedostatky vyplývajúce z relatívneho pohybu Zeme okolo Slnka. Poskytovaná energia je často premenlivá nie len čo sa týka intenzity ale aj spektrálneho zloženia. Na túto premenlivosť vplyva viacero faktorov, ako sú ročné obdobia a poveternostné podmienky. To sa zabezpečuje dlhodobým sledovaním intenzity slnečného žiarenia a meteorologických parametrov v mieste jej využívania. Sleduje sa aj intenzita priameho, difúzneho, odrazeného žiarenia a dĺžka slnečného svitu. Medzi tieto merania sa v súčasnosti postupne zaradzuje aj sledovanie spektrálneho zloženia slnečného žiarenia nielen na zemskom povrchu, ale aj v kozmickom priestore. Ukazuje sa, že význam týchto meraní presahuje oblasť využívania na energetické účely a je základom pre zabezpečenie trvalej udržateľnosti života na Zemi.

II. SPEKTRÁLNE CHARAKTERISTIKY SVETELNÝCH ZDROJOV

Svetelné zdroje delíme na prírodné a umelé. Medzi prírodné patrí Slnko, polárna žiara, blesk. Medzi umelé zdroje patria chemické, ktoré sa používali hlavne v minulosti a elektrické, ktoré sa najviac používajú v súčasnosti. Vo všeobecnosti môžeme elektrické svetelné zdroje rozdeliť podľa princípu vzniku svetla do troch základných skupín: teplotné (klasické žiarovky, halogénové žiarovky), výbojové (žiarivky, výbojky), svetelné diódy (LED) [1], [2], [7].

Spektrálne charakteristiky vybraných svetelných zdrojov boli merané pomocou spektrometra AvaSpec-2048-USB2 podľa schémy na obr. 2. Merané svetelné žiarenie zo svetelného zdroja **1** vstupuje prostredníctvom kosínusového nadstavca **2** do optického vlákna **3**, ktoré ho privádza do spektrometra **4**, ktorý digitalizuje a spracúva optický signál. Jeho grafické vyhodnotenie sa realizuje pomocou pripojeného počítača **5** s príslušným programovým vybavením Avasoft 7.6.

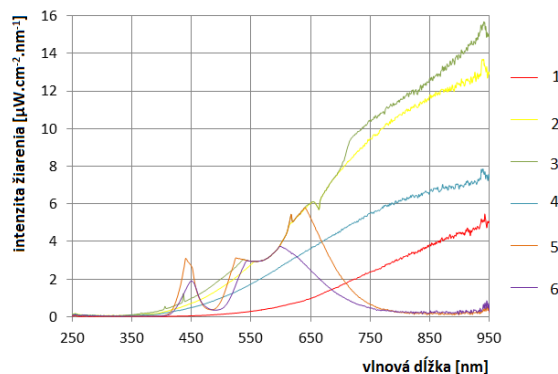


Obr. 2 Meracia aparatúra pre meranie spektrálnych charakteristík

Pomocou meracej aparatúry na obr. 2 boli realizované merania spektrier nasledovných vybraných umelých svetelných zdrojov:

- 1- sviečka
- 2- klasická žiarovka Tungsram 150W, 240V
- 3- Halogénová žiarovka, Osram 40W, 230V
- 4- Špeciálna žiarovka P3/3S, Photo Lux 75W, 240V
- 5- LED žiarovka, Adart Europe, 1.5W, 230V
- 6- SMD LED žiarovku, teplá biela 5W, 100-240V

Spektrálne zloženie svetla a intenzita žiarenia produkovaného týmito svetelnými zdrojmi sú uvedené na obr. 3.



Obr. 3 Spektrálne zloženie meraných umelých svetelných zdrojov

Z uvedených grafických závislostí vyplýva, že merané svetelné zdroje môžeme rozdeliť z hľadiska ich spektrálnych charakteristík do dvoch skupín. V prvej skupine sú širokospektrálne vyžarujúce teplotné zdroje svetla, medzi ktoré patrí sviečka krivka – č. 1, žiarovky - krivky č. 2, 3, 4. Ich svetelné spektrum začína v oblasti okolo 400 nm a spojitě stúpa cez celé viditeľné spektrum, pričom maximum intenzity dosahuje v oblasti neviditeľného infračerveného žiarenia. Z tohto dôvodu je aj ich spotreba energie pomerne vysoká, nakoľko produkujú viac ako dvojnásobne vyššiu intenzitu žiarenia na vlnových dĺžkach mimo viditeľného pásma. Ich výhodou je, že produkujú aj sálavé teplo, ktoré je u nových svetelných zdrojov deficitné.

Do druhej skupiny môžeme zaradiť úsporné svetelné zdroje na báze LED - krivky č. 5, 6, ktorých spektrum je zložené z viacerých základných zložiek, vytvárajúcich vo viditeľnom spektre požadovaný zrkový vnem. Ich energetická úspora vyplýva z toho, že ich spektrálne zloženie je volené tak, aby k zrkovému vnemu došlo pri najmenšej spotrebe energie, často aj za cenu chýbajúcich tzv. teplých vlnových dĺžok.

Ani jeden z týchto zdrojov nedosahuje technické parametre slnečného žiarenia.

III. SLNKO AKO ZÁKLADNÝ SVETELNÝ ZDROJ

Slnko nie je len základným svetelným zdrojom, ale svojou energiou zabezpečuje aj všetky procesy na Zemi.

Slnečné žiarenie, ktoré po prechode cez atmosféru dopadá na zemský povrch, má spektrálny rozsah od $\lambda = 280$ nm do $\lambda = 3000$ nm. Žiarenia kratšej a dlhšej vlnovej dĺžky sa v atmosfére v dôsledku filtračnej schopnosti jednotlivých vrstiev atmosféry a ich zloženia do značnej miery, alebo aj úplne eliminujú a v našom životnom prostredí sa môžu vyskytovať len od umelých zdrojov. Oblasť spektra s dĺžkou vlny od 100 do 380 nm obsahuje ultrafialové žiarenie. V rozsahu vlnových dĺžok od 380 do 780 nm sa nachádza viditeľné žiarenie. Žiarenie s vlnovou dĺžkou od 780 až do 1 nm je infračervené žiarenie.

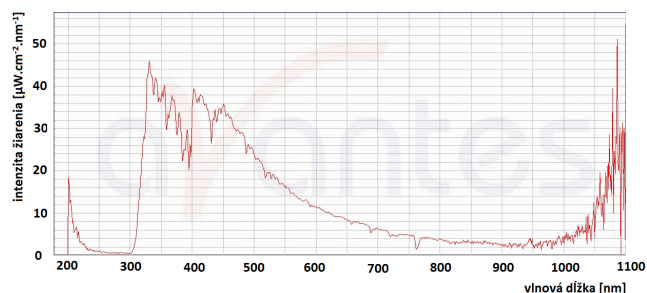
Najväčší vplyv na pohltenie slnečného žiarenia v oblasti ultrafialového žiarenia má ozón. Narušená ozónová vrstva spôsobila aj prenikanie tzv. tvrdého ultrafialového žiarenia, ktoré má pomerne negatívne účinky na biologické systémy. Zloženie dopadajúceho viditeľného a infračerveného žiarenia významne ovplyvňuje obsah vody v rôznych skupenstvách ako aj obsah CO_2 . Uvedené skutočnosti je možné verifikovať porovnaním svetelného spektra na hranici atmosféry Zeme a pri hladine mora, ktoré je znázornené na obr. 7. Viditeľné svetlo je žiarenie s vlnou dĺžkou 380 až 780 nm, t.j. s frekvenciou od $790 \cdot 10^{12}$ až $385 \cdot 10^{12}$ Hz.

Za biele svetlo je považované žiarenie povrchu slnka s teplotou chromatičnosti 5400 K.

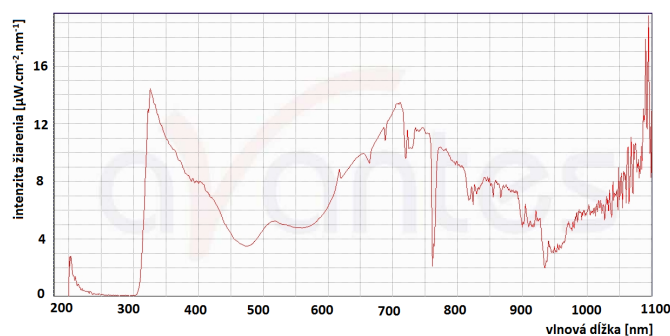
Svetlo prichádzajúce z oblohy sa rozdeľuje podľa smeru na priame, difúzne a odrazené. Priame žiarenie si cestou od Slnka zachovalo svoj smer a po celej svojej dráhe nebolo výrazne ovplyvnené. Difúzne žiarenie bolo po svojej dráhe ovplyvnené interakciou s atmosférou Zeme, pri ktorej došlo k zmene uhla dopadu na zemský povrch. Odrazené žiarenie je tiež druhom difúzneho žiarenia. Líši sa spôsobom ovplyvnenia uhla dopadu, odrazom od okolitého prostredia a budov. Celkové žiarenie, ktoré je súčtom jednotlivých zložiek nazývame globálnym žiarením. Globálne žiarenie je ovplyvňované podielom jednotlivých zložiek, ktorých veľkosť je ťažko predikovateľná, nakoľko sú ovplyvňované vonkajšími meteorologickými parametrami, stavom atmosféry a jej zamračením ako aj polohou Slnka.

Stupeň zamračenia oblohy sa udáva v desatinách pokrytia oblohovej hemisféry oblakmi, stupnicou oblačnosti v rozsahu od 0 do 10. Pri svetelnotechnickom hodnotení rozlišujeme jasnú oblohu (oblačnosť od 0 do 2) a celkom zamračenú oblohu (oblačnosť 10).

Podobným spôsobom a pomocou tej istej aparatúry ako boli merané spektrálne charakteristiky svetelných zdrojov, bolo realizované meranie svetelného spektra slnečného žiarenia v podmienkach Košíc, pri rôznych meteorologických podmienkach za

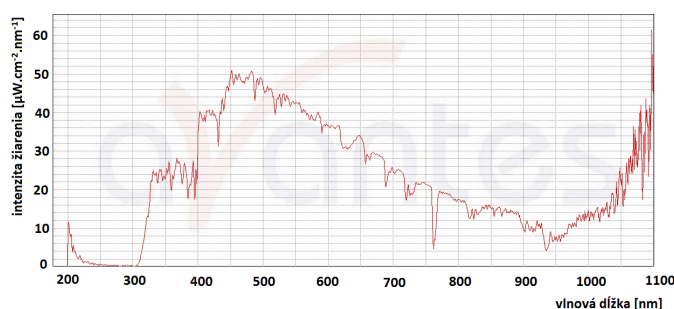


Obrázok 4 Spektrálne zloženie slnečného žiarenia (13.3.2012 o 15:00, jasno)



Obrázok 5 Spektrálne zloženie slnečného žiarenia (14.3.2012 o 15:30, tenká biela oblačnosť)

účelom zistenia ich vplyvu na spektrálne zloženie slnečného žiarenia. Namerané výsledky sú znázornené na obr. 4 až 6.



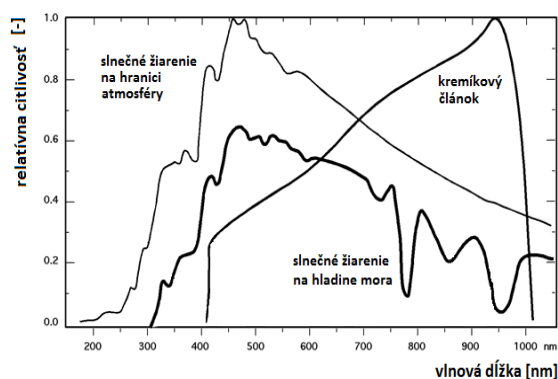
Obrázok 6 Spektrálne zloženie slnečného žiarenia (12.3. o 15:15, zamračená obloha)

Z výsledkov meraní spektrálneho zloženia slnečného žiarenia vyplýva, že jeho zloženie je mimoriadne premenlivé v závislosti od množstva faktorov, pričom nie je možné jednoznačne určiť príčinu zmeny intenzity. Obr.6 dokumentuje, že ani zamračená obloha nemusí výrazne ovplyvniť priebeh spektrálneho zloženia. Spektrálne zloženie slnečného žiarenia je veľmi dôležité pri jeho využívaní na výrobu elektriny pomocou fotovoltických článkov.

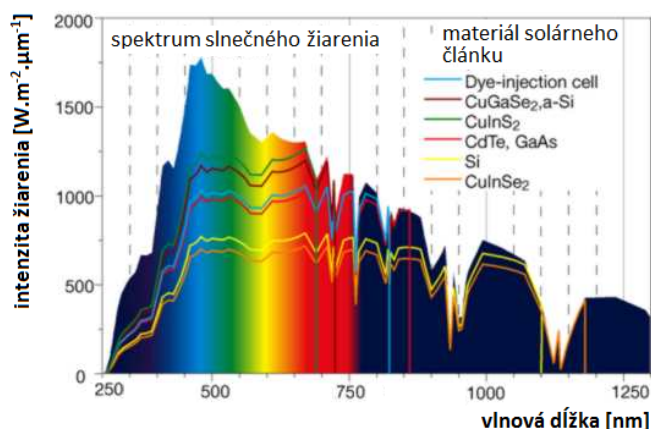
Ak porovnáme spektrálne zloženie slnečného žiarenia so spektrálnou citlivosťou fotovoltického článku na báze kremíka,

zistujeme, že tieto nie sú v optimálnej zhode. Sú vzájomne posunuté, čo neumožňuje dokonalé využívanie všetkej dopadajúcej slnečnej energie. Na obr. 7 a obr. 8 možno registrovať, že kremíkové fotovoltaické články majú najvyššiu citlivosť v oblasti 650 – 1000 nm, pričom dopadajúce slnečné žiarenie má maximum v oblasti 400-600 nm.

Z tohto dôvodu sú vyvíjané nové fotovoltaické články (FV), ktorých konštrukcia a materiálové zloženie je lepšie prispôbená svetelnému spektru slnečného žiarenia. Porovnanie spektrálnych charakteristík je na obr. 8. Takéto články lepšie reagujú aj na kratšie vlnové dĺžky, prípadne aj na UV žiarenie. Tieto technológie sú však zatiaľ v štádiu výskumu a vyrábajú sa zatiaľ iba v malých sériách. V súčasnosti sú zaujímavé FV články na báze amorfného kremíka, ktorých spektrálna citlivosť je lepšie prispôbená slnečnému žiareniu. Napriek tomu, že tieto články majú oproti ostatným nižšiu účinnosť z hľadiska celoročného energetického zisku sa blížila k FV článkom na báze mono a polykrystalického kremíka. Najlepšie technické parametre však dosahujú články na báze CIGS materiálov, ktoré sú výnimočné viacerými technickými parametrami ako aj svojou hrúbkou.



Obr. 7 Porovnanie spektra slnečného žiarenia a relatívnej citlivosti Si článku [8]



Obr. 8 Spektrálne charakteristiky FV článkov rôznej konštrukcie [9]

Predpokladá sa, že zabezpečením optimálnej spektrálnej citlivosti FV článkov, prispôbenej k dopadajúcemu slnečnému žiareniu bude možné v budúcnosti dosiahnuť zvýšenie účinnosti až do 50 %. V súčasnosti sa však sériovo vyrábané články blížila len k hranici 25 % [4], [5], [6].

IV. ZÁVER

Realizácia experimentov v oblasti používaných svetelných zdrojov v porovnaní so Slnkom so zameraním na meranie ich spektrálneho

zloženia priniesla veľmi zaujímavé výsledky a celý rad námetov pre ďalšie zdokonaľovanie meracej aparatury a manažmentu meraní. Doposiaľ boli experimentálne overené iba možnosti merania iradiancie. Realizované merania potvrdili, že používané svetelné zdroje sa líšia spektrálnym zložením, farebným podaním a teplotou chromatičnosti. Táto problematika je veľmi závažná nakoľko zloženie svetla má významný vplyv na človeka či už z psychologického hľadiska, alebo energetickej efektívnosti. Realizované merania potvrdili, že používané svetelné zdroje sa líšia spektrálnym zložením, farebným podaním a teplotou chromatičnosti. Pri meraniach spektier slnečného žiarenia za rôznych meteorologických podmienok sa ukázalo, že spektrum dopadajúceho slnečného žiarenia je veľmi premenlivé. Tieto zmeny môžu mať významný vplyv aj na energetický zisk fotoelektrických článkov. Na tento účel bude potrebné vypracovať metodiku a zdokonaľiť meraciu aparaturu tak, aby umožňovala získavanie objektívnych výsledkov a ich výpovedeschopné vyhodnotenie v rámci dlhodobých meraní.

POĎAKOVANIE

Práca bola realizovaná s podporou projektov: Agentúry na podporu výskumu a vývoja APVV-0185-10 a Kultúrnej a edukačnej grantovej agentúry MŠ SR KEGA č. 3/7122/09.

Vďaka za podporu projektu VaV operačného programu, Centrum excelentnosti výkonových elektronických systémov a materiálov pre ich komponenty II.No. OPVaV-2009/2.1/02-SORO, ITMS 26220120046. Projekt je financovaný zo zdrojov ES, ERDF - Európsky fond regionálneho rozvoja.



LITERATÚRA

- [1] HABEL J.: Osvětlování. ČVUT Praha, 1995, ISBN 80-01-00728-6
- [2] SOKANSKÝ, K. a kol.: Světelná technika / - Praha : ČVUT v Praze, - 2011. - 256 s. - ISBN 978-80-01-04941-9
- [3] JANÍČEK, F. et al.: Obnovitelné zdroje energie 2. FEI STU, Bratislava: Renesans, 2010, ISBN 978-80-89402-13-7
- [4] DOSTÁL,Z., BOBEK,M.,ŽUPA,J.: Meranie globálneho slnečného žiarenia. In: Acta Montanica Slovaca, roč. 13 (2008), číslo 3, str. 355-360, ISSN 1335-1788
- [5] BRACINÍK, P., ROCH, M., ŠMIDOVIČ, R.: Možnosti predpovede výkonu z fotovoltaických elektrární na Slovensku, Časopis pre elektrotechniku a energetiku. Roč.17, č.2 (2011), Bratislava, Slovensko, 2011, str.: 8-11, ISSN 1335-2547
- [6] TAUŠOVÁ,M., TAUŠ,P., KOŠČO, J.: Ekonomika ostrovnej FV elektrárne v podmienkach Slovenska, Zborník prednášok ALER 2009, 5. ročník, str.1-8, Liptovský Ján 2009, ISBN 978-80-554-0099-0
- [7] BEWSZKO, T., WACHTA, H.: Multi-criteria decision aid for planning lighting technology of architectural objects. Przegląd Elektrotechniczny. 2011; 87 (8):21-25, (in Polish).
- [8] HONSBURG, CH., BOWDENMEMO, S.: *PV education*. 2012 [cit. 2012-10-25]. Dostupné na internete: <<http://www.pveducation.org/pvedrom>>
- [9] *The power of the sun*. 2012 [cit. 2012-10-25]. Dostupné na internete: <<http://science.sbccc.edu/physics/solar/sciencesegment/>>

ADRESY AUTOROV

Ján Tkáč, Technická univerzita v Košiciach, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, 041 20, Slovenská republika, jan.tkac@tuke.sk
 Ľubomír Beňa, Technická univerzita v Košiciach, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, 041 20, Slovenská republika, lubomir.bena@tuke.sk