

Meranie globálneho slnečného žiarenia

Zdeněk Dostál¹, Milan Bobek a Ján Župa²

The measuring of global solar radiance

In paper there is analyzed solar radiation measurement method by sensor of global radiation FLA613-GS. The measurement by implemented method gives direct-current voltage output value, with proportional level of solar radiance. The measurement method of solar radiation by photocell SMA1 is analogue to the method with sensor FLA613-GS. This method gives direct current output value, with proportional level of solar radiance. According of presented method analysis there is designed measuring instrument with SMA1 photocell. The measuring instrument output is numeric data, straight calibrated in a unit of incident performance of solar radiance [$kW.m^{-2}$]. Suggested measuring instrument provides required measuring data during low technologic cost. There are presented some results from executed measurement with designed measuring instrument.

Key words: the solar radiation measurement, sensor of global radiation, photocell

Úvod

Z konca 20. storočia sa do začiatku 21. storočia prenáša prehlbujúca sa energetická kríza, ako rozpor medzi energetickou náročnosťou života ľudskej spoločnosti a možnosťami ich pokrytia z fosílnych zdrojov. Rast spaľovania fosílnych palív prináša zvyšovanie exhalátov, najmä kyslíčnika uhličitého, ktorý významnou mierou prispieva k skleníkovému javu v zemskej atmosfére. Zásadnou možnosťou riešenia tejto krízy je masové a efektívne využívanie obnoviteľných zdrojov energie.

Termínom obnoviteľné zdroje energie (OZE) sa označujú také zdroje energie, ktoré nie sú založené na fosílny podstate, ale na využití takých možností, ktoré sú dostupné a priamo alebo nepriamo závislé na slnečnom žiarení. Ide o solárne články, solárne kolektory, biomasu, geotermálne zdroje, vodné zdroje, tepelné čerpadlá, veterné elektrárne, využitie morskej energie a podobne [1, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12].

Všetky solárne systémy, najmä priame a koncentračné systémy, potrebujú merať množstvo využiteľnej slnečnej energie dopadajúcej do pracovného priestoru. Je teda potrebné merať množstvo energie, ktorá sa takto sústreďuje do ohnisk. Pre tento účel sú vyvíjané meracie prístroje, ktoré sú založené na meraní osvitú a podobne. Pre priame meranie dopadajúcej energie globálneho slnečného žiarenia to nie je postačujúce. Zaoberali sme sa preto vývojom a konštrukciou vhodného lacného a dostupného priamo ukazujúceho merača.

Niektoré princípy merania globálneho slnečného žiarenia

Meranie globálneho slnečného žiarenia (Solar Radiation), prostredníctvom merania osvitú profesionálne vyrábaným prístrojom je síce možný spôsob, ale je potrebné z nameraných hodnôt prepočítať dopadajúcu energiu slnečného žiarenia. Žiadúcejšie je mať k dispozícii priamo ukazujúci prístroj, ktorý umožní napríklad nastaviť potrebné parametre solárneho zariadenia (solárneho konvertora,...).

Meranie dopadajúcej energie slnečného žiarenia bolo realizované meraním pomocou profesionálne vyrábaného snímača globálneho žiarenia FLA613-GS [7]. Z nameraných hodnôt bola výpočtom určená okamžitá hodnota dopadajúcej energie slnečného žiarenia. Tento spôsob je pomerne presný, ale neefektívny a nepoužiteľný v reálnom čase.

Trojvrstvý fotovoltický článok vyrábaný, na báze amorfného kremíka, typu SMA1 (Triple Junction Cell), bol analyzovaný pre potreby konštrukcie priamo ukazujúceho prístroja [3, 4], (Tab. 1).

Z porovnaných parametrov je zrejme, že rozsah merania energie slnečného žiarenia je rovnaký, spektrálna citlivosť je veľmi podobná, maximálna spektrálna citlivosť je blízka. Rozsah pracovných teplôt je výhodnejší pre článok SMA1. Jeho výhodou je aj fakt, že článok nepotrebuje zdroj napätia. Výstupné napätia sú tiež podobné.

¹ doc. Ing. Zdeněk Dostál, CSc., Ing. Milan Bobek, Detašované pracovisko Elektrotechnickej fakulty Žilinskej univerzity, Katedra Experimentálnej elektrotechniky, Ul. kpt. J. Nálepku 1390, 031 01 Liptovský Mikuláš, dostal@lm.uniza.sk, bobek@lm.uniza.sk

² Ing. Ján Župa, GoldenSUN Slovakia, s.r.o., ul. 1. mája 1945/55, 03101, Liptovský Mikuláš, Slovensko, goldensun@goldensun.sk
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 3. 11. 2008)

Tab. 1. Základné parametre použitých meracích prístrojov [TE, IE].

Tab. 1. Main parameters of applied measuring instruments [TE, IE].

| Parameter | | Prístroj | |
|--------------------------------|----------------------|------------|-----------|
| | | FLA613-GS | SMA 1 |
| Rozsah merania | [W.m ⁻²] | 0 ÷ 1200 | 0 ÷ 1200 |
| Spektrálna citlivosť | [nm] | 400 ÷ 1100 | 350 ÷ 960 |
| Maximálna spektrálna citlivosť | [nm] | 780 | 620 |
| Rozsah pracovných teplôt | [°C] | -20 ÷ +60 | -50 ÷ +65 |
| Výstupné napätie | [V] | 0 ÷ 2 | 0 ÷ 2,38 |
| Napájanie | [V] | 10 ÷ 18 | - |

Porovnávacie merania

Pri príprave meraní bol snímač globálneho žiarenia FLA613-GS pripevnený na plastovú skrinku, do ktorej bol umiestnený externý zdroj napätia. Napájacie napätie dodával 12 V akumulátor. Pripravený multimeter Metex M-3860M meral výstupné napätie s presnosťou 0,1 %.

Na základe uvedených údajov výrobcu bola určená prepočítavacia konštanta na prepočet nameraného napätia [V] na meranú intenzitu slnečného žiarenia [kW.m⁻²]. Hodnota konštanty bola 0,6 [-]. Snímač meria v rozsahu 150 až 1200 W.m⁻² s linearitou ±1 %.

V druhom prípade bol pripravený fotovoltický článok SMA1 na meranie tak, že k nemu bol pripojený vhodný ohmický rezistor, aby sa jeho činnosť udržala čo najviac v lineárnej časti volt-ampérovej charakteristiky. Multimetrom bolo merané výstupné napätie [V], ktoré bolo analogicky prepočítavané na meranú intenzitu slnečného žiarenia [kW.m⁻²].

Prepočítavacia konštanta bola určená z pomeru medzi nameranými hodnotami výstupného napätia z meracieho prístroja FLA613-GS a fotovoltického článku SMA1. Východiskom bol predpoklad, že merací prístroj FLA613-GS je profesionálne ciachovaný, a preto bol považovaný za etalón.

Meracím prístrojom FLA613-GS aj fotovoltickým článkom SMA1 boli merané rovnaké orientácie meracej aparatúry súčasne, počas rovnakých časových a poveternostných podmienok. Najskôr bola meraná vertikálna poloha, potom sklon pod uhlom 45 ° a horizontálna poloha, obidve smerom na juh a poloha smerom priamo na Slnko. Pri meraní bol zaznamenaný aj stav oblohy, posúdením stavu zamračenosti. Nakoľko bol na meranie vybraný jasný deň, prejavili sa čiastočne vplyvy oparu, krátkodobej polooblačnosti a oblačnosti. Iné vplyvy tepelnej a časovej stability boli zanedbávané [2].

Merania boli uskutočnené v meste Liptovský Mikuláš, na Detašovanom pracovisku Elektrotechnickej fakulty Žilinskej univerzity v Žiline. Namerané a prepočítané hodnoty sú uvedené v Tab. 2 pre oba spôsoby merania a pre odpovedajúcu orientáciu meracej apertúry [2].

Tab. 2. Namerané a prepočítané hodnoty intenzity slnečného žiarenia.

Tab. 2. Measured data and reduced values of solar radiance intensity.

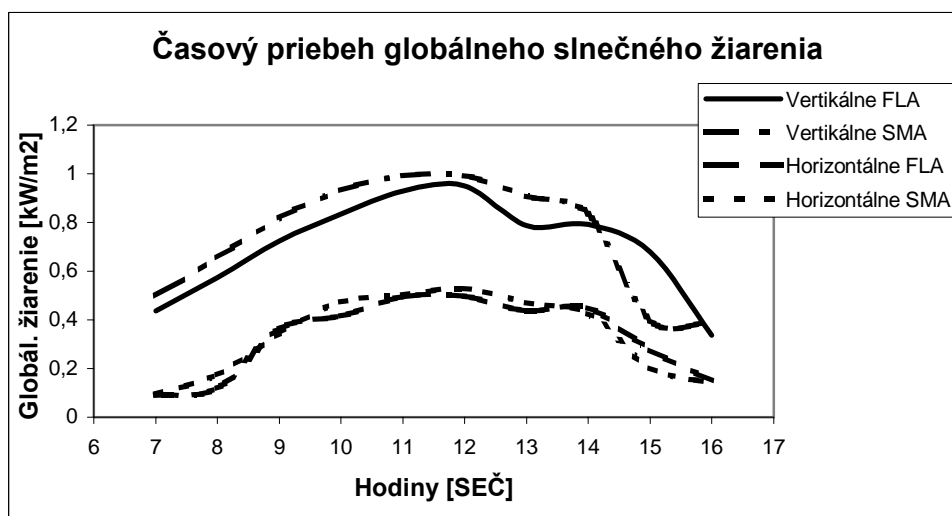
| hod [SEČ] | Intenzita slnečného žiarenia E [kW.m ⁻²] pre nasmerovanie snímača | | | | | | | |
|--------------|---|--------|-------------------|--------|-------------------|--------|-----------------|--------|
| | vertikálne | | pre uhol 45°, juh | | horizontálne, juh | | priamo na slnko | |
| | FLA | SMA | FLA | SMA | FLA | SMA | FLA | SMA |
| 7 | 0,4368 | 0,500 | 0,2970 | 0,2790 | 0,0882 | 0,0943 | 0,9438 | 0,8974 |
| 8 | 0,5748 | 0,6543 | 0,4758 | 0,6067 | 0,1182 | 0,1750 | 1,0002 | 0,9869 |
| 9 | 0,7224 | 0,8196 | 0,7320 | 0,7778 | 0,3642 | 0,3452 | 1,0344 | 1,0306 |
| 10 | 0,8340 | 0,9305 | 0,8610 | 0,9334 | 0,4170 | 0,4735 | 1,0560 | 1,0627 |
| 11 | 0,9300 | 0,9917 | 0,9870 | 1,0248 | 0,4944 | 0,5027 | 1,0422 | 1,0922 |
| 12 | 0,9504 | 0,9917 | 1,0014 | 1,0257 | 0,4974 | 0,5289 | 1,0560 | 1,0754 |
| 13 | 0,7860 | 0,9081 | 0,8286 | 0,8634 | 0,4362 | 0,4715 | 0,9552 | 0,9441 |
| 14 | 0,7920 | 0,8342 | 0,8016 | 0,5505 | 0,4500 | 0,4268 | 1,0200 | 1,0110 |
| 15 | 0,6798 | 0,3966 | 0,6420 | 0,3179 | 0,2760 | 0,2032 | 0,7380 | 0,6825 |
| 16 | 0,3378 | 0,3898 | 0,2808 | 0,2644 | 0,1500 | 0,1390 | 0,6000 | 0,4084 |

Z hodnôt v tabuľke je možné graficky zobrazit' priebehy intenzity slnečného žiarenia E v závislosti na čase a pre zvolené nasmerovania aparatúry snímača.

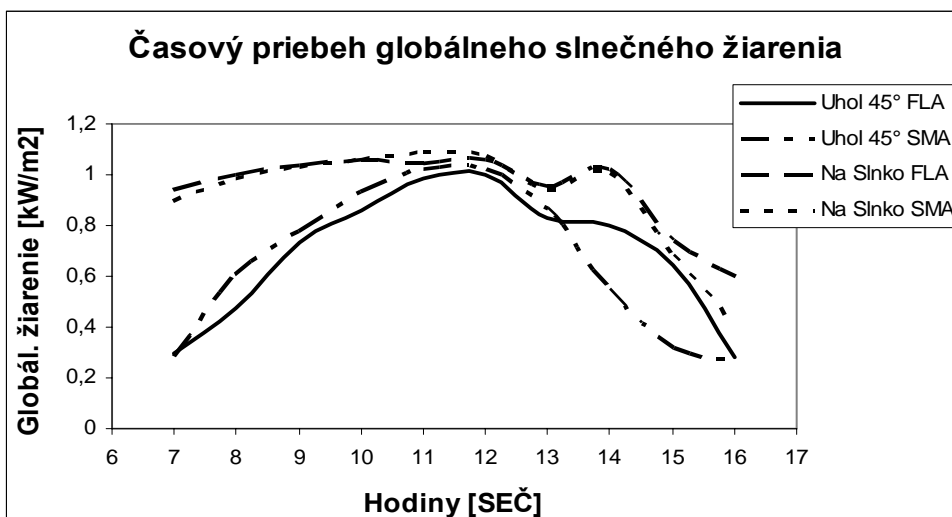
Na Obr. 1 sú porovnávané priebehy pre vertikálne a horizontálne na juh nasmerovanie apertúry snímačov. Na Obr. 2 sú porovnávané priebehy pre uhol 45° na juh a nasmerovanie apertúry snímačov priamo na Slnko.

Priebehy nameraných hodnôt týmito metódami sú veľmi blízke, avšak nie celkom identické. Priebeh je miestami takmer totožný, miestami rozdielny. Meranie bolo ovplyvnené čiastkovými vplyvmi, ktoré je možné eliminovať iba pomocou kontinuálneho automatizovaného meracieho pracoviska. Zaznamenané rozdiely sú dôsledkom rýchle sa meniacej premennej situácie v atmosfére. Presun oparu alebo aj minimálnej

oblačnosti sa okom ani nemusí zaregistrovať, avšak pri meraní v rozsahu niekoľkých sekúnd môžu nastať zmeny. Zvýšenie presnosti si bude vyžadovať opakované súbory meraní, kalibráciu a výber vhodných snímačov a štatistické spracovanie nameraných hodnôt.



Obr. 1. Časové priebehy intenzity slnečného žiarenia E pre vertikálne a horizontálne smerovanie apertúry snímačov.
Fig. 1. The time period of solar radiation intensity E for vertical and horizontal orientation of sensor aperture.



Obr. 2. Časové priebehy intenzity slnečného žiarenia E pre uhol 45° na juh a smerovanie apertúry snímačov priamo na Slnko.
Fig. 1. The time period of solar radiation intensity E for sensor aperture orientation for angle 45° south and straight to the sun.

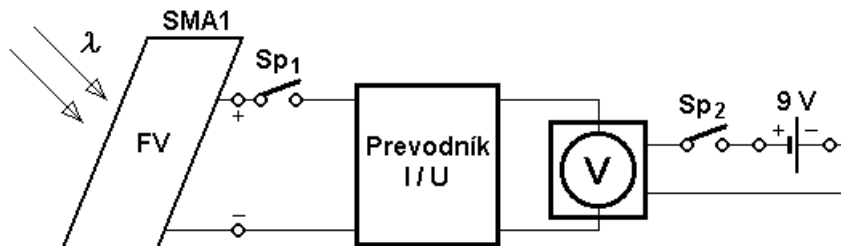
Namerané hodnoty nezahŕňali iné rušivé vplyvy, napríklad teplotnú a časovú nestabilitu meracích zariadení. V tomto prípade boli tieto a iné vplyvy zanedbané. Pretože merania boli vykonané vždy za približne rovnakých podmienok, po získaní väčšieho počtu nameraných súborov je možné niektoré rušivé vplyvy vyjadriť a prípadne minimalizovať konkrétnym korekčným opatrením.

Konštrukcia merača globálneho slnečného žiarenia s článkom SMA1

Na základe porovnávacích meraní bolo rozhodnuté použiť článok SMA1 ako merací snímač energie slnečného žiarenia. Aby bola závislosť výstupného napätia na úrovni energie slnečného žiarenia lineárna, bol článok zaťažovaný ohmickým odporom rádovo jednotky Ohmov. Tato hodnota zaťažovacieho odporu umožňuje prepúšťať takmer skratový prúd a pri maximálnej hodnote energie slnečného žiarenia dáva úbytok napätia na záťaži približne 100 mV. Potom úbytok napätia na odpore záťaže sa dá pomocou viacotáčkového potenciometra upraviť tak, aby hodnota 130 mV odpovedala úrovni 1300 W.m⁻² energie slnečného žiarenia.

Ako merací prístroj bol zvolený, z dôvodu vysokého vstupného odporu, panelový digitálny voltmeter. Ak je nastavený rozsah voltmetra 200 mV, je vhodné posunúť zobrazenie desatinnej bodky za prvú číslicu. Potom bude zobrazovaný údaj v rozmeru jednotky energie slnečného žiarenia v $[\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}]$. Presnosť merania sa dá nastaviť na úroveň rádovo $\pm 20 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, čo odpovedá triede presnosti 2 %.

Podľa uvedených požiadaviek je schéma prístroja uvedená na Obr. 3.



Obr. 3. Elektrická schéma merača slnečného žiarenia s článkom SMA1.
Fig. 3. The electrical design of solar radiance meter with photocell SMA1.

Konštrukčné riešenie vychádzalo z voľby rozmeru krabice podľa rozmerov fotovoltického článku SMA1 a súčasne tak, aby sa do nej vošli aj zvyšné prvky merača. Na spodnej strane krabice je umiestnený článok SMA1. Na hornej strane je digitálny voltmeter. Na pravom boku sú vypínače Sp1 na zapnutie fotovoltického článku na zaťažovaciu kombináciu odporov R1, R2 a vypínač Sp2 na zapnutie napájaceho napätia pre digitálny voltmeter.

Nakoľko bude merač pri meraní smerovaný na Slnko, budú odčítané hodnoty na displeji voltmetra z druhej strany, aby slnko nesvietilo do očí. Je potrebné udržať nasmerovanie merača priamo na Slnko. K tomu je v ľavom dolnom rohu zabudovaný jednoduchý mechanický zameriavač. Svetelná bodka musí byť udržiavaná v strede zameriavacieho kríža.

Výsledky niektorých meraní globálneho slnečného žiarenia navrhnutým meračom

Navrhnutým a zostrojeným meračom globálneho slnečného žiarenia boli uskutočnené prvé merania. Meraná bola vždy poloha smerom na slnko. Niektoré dni boli jasné, potom bola získaná krivka dopadajúceho globálneho slnečného žiarenia veľmi priaznivú. Niektoré dni ale boli ovplyvnené oparom, oblačnosťou a podobne, čo znižovalo dopadajúci výkon čiastočne alebo podstatne. Meranie ručným meračom má jednu nevýhodu. Ak neexistuje z rôznych dôvodov možnosť vykonať meranie v danom čase, hodnota sa jednoducho nenamerá.

Z nameraných hodnôt boli vybrané niektoré dni, ktoré mali charakteristický priebeh meteorologickej situácie. Boli to dni:

- 13. 3. 2007, jasný slnečný deň,
- 16. 3. 2007, slnečný deň, s prítomným oparom, ktorý ovplyvňoval slnečný svit,
- 14. 4. 2007, jasný slnečný deň,
- 26. 5. 2007, deň začal ako jasný slnečný deň, od 8.hod. sa začalo mračiť, od 12. do 16. hod. bolo zamračené, od 17. hod sa začala oblačnosť pretrhávať,
- 10. 6. 2007, deň začal ako slnečný s prítomným oparom, od 10.hod. sa začalo mračiť, od 12. do 14. hod bola búrka, potom sa oblačnosť pretrhávala a od 17. hod bolo jasno a slnečno,
- 26. 6. 2007, jasný slnečný deň.

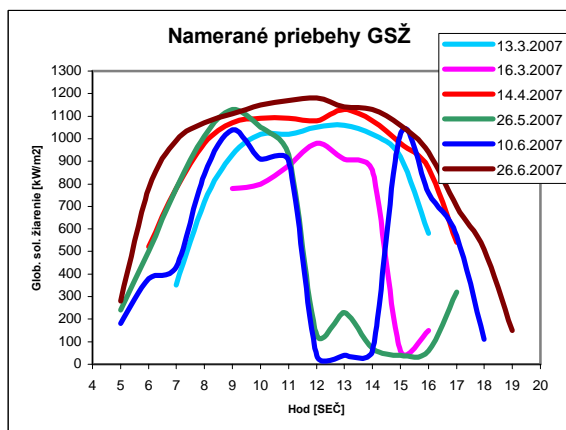
Grafickým znázornením priebehov dopadajúceho globálneho slnečného žiarenia vo vybraných dňoch vznikne celkové zobrazenie (Obr. 4).

Priebehy globálneho slnečného žiarenia vo vybraných dňoch ukazujú, že počas slnečných dní sú hodnoty dopadajúceho žiarenia najvyššie, zhoršená meteorologická situácia úroveň žiarenia znižuje. Pre lepšiu názornosť pri porovnávaní je možné zobraziť napríklad len priebehy pre jasné slnečné dni (Obr. 5).

Uvedené priebehy globálneho slnečného žiarenia pre jasné slnečné dni potvrdzujú predpoklad, že úroveň výkonu globálneho slnečného žiarenia je v lete vysoká, na jar je nižšia. Taktiež je zrejmé, že merania ráno a večer sú úmerné výške slnka nad obzorom, prípadne nad budovami alebo pohorím, vzhľadom k miestu merania na zemskom povrchu. Krivky nie sú celkom plynulé a hladké, pretože úroveň

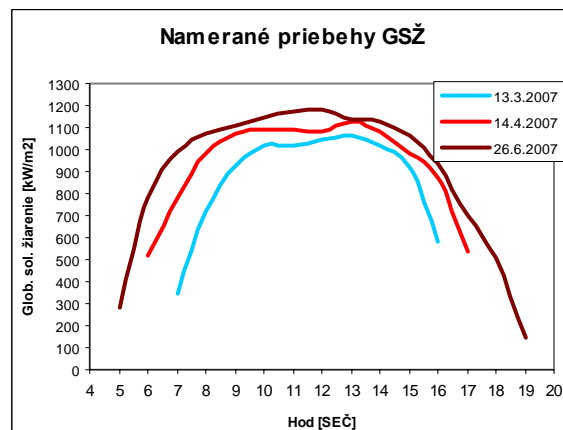
dopadajúceho globálneho slnečného žiarenia je ovplyvnená vodnými parami a smogom v ovzduší. Na Obr. 6. sú zobrazené priebehy pre jasný slnečný deň a deň s oparom.

Priebeh zo dňa 13. 3. 2007 ukazuje priebeh úrovne dopadajúceho globálneho slnečného žiarenia počas slnečného dňa. Dňa 16. 3. 2007 bol slnečný deň, avšak bol prítomný značný opar, v dôsledku vysokého obsahu vodných par a smogu v ovzduší. Priebeh úrovne dopadajúceho globálneho slnečného žiarenia bol nižší, aj keď subjektívne mal človek pocit veľmi teplého, dusného dňa. Nie každý deň je slnečný. Porovnanie slnečného dňa s meteorologicky inými dňami je uvedené na Obr. 7.



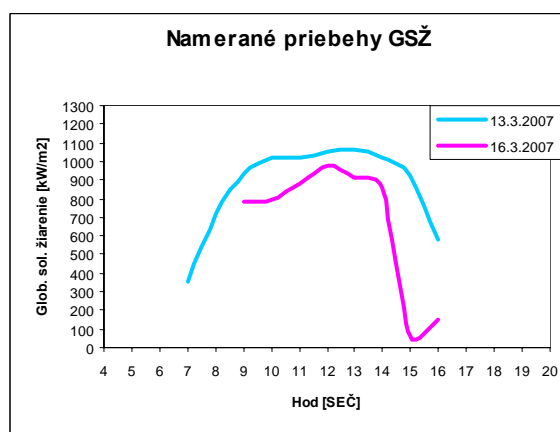
Obr. 4. Priebehy globálneho slnečného žiarenia vo vybraných dňoch.

Fig. 4. Processes of global solar radiation during selected days.



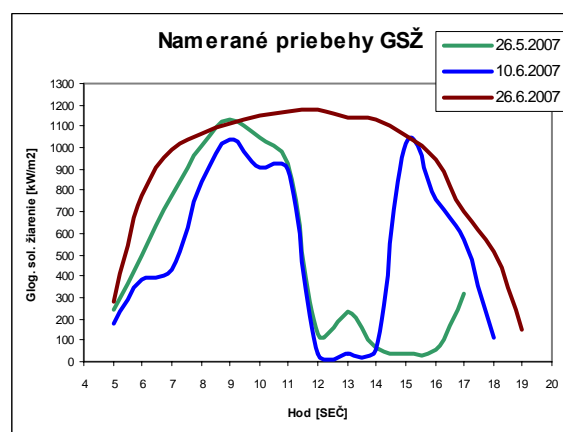
Obr. 5. Priebehy globálneho slnečného žiarenia pre jasné slnečné dni.

Fig. 5. Processes of global solar radiation for shiny days.



Obr. 6. Priebehy globálneho slnečného žiarenia pre jasný slnečný deň a deň s oparom.

Fig. 6. Processes of global solar radiation for shiny day and mist day.



Obr. 7. Priebehy globálneho slnečného žiarenia pre jasný slnečný deň a dni s oblačnosťou a búrkou.

Fig. 7. Processes of global solar radiation for shiny day, cloudy day and day with storm.

Pre porovnanie bol vybraný priebeh globálneho slnečného žiarenia pre jasný slnečný deň 26. 6. 2007. Deň 26. 5. 2007 začal ako jasný slnečný deň, od 8.hod. sa začalo mračiť, od 12. do 16. hod. bolo zamračené, od 17. hod sa začala oblačnosť pretrhávať. Prítomnosť oblačnosti významne znížila úroveň dopadajúceho globálneho slnečného žiarenia v mieste merania. Zaujímavý je deň 10. 6. 2007. Deň začal ako slnečný s prítomným oparom, od 10.hod. sa začalo mračiť, od 12. do 14. hod bola búrka. Po búrke sa oblačnosť pretrhávala a od 17. hod bolo jasno a slnečno. Počas búrky bola úroveň dopadajúceho globálneho slnečného žiarenia značne znížená. Po búrke sa vzduch prečistil a znížilo sa množstvo vodných pár, ale najmä smogu. To umožnilo opäť zvýšenie úrovne dopadajúceho globálneho slnečného žiarenia.

Záver

Potreba merania dopadajúceho globálneho slnečného žiarenia bola požiadavka, na základe ktorej bol vyvinutý a skonštruovaný priamo ukazujúci merač. Merač je vhodný pri návrhu, inštalácii a prevádzke solárnych systémov OZE ako aj všade tam, kde je potrebné merať dopadajúce globálne slnečné žiarenie.

Presnosť merača odpovedá triede presnosti 2 %. Pre tieto potreby je meranie iba krátkodobé a prístroj nie je vystavený všetkým meteorologickým vplyvom, takže je možné zanedbať vplyv tepelnej nestability a iné vplyvy.

Namerané hodnoty umožňujú vyhodnotiť dopadajúce globálne slnečné žiarenia v aktuálnom mieste na zemskom povrchu.

Pod'akovanie: Práca bola realizovaná ako súčasť riešenia projektu VEGA č. 1/3080/06 a na základe zmluvy č. APVV-0448-06.

Literatúra-References

- [1] Brogen, M.: Optical Efficiency of Low-Concentrating Solar Energy Systéme with Parabolic Reflectors. *Upsala, 2004*. http://www.diva-portal.org/diva/getDocument?urn_nbn_se_uu_diva-3988-1_fulltext.pdf
- [2] Dostál, Z., Župa, J., Herec, I.: Možnosti merania intenzity slnečného žiarenia pomocou článkov SMA. *Zborník konferencie „27. Nekonenční zdroje elektrické energie“*. 12. – 14. 9. 2006, Tuchlovice, s. 56 – 62..
- [3] Herec, I., Dostál, Z., Župa, J.: Meranie intenzity slnečného žiarenia článkami na báze amorfného kremíka. *Zborník odborného seminára ALER2006, Elektrotechnická fakulta Žilinskej univerzity v Žiline, Detašované pracovisko Liptovský Mikuláš, 11. október 2006*, s. 58-68. 2006. ISBN 80-8070-625-5.
- [4] IEEE, 25th PVSC, *Washington, D. C., May 13-17*. 1996.
- [5] Leiner, A.: Fuel from the Sky: Solar Power's Potential for Western Energy Supply. <http://www.eere.energy.gov/solar/csp.htm>
- [6] Naidoo, P., Brooks, M. J.: Tracking and control of a parabolic through solar collector. Test certificate of device labelling of global radiation.
- [7] http://www.mantec.as.za/ingxoxo_naidoo_and_brooks.doc
- [8] <http://whitepaper.ises.org>
- [9] http://europa.eu.int/comm/research/energy/index_en.htm A Vision for Photovoltaic Technology (Final report) / European Research on Concentrated Solar Thermal Energy.
- [10] <http://www.doe.gov> U.S. Departement of Energy / Energy sources.
- [11] http://www.nrel.gov/learning/re_csp.html
- [12] <http://members.aol.com/rmmurtha/sol.pdf>