

Ján Tkáč, Marek Hvizdoš

Meranie intenzity slnečného žiarenia

Meranie intenzity slnečného žiarenia je veľmi dôležité nielen z hľadiska meteorologického, ale v súčasnosti naberá na význame hlavne v súvislosti s energetickým využitím. Príspevok je orientovaný do oblasti obnoviteľných zdrojov energie so zvláštnym zameraním na využitie solárnej energie a jej meranie. Pri jej využívaní sa vychádza z meraní intenzity slnečného žiarenia pomocou pyranometrov a ďalších špecializovaných prístrojov. Pre kalibráciu viacerých pyranometrov a dostatočne presné meranie jednotlivých zložiek slnečného žiarenia bol skonštruovaný viacanálový kalibračný a merací prístroj, ktorý sa pri praktických meraniach plne osvedčil.

Kľúčové slová: slnečné žiarenie, pyranometer, intenzita slnečného žiarenia, kalibrácia, LabVIEW

I. PRÍSTROJE NA MERANIE SLNEČNÉHO ŽIARENIA

Slnečné žiarenie je elektromagnetické žiarenie s vlnovými dĺžkami v rozsahu 0,28 až 3,0 μm . Slnečné spektrum zahŕňa malý podiel ultrafialového žiarenia (0,28 – 0,38 μm), ktoré je pre ľudské oko neviditeľné a predstavuje asi 2 % solárneho spektra. Viditeľné svetlo má vlnové dĺžky od 0,38 do 0,78 μm a predstavuje asi 49 % slnečného spektra. Zvyšok tvorí infračervené žiarenie (0,78 – 3,0 μm) [1], [2].

Slnečné žiarenie pozostáva z troch zložiek: z priameho, difúzneho a odrazeného žiarenia. Priame žiarenie prichádza na povrch bez prekážok a iných bariér. Difúzne žiarenie vzniká rozptylom priameho slnečného žiarenia v atmosfére. Odrazené žiarenie je výsledkom odrazu slnečného žiarenia od budov, prípadne iných nadzemných stavieb.

Na množstvo dopadajúceho žiarenia majú vplyv najmä tieto faktory:

- zemepisná poloha,
- miestna klíma, prípadne nečistoty v ovzduší,
- ročné obdobie,
- sklon povrchu k dopadajúcemu žiareniu.

Z hľadiska meraní jednotlivých veličín spojených so slnečným svetlom rozlišujeme tri skupiny meraní:

- meranie dĺžky slnečného svitu (hod.),
- meranie intenzity slnečného žiarenia – aktinometrické meranie (W/m^2),
- meranie spektrálnej intenzity slnečného žiarenia – fotometrické meranie (W/m^2).

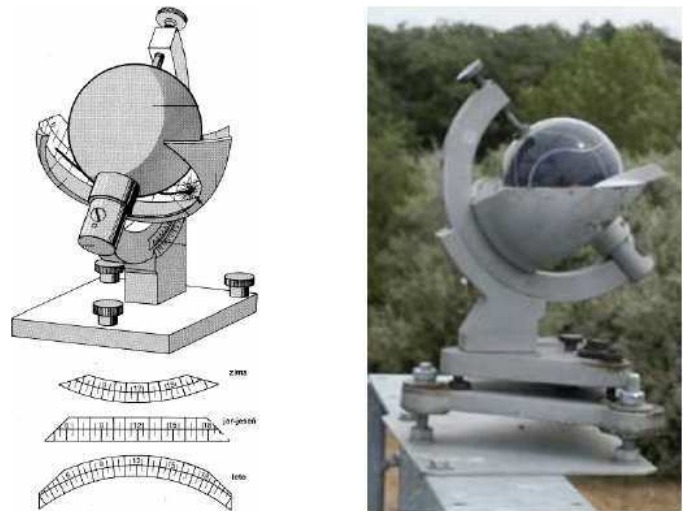
Pre každý druh merania boli skonštruované špeciálne precízne prístroje. Na počiatku sa vychádzalo z jednoduchých princípov, ktoré sa však postupne, vzhľadom na vyžadovanú presnosť meraní za rôznych meteorologických podmienok, stávali zložitejšími a materiálovo náročnejšími.

II. MERANIE DĹŽKY SLNEČNÉHO SVITU

Na meranie dĺžky slnečného svitu bolo ešte v roku 1853 J. F. Campbellom vyvinuté zariadenie s názvom **heliograf**. Tento bol neskôr zdokonalený G. G. Stokesom. Tento prístroj bol základným prístrojom používaným na meranie slnečného žiarenia.

Heliograf (Obr. 1) pozostáva zo sklenenej gule s priemerom 96 mm, cez ktorú prechádzajú slnečné lúče, ktoré sa sústreďujú do vonkajšieho ohniska, v ktorom sa dosahuje teplota odpovedajúca intenzite slnečného žiarenia. Poloha ohniska sa vzhľadom na neustálu

zmenu relatívnej polohy Zeme a Slnka a v dôsledku rotácie Zeme mení.



Obr. 1 Heliograf s tromi páskami rozličnej dĺžky

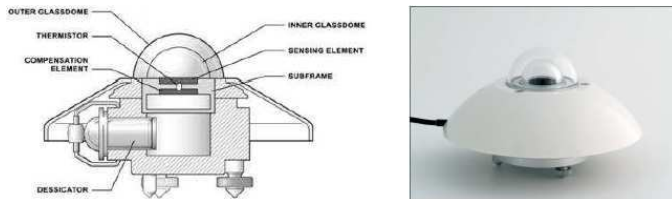
Prístroj je konštruovaný tak, že do priestoru pohybujúceho sa ohniska sa vkladá teplocitlivá indikačná stupnica s časovou osou. Používajú sa tri druhy záznamových pásk s rôznou dĺžkou, ktoré sú umiestnené v troch rôznych polohách na kruhovom prstenci podľa výšky Slnka nad horizontom, ktorá je vždy daná ročnou dobou v čase merania. Citlivosť tejto pásky je $120 \text{ W}/\text{m}^2$. Ak teda intenzita slnečného žiarenia dosiahne túto hodnotu, začne sa na indikačnej stupnici vypaľovať stopa. V prípade poklesu intenzity pod túto hodnotu stopa zaniká. Podľa dĺžky vypálenej stopy potom vieme určiť dĺžku slnečného svitu v daný deň.

III. MERANIE INTENZITY SLNEČNÉHO ŽIARENIA

Intenzita slnečného žiarenia je ekvivalentná množstvu tepla, ktoré vzniká, ak žiarenie je pohltené telesom s dokonalou absorpciou. Intenzita slnečného žiarenia je udávaná vo $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ a jej meranie sa realizuje nasledovnými spôsobmi [3], [4], [5]:

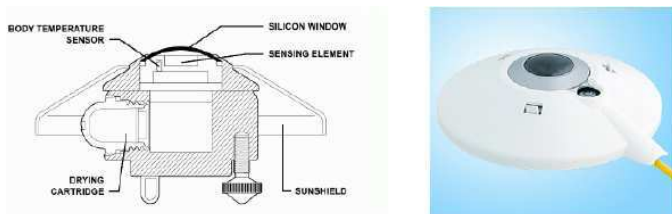
- meraním teploty čierneho telesa s maximálnou absorptivitou, ktoré je ohrievané slnečným žiarením,
- meraním napätia termoelektrického článku,
- meraním prúdu fotoelektrického článku.

Pyranometer (Obr. 2) slúži na meranie slnečného žiarenia s krátkou vlnovou dĺžkou a funguje na princípe termoelektrického javu. Aktívnu časť pyranometra tvoria čierne a biele plochy šachovnicového usporiadania, na ktorých vplyvom dopadajúceho slnečného žiarenia vzniká teplotný rozdiel. Tento rozdiel je pretransformovaný prostredníctvom termočlánku na elektrické napätie, ktoré je výstupnou veličinou z pyranometra. Zmena tohto napätia je priamo úmerná zmene intenzity slnečného žiarenia. Spektrum snímania slnečného žiarenia je zabezpečené optickými vlastnosťami sklenej kupoly, ktorá zabezpečuje dopad žiarenia len s krátkou vlnovou dĺžkou ($\lambda < 3,5 \mu\text{m}$). Pomocou pyranometra sa dá merať veľkosť priameho, difúzneho a globálneho slnečného žiarenia.



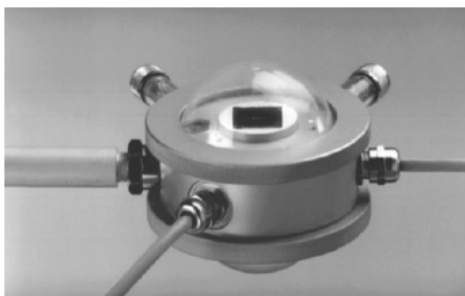
Obr. 2 Pyranometer

Pyrgeometer (Obr. 3) na rozdiel od pyranometra slúži na meranie slnečného žiarenia s dlhou vlnovou dĺžkou. Ide o infračervené žiarenie s vlnovou dĺžkou 4,5 až 100 μm . Jeho konštrukcia sa skladá z termočlánku, z kremíkovej kupoly, z teplotného snímača a zo slnečnej clony. Termočlánok zabezpečuje prevod infračerveného žiarenia na elektrický signál. Kremíková kupola slúži ako filter pre žiarenie s krátkou vlnovou dĺžkou. Slnečná clona zabraňuje ohrievaniu prístroja od priameho slnečného žiarenia. Pyrgeometer sa využíva najmä v meteorologickom výskume na pozorovanie zmeny klimatických podmienok.



Obr. 3 Pyrgeometer

Pyrradiometer (Obr. 4) zabezpečuje meranie slnečného žiarenia krátkej i dlhej vlnovej dĺžky (0,3 – 100 μm), preto ho môžeme považovať za kombináciu pyranometra a pyrgeometra. Túto funkciu zabezpečí tým, že používa dva snímače, ktoré merajú nezávisle. Tento prístroj je vybavený špeciálnou lupolenovou kupolou, ktorá umožňuje merať slnečné žiarenie v širokom spektrálnom intervale.



Obr. 4 Pyrradiometer

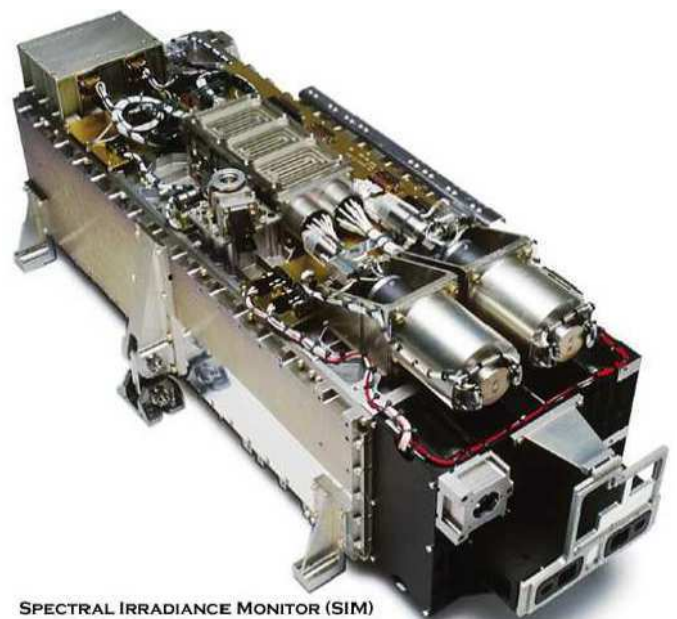
IV. MERANIE SPEKTRÁLNEJ INTENZITY SLNEČNÉHO ŽIARENIA

Na meranie užšieho úseku spektra slnečného žiarenia sa nepoužívajú vyššie popísané prístroje s termočlánkom, ale špeciálne vyrobené polovodičové fotosnímače. Takéto prístroje sú konštruované tak, aby ich spektrálna citlivosť odpovedala prakticky využívanému spektru slnečného žiarenia. Typický príklad takéhoto snímača je **LI-190SA** (Obr. 5), ktorý slúži na meranie intenzity slnečného žiarenia v rozsahu 400 – 700 nm, ktorý je vhodný pre použitie v poľnohospodárstve a fotovoltaických solárnych systémoch.



Obr. 5 Vyhotovenie fotodiódy LI-190SA

Výsledkom najnovších výskumov je zariadenie **SIM** (Obr. 6) vyvinuté v NASA pre potreby kozmického výskumu. Slúži na dlhodobé meranie a mapovanie solárneho spektra. Obsahuje tri snímače, z ktorých každý zabezpečuje meranie v určitej časti solárneho spektra. Jednou zo zložiek kompletného systému je XPS, ktorý monitoruje slnečné žiarenie vlnových dĺžok v rozsahu $\lambda = 0 - 30 \text{ nm}$. Druhú časť tvorí SOLSTICE, ktorý monitoruje oblasť ultrafialových žiarení ($\lambda = 200 - 300 \text{ nm}$) a tretím zariadením je SIM, ktoré sleduje viditeľné spektrum svetla a blízke infračervené žiarenie ($\lambda = 300 - 2400 \text{ nm}$). Pomocou tohto zariadenia je možné analyzovať vplyv zmeny intenzity slnečného žiarenia na globálnu klímu. Poskytuje aj informáciu o rozložení energie slnečného žiarenia v jednotlivých častiach spektra.



Obr. 6 Zariadenie SIM na monitorovanie solárneho spektra

Na sledovanie dlhodobých zmien intenzity slnečného žiarenia dopadajúceho na Zem bolo vyvinuté zariadenie **TIM**. Pomocou tohto

prístroja sa monitoruje závislosť klimatických zmien od slnečnej aktivity. Umožňuje aj sledovanie dlhodobých solárnych cyklov.

V. KALIBRÁCIA PYRANOMETROV

Najčastejšie používaným prístrojom v solárnej technike je pyranometer využívajúci na meranie intenzity slnečného žiarenia termoelektrický jav. Napriek tomu, že vo svete tieto zariadenia vyrába viacero firiem, vzhľadom na rozptyl nameraných výsledkov, boli pre celosvetovú meteorologickú sieť určené pyranometre Kipp & Zonen. Avšak aj tieto pyranometre je pre dosiahnutie presných výsledkov potrebné pravidelne kalibrovať.

V Laboratóriu netradičných zdrojov energie (LNZE) sú pri meraniach intenzity slnečného žiarenia používané tri pyranometre rozdielnej konštrukcie od rôznych výrobcov (Obr. 7). Vzhľadom na ich rozdielne hodnoty výstupných napätí je potrebné zabezpečiť ich zhodné výstupné parametre pri rovnakej intenzite slnečného žiarenia.



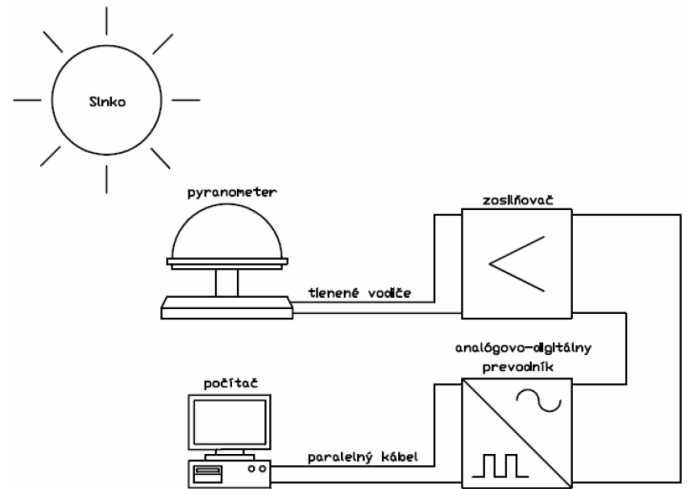
Obr. 7 Pyranometre používané v LNZE

Ako normál slúži pyranometer č. 1, ktorý bol kalibrovaný podľa prístroja z medzinárodnej meteorologickej siete. Tento prístroj je konštruovaný tak, že umožňuje plynulú horizontálnu aj vertikálnu zmenu polohy snímača. Druhý snímač je konštrukčne identický, avšak bez polohovacích mechanizmov. Tretí pyranometer je od firmy Kipp & Zonen.

S uvedenými prístrojmi bolo vykonané porovnávacie meranie za jasného slnečného dňa s nasledovným výsledkom:

- Prístroj č. 2 v porovnaní s č. 1 vykazoval v priemere o 1,1 % vyššie hodnoty.
- Pyranometer č. 3, v porovnaní s č. 1, vykazoval o 7,5 % nižšie výstupné napätie.

Vzhľadom na to, že pri meraniach na solárnych zariadeniach je potrebné vychádzať z hodnoty priamej, difúznej a odrazenej zložky slnečného žiarenia, bolo potrebné realizovať úpravu výstupných napätí z pyranometrov tak, aby ich údaje boli priamo porovnateľné pomocou výpočtovej techniky s programovým vybavením LabVIEW. Výstupné napätia z pyranometrov bolo teda potrebné zosúladiť a digitalizovať, aby ich bolo možné softvérovo aj hardvérovo upravovať a spracovávať. Na tento účel bolo navrhnuté zariadenie, ktorého bloková schéma pre jeden kanál je na Obr. 8.



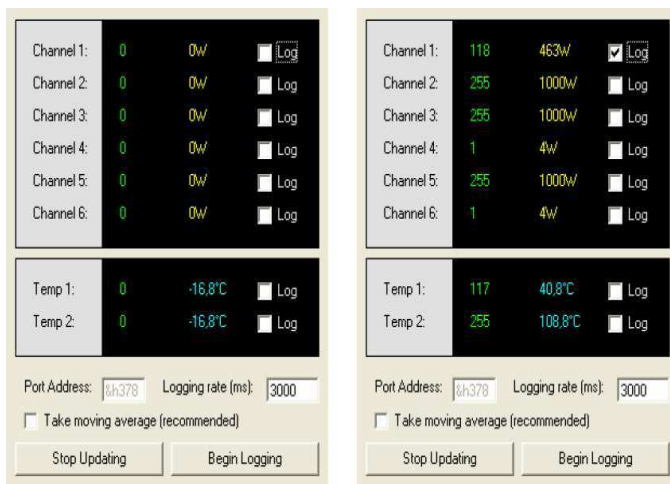
Obr. 8 Bloková schéma meracieho zariadenia pre jeden pyranometer

Výstupné napätie z každého pyranometra vstupuje do vlastného kanálu prístrojového zosilňovača s vysokou linearitou zosilnenia a možnosťou jeho nastavenia tak, aby na jeho výstupe bolo napätie 1000 mV pri 1000 W/m². Nameraný údaj následne vstupuje do analogovo-číslcového prevodníka, na výstupe ktorého je PC s programovým vybavením LabView 2000 pre spracovanie a zobrazenie nameraných výsledkov [6]. Prístroj je konštruovaný so štyrmi samostatnými kanálmi (Obr. 9).

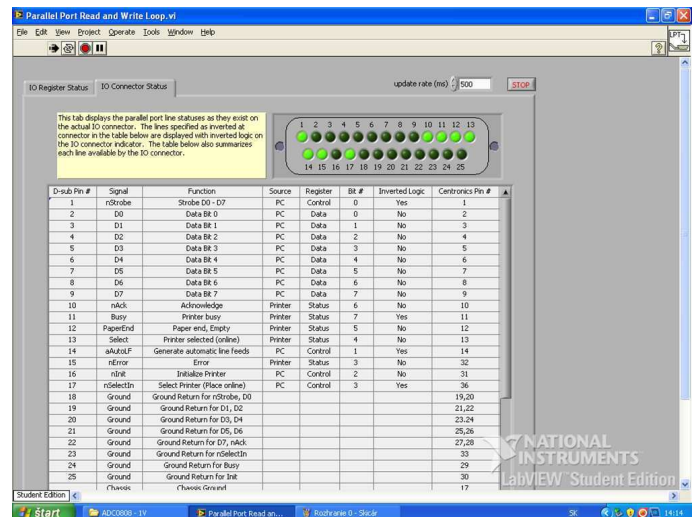


Obr. 9 Štvorkanálový merací zosilňovač a prevodník

Signál z prevodníka ide ďalej do počítača na spracovanie. Prepojenie medzi meracím zariadením a počítačom bolo riešené pomocou paralelného portu. Pre prvé experimentálne merania intenzity slnečného žiarenia bolo vytvorené v programovacom jazyku Visual Basic používateľské rozhranie, prostredníctvom ktorého boli zobrazované namerané hodnoty. Zobrazenie nameraných hodnôt intenzity slnečného žiarenia v jednotlivých meracích kanáloch je na Obr. 10.



Obr. 10 Používateľské rozhranie v zastavenom stave

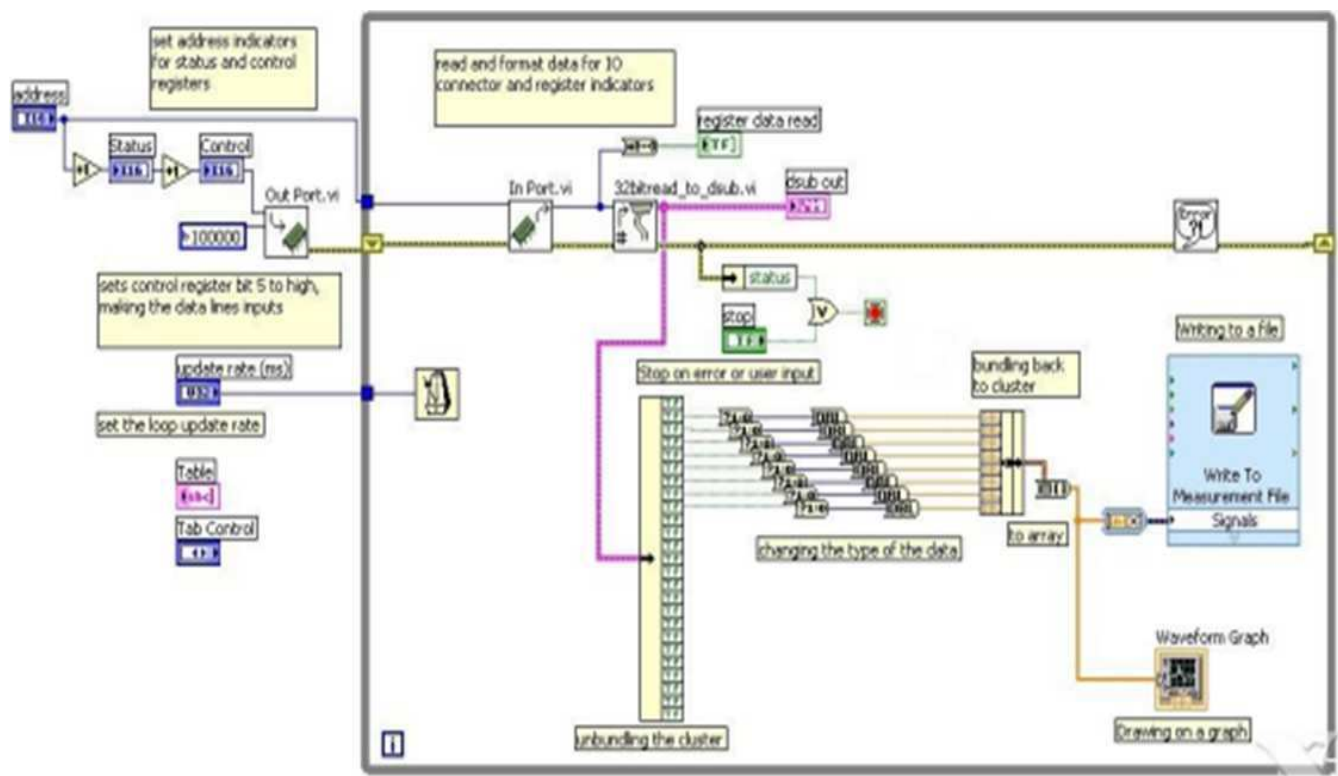


Obr. 11 Používateľské rozhranie LabVIEW

VI. VYUŽITIE PROGRAMOVÉHO VYBAVENIA LABVIEW

Pri konštrukcii prístroja bolo veľmi užitočné využiť užívateľského rozhrania LabVIEW, ktoré umožňuje zobrazenie stavu jednotlivých výstupných pinov (Obr. 11).

Na Obr. 12 je bloková schéma spolupráce meracích prístrojov s LabVIEW prostredníctvom programového vybavenia LabVIEW, ktoré umožňuje softvérovú korekciu nameraných hodnôt jednotlivými pyranometrami, aby bol dosiahnutý súbeh.

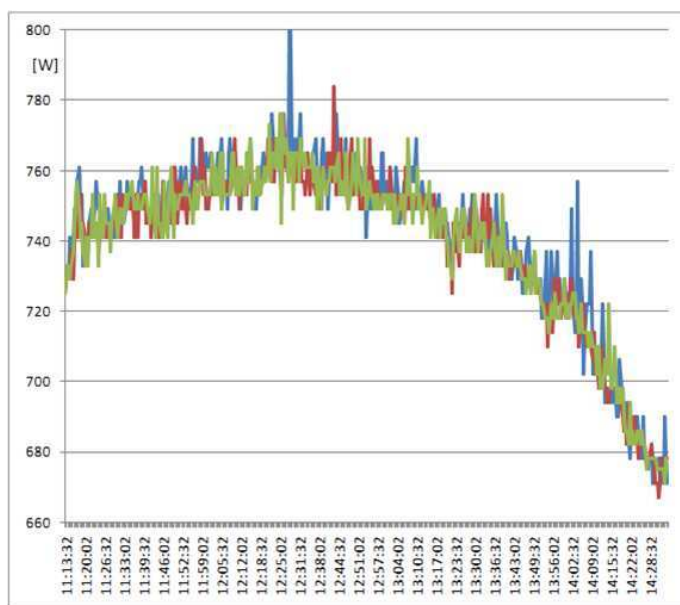


Obr. 12 Bloková schéma spolupráce meracích prístrojov s LabVIEW

Pri overovaní meraní boli kalibrované pyranometre č. 2 a č. 3 podľa pyranometra č. 1. Všetky pyranometre boli po dôkladnom vyčistení sklenených krytov umiestnené a nastavené do vodorovnej roviny. Výsledky meraní so skalibrovanými pyranometrami sú na Obr. 13, z ktorého je zrejmé, že bol dosiahnutý pomerne uspokojivý súbeh, aj keď k úplnej zhode nedošlo. Prejavila sa konštrukčná odlišnosť pyranometra č. 3 (modrý priebeh), ktorého snímač je oddelený od okolia dvojistou sklenenou kopulou, oproti č. 1 a č. 2

(zelený a červený priebeh), ktoré sú od toho istého výrobcu, ale aj tu je badať istú odchýlku.

Z nameraných výsledkov vyplýva, že pri realizácii takýchto meraní by bolo najvhodnejšie v ideálnom prípade použiť tri pyranometre od toho istého výrobcu a z rovnakej výrobnej série. Pomocou skonštruovaného zariadenia a programového vybavenia je možné výstupné hodnoty kalibrovaných pyranometrov korigovať, podľa normálového pyranometra.



Obr. 13 Porovnanie výstupov z jednotlivých pyranometrov

VII. ZÁVER

Na základe získaných výsledkov je možné konštatovať, že zvolený postup je správny a umožňuje značné zjednodušenie merania intenzity slnečného žiarenia bez potreby prepočtov. Meracie zariadenie umožňuje skalibrovateľ ľubovoľný pyranometer pokiaľ nemá porušenie linearitu. V ďalšom období, pre zabezpečenie možnosti názorného porovnania nameraných výsledkov priamo počas merania, je potrebné realizovať spoluprácu s programovým vybavením LabVIEW, ako aj ďalšími meracími prístrojmi.

Takýto postup je však vhodný hlavne na výskumné účely. Pri bežnom využívaní slnečnej energie, pomocou malých ostrovných distribuovaných solárnych zariadení, postačuje na orientačné vyhodnotenie energetických a ekonomických prínosov meranie globálneho žiarenia dopadajúceho na horizontálnu rovinu [7], [8], [9].

Pri zariadeniach, ktoré sú zamerané na využívanie slnečného žiarenia so zvýšenou efektívnosťou, ako sú napr. polohované a termofotovoltaické systémy, je nevyhnutné sledovať okamžité hodnoty priameho a difúzneho slnečného žiarenia, ako aj ich priestorové rozloženie [10], [11]. V takýchto prípadoch je meracie

stanovište dopĺňované viacsegmentovými snímačmi rozloženia žiarenia.

POĎAKOVANIE

Práca bola realizovaná s podporou projektu Agentúry na podporu výskumu a vývoja APVV-0185-10 a projektu Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva VEGA 1/0099/09.

LITERATÚRA

- [1] CIHELKA, J.: *Solárni tepelná technika*. T. Malina, Praha, 1994.
- [2] MARKO, Š. et al.: *Energetické zdroje a premeny*. Alfa, Bratislava, 1989. ISBN 80-05-00084-7
- [3] DOSTÁL, Z.: Meracie zariadenie dopadajúceho slnečného žiarenia. In: *Zborník prednášok 31. NZEE, ČES VUT Brno*, 2010, s. 57-68, ISBN 978-80-02-02243-5
- [4] DOSTÁL, Z. - ŽUPA, J. - HEREC, I.: Možnosti merania intenzity slnečného žiarenia pomocou článkov SMA. In: *Zborník z konferencie 27. NZEE, ČES VUT Brno*, 2006, s. 56-62. ISBN 80-02-01842-7
- [5] DOSTÁL, Z. - BOBEK, M. - ŽUPA, J.: Meranie globálneho slnečného žiarenia. In: *Acta Montanistica Slovaca*, roč. 13, 2008, č. 3, s. 357-362. ISSN 1335-1788
- [6] *Hardware Integration with NI LabVIEW*. National Instruments. [online] Publikované 2011. Dostupné z <<http://www.ni.com/labview/what-is/hardware-integration/>>.
- [7] TAUŠOVÁ, M. - TAUŠ, P. - KOŠČO, J.: Ekonomika ostrovej FV elektrárne v podmienkach Slovenska. In: *Zborník prednášok ALER 2009*, Liptovský Ján, 2009, s. 1-8. ISBN 978-80-554-0099-0
- [8] TAUŠ, P. - RYBÁR, R.: Využitie fotovoltaických článkov v mestskej zástavbe s napojením na verejnú sieť. In: *Acta Montanistica Slovaca*, roč. 6, 2001, č. 5, s. 41-45.
- [9] BAČA, P.: Ostrovní systémy: Problematika akumulácie elektrické energie z FV do olověného akumulátoru. In: *Zborník prednášok z 30. NZEE, ČES VUT Brno*, 2009, s. 70-73. ISBN 978-80-02-02164-3
- [10] KOŠČOVÁ, M. - EXNAR, Z.: Fuzzy riadenie systému solárnych navádzačov. In: *ALER 2010, ŽU Žilina*, 2010, s. 181-187. ISBN 978-80-554-0242-0
- [11] VANĚK, J.: Termofotovoltaika. In: *Zborník prednášok z 30. NZEE, ČES VUT Brno*, 2009, s. 27-33. ISBN 978-80-02-02164-3

ADRESY AUTOROV

Ján Tkáč, Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská republika, Jan.Tkac@tuke.sk
 Marek Hvizdoš, Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská republika, Marek.Hvizdos@tuke.sk