

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky



***Výskum charakteristík fotovoltaiických komponentov
pre efektívne projektovanie solárnych systémov***

Odborná publikácia riešiteľov projektu s ITMS kódom 26220220080

Dr. h. c. prof. Ing. Michal Kolcun, PhD.
Ing. Dušan Medveď, PhD.
Ing. Jaroslav Petráš, PhD.
Ing. Rastislav Stolárik
Ing. Štefan Vaško



PODPORUJEME VÝSKUMNÉ AKTIVITY NA SLOVENSKU
PROJEKT JE SPOLUFINANCOVANÝ ZO ZDROJOV EÚ



Výskum charakteristík fotovoltaiických komponentov pre efektívne projektovanie solárnych systémov

Autori:

- Dr. h. c. prof. Ing. Michal Kolcun, PhD., TU v Košiciach
- Ing. Dušan Medved', PhD., TU v Košiciach
- Ing. Jaroslav Petráš, PhD., TU v Košiciach
- Ing. Rastislav Stolárik, VADIUM, s.r.o.
- Ing. Štefan Vaško, VADIUM, s.r.o.

Recenzenti:

- Ing. Jaroslav Džmura, PhD.
- Ing. Martin Kanálik, PhD.

Technická podpora:

- Dagmar Kramolišová, TU v Košiciach
- Ing. Dušan Medved', PhD., TU v Košiciach

Výskum charakteristík fotovoltaiických komponentov pre efektívne projektovanie solárnych systémov

Copyright © Košice 2014, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská Republika.

ISBN 978-80-553-1961-2.

Všetky práva vyhradené. Vyrobené na Slovensku.

Náklad: 200 ks

Táto publikácia môže byť ďalej reprodukována pre výučbové a nekomerčné účely. Za obsah publikácie zodpovedajú autori.
Citácia na túto publikáciu:

Výskum charakteristík fotovoltaiických komponentov pre efektívne projektovanie solárnych systémov. Technická univerzita v Košiciach, 2014. – 120 s.— ISBN 978-80-553-1961-2.

Obsah

Obsah	3
1 Ciele a význam projektu	5
2 Fotovoltické komponenty pre podmienky stredného podnebného pásma	8
2.1 Základné rozdelenie FV článkov	8
2.2 Tenkovrstvové FV články	10
2.2.1 Amorfné články a-Si	10
2.2.2 Články CIS/CIGS	13
2.2.3 Články CdTe	14
2.2.4 Výhody oproti ostatným technológiám	15
2.3 Vývojové trendy	19
2.3.1 Farbivom senzitivované slnečné články (DSSC)	21
2.4 Výroba amorfného článku	30
2.5 Základné elektrické parametre	32
2.5.1 Napätie naprázdno U_{OC}	33
2.5.2 Skratový prúd I_{SC}	33
2.5.3 Maximálny výkon P_{MPP}	33
2.5.4 Napätie a prúd v bode maximálneho výkonu MPP	33
2.5.5 Účinnosť ϕ	34
2.5.6 Fill Factor FF	34
2.5.7 Sériový odpor R_S	34
2.5.8 Paralelný odpor R_P	35
2.6 Degradáčny mechanizmy	35
2.6.1 Steabler-Wronski efekt	35
2.6.2 Sezónny efekt	36
2.6.3 Metódy potlačenia Steabler-Wronskiho efektu	37
2.7 Testovanie amorfných panelov	37
2.7.1 Solárne simulátory	38
2.7.2 Štandardné testovacie podmienky STC	39
2.7.3 Light-soaking podľa STN EN 61646	39
2.7.4 Light-soaking podľa rozdielnych noriem	41
2.7.5 Light-soaking podľa Mitsubishi	42
2.7.6 Žihanie	44
3 Použité fotovoltické články	45
3.1 Popis vybavenia v laboratóriu	45
3.2 Navrhované fotovoltické články pre experimenty v laboratóriu	56
4 Meranie fotovoltických komponentov	66
4.1 Popis meracej aplikácie	66
4.2 Jadro meracej aplikácie	71
4.3 Porovnávacie merania parametrov fotovoltických panelov	101
4.3.1 Merania podľa typu panelov	101
4.3.2 Merania podľa orientácie panelu	102
4.3.3 Merania podľa počasia počas meraného intervalu	104
4.3.4 Merania podľa ročného obdobia vybraného meraného intervalu	107
4.3.5 Merania parametrov jednotlivých typov fotovoltických panelov	109
4.3.6 Porovnanie spôsobu spracovania dát	112
5 Záver	116
Použitá a odporúčaná literatúra	118

1 CIELE A VÝZNAM PROJEKTU

Predkladaný projekt „*Výskum charakteristík fotovoltaických (FV) komponentov pre efektívne projektovanie solárnych systémov*“ v podmienkach stredného pásma, s ITMS kódom 26220220080“ (resp. ŽoNFP) priamo reagoval na cieľ opatrenia 2.2 Operačného programu Výskum a vývoj, ako je zvyšovanie miery spolupráce výskumno-vývojových inštitúcií (Technická univerzita v Košiciach) s hospodárskou praxou (VADIUM, s.r.o.) prostredníctvom prenosu poznatkov a technológií a tým k prispievaniu zvyšovania hospodárskeho rastu regiónu (Prešovský samosprávny kraj a Košický samosprávny kraj) a celého Slovenska.

Svojimi aktivitami sa projekt zameriaval na vecnú prioritu výskum a vývoja č. 6. Energia a energetika.

Projekt bol zameraný na financovanie priemyselného a aplikovaného výskumu v oblasti „*Výskumu charakteristík fotovoltaických komponentov pre efektívne projektovanie solárnych systémov*“ v podmienkach stredného pásma formou priamej partnerskej spolupráce podniku s akademickou sférou (Technická univerzita v Košiciach), pričom nositeľom projektu – žiadateľom – je samotný podnik, čo zabezpečilo súlad projektu s požiadavkami praxe.

Cieľom realizácie projektu bolo zvýšiť hospodársku efektívnosť na mikroúrovni ako aj makroúrovni, a tým prispieť k trvalo udržateľnému rastu ekonomiky a zamestnanosti v regióne prostredníctvom priemyselného výskumu, ktorého výsledky smerujú k ich využitiu vo výrobe a službách oblasti „*Výskumu charakteristík fotovoltaických komponentov pre efektívne projektovanie solárnych systémov*“ v podmienkach stredného pásma. Cieľom bolo ďalej rozvíjať pevnejšie väzby medzi podnikmi a akademickými inštitúciami realizujúcimi priemyselný výskum a to aj s využitím výskumno-vývojovej základne s osobitným zameraním na podporu pozitívnych vplyvov výskumu a vývoja na životné prostredie.

Potreba výskumu fotovoltaických komponentov z pohľadu zlepšovania charakteristík v podmienkach stredného pásma je priamo v korelácii s trendom nárastu využívania obnoviteľných a netradičných zdrojov energie a politiky EÚ (FP7) ako aj vecných priorít výskumu a vývoja SR v oblasti „Energia a energetika“ (Dlhodobý zámer štátnej vednej a technickej politiky do roku 2015, schválený uznesením vlády SR č. 766/2007). Keďže žiadateľ, spoločnosť VADIUM, s.r.o., už v danej oblasti úspešne pôsobil, bol predpoklad, že po ukončení projektu sa jeho pôsobnosť doplní aj o nové postupy v oblasti projekcie

a produkcie fotovoltických komponentov. Zároveň sa projektom podporuje rozvoj výskumu a transfer perspektívneho odvetvia do regiónu Východného Slovenska.

Na základe tematiky a obsahu projektu (oblasť zamerania projektu) sa stanovil výber aktivít. Skúmaním sa spresnila východisková situácia v dispozíciách fotovoltických komponentov dostupných na globálnom trhu z hľadiska ich charakteristík pre aplikácie v strednom pásme (Cieľ 1, Aktivity 1.1 a 1.2). Následne sa skúmali nové charakteristiky cestou kombinácie fotovoltických materiálov v niekoľkých vrstvách za účelom zvýšenia účinnosti fotovoltických materiálov pri zhoršených podmienkach (sklon panelu, intenzita svetla, rozptyl svetla, ...) (Cieľ 2, Aktivity 2.1 a 2.2). Zároveň sa vytvorilo združené pracovisko spoločnosti VÁDIUM, s.r.o. a TUKE pre skúmanie uvedeného problému.

Východisková situácia.

Stratégia rozvoja TUKE jednoznačne deklaruje trvalé zlepšovanie kvality a efektívnosti spolupráce s hospodárskou praxou. Kvalita znamená predovšetkým zabezpečenie aktívnej, vzájomne prospešnej výskumnej, vývojovej a inovačnej spolupráce s praxou. Efektívnosť je spojená predovšetkým s obsahom, rozsahom a najmä dopadom spoločných výskumných projektov, resp. aktivít spojených s inováciami, transferom poznatkov a technológií na rast konkurenčnej schopnosti hospodárskych subjektov.

Z tohto pohľadu bola cieľová orientácia podávaného projektu zameraná na vytvorenie spoločného priestoru na podporu výskumu zvyšovania účinnosti fotocitlivých materiálov pre potreby stredného podnebného pásma a na vypracovanie postupov pre efektívne projektovanie fotovoltických systémov.

Spoločné pracovisko bolo kreované v súlade so strategickým zámerom TUKE, ktorý zohľadňuje aj ciele s „Dlhodobým zámerom štátnej a technickej politiky do roku 2015“ zamerané na zlepšenia efektívnosti spolupráce „akademického“ výskumu s praxou v oblasti inovácií a prenosu poznatkov a technológií do praxe a zvýšenia efektívnosti dopadov týchto aktivít na rozvoj konkurenčnej schopnosti v tejto významnej oblasti ochrany životného prostredia ako v priemyselnej, tak aj v spoločenskej praxi v rámci Slovenska.

Jedným z poslání projektu bolo vytvoriť účelné výskumné a vývojové pracovisko, ktoré zlepšilo interakciu a dopady akademického výskumu na inovačné potreby spoločenskej a hospodárskej praxe v oblasti rozvoja a uplatnenia obnoviteľných zdrojov energií v kontexte slovenskej a európskej inovačnej stratégie.

Vlastná štruktúra aktivít zabezpečujúcich naplnenie špecifického cieľa vychádzala z predbežného prieskumu obsahu, rozsahu a dopadu výskumných prác vykonávaných na

Technickej univerzite v Košiciach a profesijných schopností a odborných zručností zainteresovaných pracovníkov Katedry elektroenergetiky FEI TU v Košiciach. Vlastný prieskum sa vykonal pred spracovaním predkladaného projektového zámeru. Následne analýza prieskumu významne prispela k formulácii strategického cieľa a nadväzujúcich špecifických cieľov, ako aj k ich rozkladu na výskumné aktivity projektu.

Aktivita 1.1 a 1.2 bol zabezpečený teoretický a experimentálny výskum existujúcich fotocitlivých materiálov využívaných pre fotovoltické technológie. Na základe výsledkov boli v aktivite 2.1 navrhnuté nové optimálne kombinácie fotocitlivých materiálov pre podmienky stredného podnebného pásma, ktoré boli skúmané a výsledky meraní na navrhnutých a inštalovaných technológiách boli porovnávané s výsledkami dosiahnutými v aktivite 1.2. Výsledky výskumu v spoločne vytvorenom laboratóriu poviedli v rámci Aktivity 2.2 k vypracovaniu postupov pre efektívne projektovanie fotovoltických systémov v podmienkach stredného pásma.

2 FOTOVOLTICKÉ KOMPONENTY PRE PODMIENKY STREDNÉHO PODNEBNÉHO PÁSMA

V posledných rokoch sa stále častejšie hovorí o efektívnejšom využívaní elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov, pretože celková spotreba elektrickej energie na svete každý deň rastie a neexistuje nevyčerpatel'ný zdroj elektrickej energie. Jednou z možností je získavanie elektrickej energie zo slnečného žiarenia, ktoré je zdrojom zabezpečujúcim život na našej planéte tak, ako ho poznáme.

Veda zaoberajúca sa priamou premenou slnečnej energie na elektrickú sa nazýva fotovoltika. Je to celosvetovo jeden z najrýchlejšie rozvíjajúcich sa vedných oborov s ročným nárastom inštalovaného výkonu prevyšujúcim 30 %. Vývojové trendy nám napovedajú, že záujem o fotovoltický priemysel sa neustále zvyšuje a v budúcnosti bude mať veľký podiel na celkovej výrobe elektrickej energie. Fotovoltika zaznamenala najväčší rozmach za posledných 20 rokov a v súčasnosti je vývoj zameraný výhradne na technológie tenkovrstvových článkov.

Medzi túto technológiu patria taktiež články na báze amorfného kremíka a jeho vylepšené modifikácie, ktoré sú stále vo vývoji a sú predmetom skúmania mnohých výrobcov. Najdôležitejším skúmaným parametrom stále zostáva dosiahnutá účinnosť FV (fotovoltických) článkov pri súčasnom znižovaní výrobných nákladov. V tejto kapitole publikácie je hlavná pozornosť venovaná tenkovrstvovým článkom na báze amorfného kremíka, ich výrobe, modifikáciám, základným elektrickým parametrom a degračným mechanizmom, ktoré ovplyvňujú konečnú efektívnosť článku. Sú tu popísané procedúry a podmienky, pri ktorých je možné dosiahnuť výkonovú stabilizáciu elektrických parametrov článkov.

2.1 Základné rozdelenie FV článkov

Prvá generácia

Prvou generáciou sa nazývajú fotovoltické články využívajúce ako základ kremíkové dosky. Sú dnes najrozšírenejšou technológiou na trhu (cca 90 %) a dosahujú pomerne vysokú účinnosť premeny (v sériovej výrobe 16 až 19 %, špeciálne štruktúry až 24 %). Komerčne sa začali predávať v sedemdesiatych rokoch. Aj keď je ich výroba relatívne drahá (a to práve

z dôvodu drahého vstupného materiálu – kryštalického kremíka), budú ešte v niekoľkých ďalších rokoch na trhu dominovať [1].

Druhá generácia

Hlavným dôvodom vývoja tejto technológie je nedostatok kremíka s výhľadom na potreby budovania fotovoltických zdrojov do roku 2100. Ďalším dôvodom bola predovšetkým snaha o zníženie výrobných nákladov úsporou drahého základného materiálu – kremíka. Články druhej generácie sa vyznačujú 100 ÷ 1000-krát tenšou aktívnou absorbujúcou polovodičovou vrstvou (*thin-film*). Druhá generácia fotovoltických článkov je tvorená tenkovrstvovými článkami na báze amorfného kremíka (a-Si), amorfných zliatin Si-Ge (a-SiGe), mikrokryštalického Si (μ c-Si) alebo polykryštalického tenkovrstvového Si (poly-Si).

S úsporou materiálu došlo v porovnaní s článkami prvej generácie k poklesu výrobných nákladov (a teda za predpokladu veľkosériovej výroby i k poklesu ceny), naproti tomu dosahovaná účinnosť je obyčajne nižšia, ale skúsenosti z vývoja naznačujú, že táto účinnosť v budúcnosti porastie. Nie je vylúčené, že viacvrstvé štruktúry dokonca účinnosť kremíka v budúcnosti predbehnú. Nespornou výhodou tenkovrstvových článkov je možnosť voľby substrátu, na ktorom sa tenkovrstvé štruktúry deponujú a v prípade použitia flexibilných materiálov (organické, kovové či textilné fólie) i značne širšie aplikačné uplatnenie. Komerčne sa začali články druhej generácie predávať v polovici osemdesiatych rokov [1].

Tretia generácia

Pokus o „fotovoltickú revolúciu“ predstavujú solárne články tretej generácie. Tu je hlavným cieľom nielen snaha o maximalizáciu počtu absorbovaných fotónov a následne generovaných párov elektrón-diera („prúdový“ zisk), ale aj maximalizáciu využitia energie dopadajúcich fotónov („napätový“ zisk fotovoltických článkov). Existuje rad smerov, ktorým je vo výskume venovaná pozornosť:

- viacvrstvé solárne články,
- články s viacnásobnými pásmi,
- články, ktoré by využívali „horúce“ nosiče náboja pre generovanie viacerých párov elektrónov a dier,

- termofotovoltaická premena, kde absorbér je súčasne aj radiátorom vyžarujúcim selektívne na jednej energii (hladine),
- termofotonická premena, kde absorbér je nahradený elektroluminiscenciou,
- články využívajúce kvantové javy v kvantových bodoch alebo kvantových jamách,
- priestorovo štruktúrované články vznikajúce samoorganizáciou pri raste aktívnej vrstvy,
- organické články.

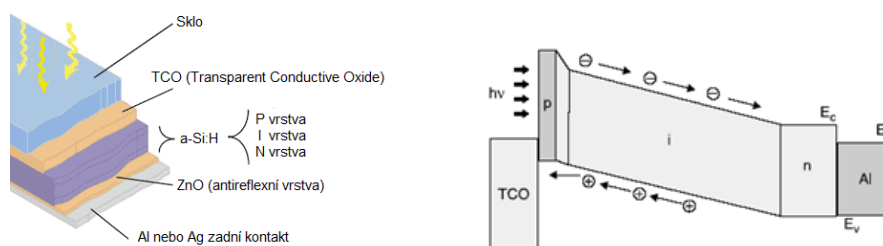
Zatiaľ jediným komerčným príkladom dobre fungujúcich článkov tretej generácie sú viacvrstvové štruktúry [1].

2.2 Tenkovrstvové FV články

Pri materiáloch s vysokým absorpčným koeficientom je možné realizovať fotovoltaický článok vo vrstve o hrúbke niekoľkých μm , čo predstavuje výrazné úspory polovodičového materiálu. Tenkovrstvové články a moduly boli vyvíjané prakticky súbežne s článkami z kryštalického kremíka. Pre tenkovrstvové články a moduly je nutná technológia výroby umožňujúca realizovať reprodukovateľne tenké vrstvy s vysokou účinnosťou fotovoltaickej premeny energie a vysokou stabilitou [2].

2.2.1 Amorfné články a-Si

Kremík v amorfnej forme má absorpčnú hranu na rozhraní infračervenej a červenej. K úplnej absorpcii viditeľného svetla postačuje len vrstva s hrúbkou cca $1\ \mu\text{m}$, pretože amorfný kremík má asi 10-krát vyšší absorpčný koeficient α v oblasti slnečného žiarenia oproti kryštalickému kremíku. Amorfné články môžu byť vďaka tejto tenkej vrstve pružné a ohybné.

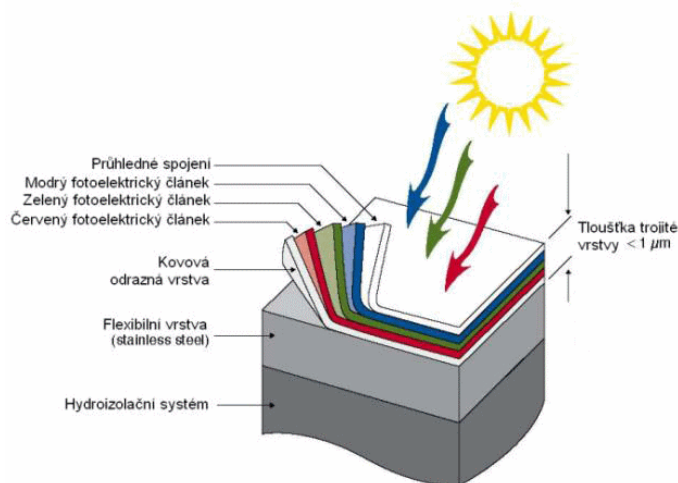


Obr. 1 Štruktúra článku a-Si (vľavo), proces generovania páru elektrón-diera v P-I-N [3]

Pre zlepšenie zberu fotogenerovaných nositeľov je zvolená štruktúra P-I-N (Obr. 1). Vrstva P je schopná zachytiť len malé množstvo fotónov, zatiaľ čo veľká väčšina párov elektrón-diera je generovaná v oblasti silného vnútorného elektrického poľa v nedotovanej intrinsickej vrstve I.

Viacvrstvové články

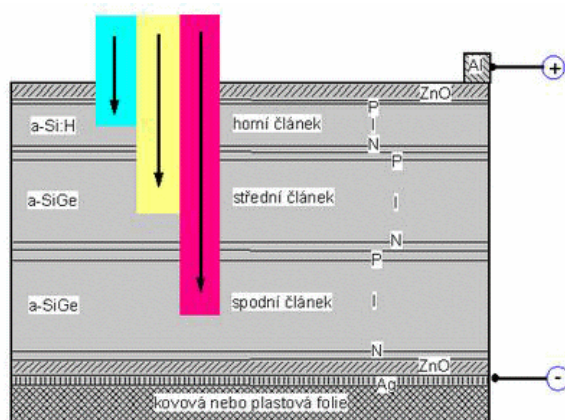
Zvýšenie účinnosti amorfneho článku sa docieľuje kombináciou viacerých vrstiev a-Si, kde každá vrstva využíva len časť slnečného spektra a zvyšné žiarenie prepúšťa do nižších vrstiev. V súčasnosti je známa technológia *Triple Junction* (Obr. 2), ktorá pri článkoch umožňuje vyššie využitie spektra slnečného žiarenia. Každá vrstva je dotovaná iným prvkom tak, aby celkové využitie energie spektra slnečného žiarenia bolo maximálne.



Obr. 2 Štruktúra trojvrstvového článku a-Si [4]

Základ článku tvoria tri bunky amorfneho kremika vákuovo nanesených v troch P-I-N prechodoch nad sebou na podkladovej vrstve (Obr. 3). Spodný záporný pól článku tvorí základná fólia z ušľachtilej oceľovej fólie vhodne upravenej plastickými poťahmi, na ktorú sú nanášané jednotlivé P-I-N prechody. Horný kladný pól je vytvorený z priehľadnej mriežky z vlákien z ušľachtilej ocele. Materiál tvoriaci jednotlivé P-I-N prechody môže byť rôzny. Prvý prechod je tvorený a-Si:H, druhý prechod je tvorený zliatinou a-Si-Ge a tretí prechod je taktiež tvorený zliatinou a-Si-Ge, ale s vyšším obsahom Ge, aby sa docielilo využitie celého spektra slnečného žiarenia. Každý z P-I-N prechodov absorbuje totiž inú vlnovú dĺžku spektra slnečného žiarenia. [4] Hrúbka každej vrstvy je potom zvolená tak, aby v každej z nich bolo generované rovnaké množstvo elektrónov a dier (rovnaký prúd), výsledné napätie na článku je

potom dané súčtom jednotlivých napätí a presahuje 2 V, sériovým zapojením je potom dosiahnuté žiadané výstupné napätie [4].

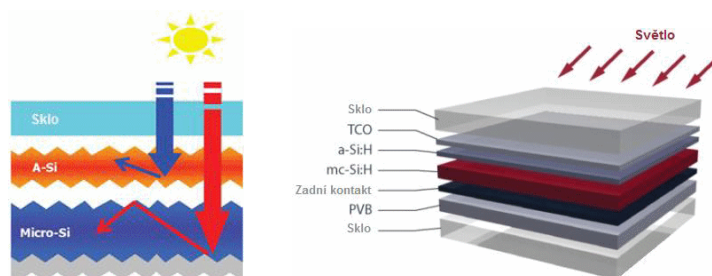


Obr. 3 Zloženie trojvrstvového článku a-Si [5]

FV systémy na báze trojvrstvej technológie môžu využívať vedľa červenej zložky aj zelenožltú zložku a modrú dopadajúceho svetla a zostávajú preto funkčné aj pri difúznom svetle pri zatičení a pri zatahnutej oblohe. Môžu teda pracovať aj na plochách odvrátených od Slnka [4].

Mikroamorfne články a-Si/ μ c-Si

Jedná sa o tzv. tandemovú štruktúru s dvojítym prechodom absorbujúcim viac denného svetla a tým vylepšuje energetickú účinnosť FV modulu. Amorfny kremík má vysokú absorpciu v oblasti modrej, zelenej a žltej časti spektra. Naopak, mikrokryštalický kremík potom dobre absorbuje aj v červenej oblasti a infračervenej, ako je zobrazené na Obr. 4. Fotovoltický účinok je tvorený na dvoch ultra-tenkých vrstvách kremíka: mikrokryštalický kremík a amorfny kremík.

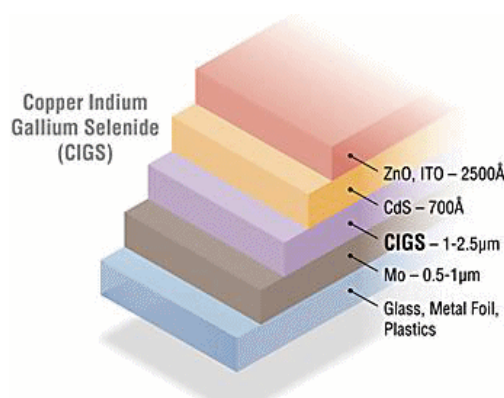


Obr. 4 Princíp pohlcovania žiarenia (vľavo) a štruktúra tandemového článku [6]

Kremíkové vrstvy sú deponované na sklenený substrát a to rovnakým zariadením, ako sa používa na výrobu plochých LCD (Obr. 4). Kremíkové vrstvy pokrývajú sklenenú podložku a niekoľko rezov laserom rozdelí tenké polovodičové vrstvy na jednotlivé FV články a to po celom module. Zadný elektrický kontakt je potom deponovaný (položený) na celú štruktúru článku a jednotlivé články prepojí do série. Ďalej je vytvorená bezrámová štruktúra modulu sklo/sklo tým, že sa prilaminuje pomocou spojovacej medzivrstvy (PVB alebo EVA) druhá doska skla. Tento „sendvič“ plne chráni FV vrstvy a elektrické kontakty vo vnútri tohto tzv. laminátu. Tým je zaručená dlhodobá celistvosť modulu. Pokovované oceľové profily prilepené na zadnú stranu modulu plnia dve funkcie. Jednak spevňujú modul a ďalej môžu slúžiť pre pripevnenie modulu na nosnú konštrukciu [6].

2.2.2 Články CIS/CIGS

Technológia CIGS má PN prechod zložený zo 4 prvkov: meď-indium-gálium-diselenid (Obr. 5). Jednotlivé vrstvy sú nanášané naparovacou technológiou. Tenká vrstva CIGS je deponovaná na podkladové sklo pokryté molybdénom. Tenké linky vytvorené laserom oddeľujú jednotlivé články na podkladovom skle a tie sú potom prepojené do série. Transparentná vrstva ZnO odvádza elektrický prúd generovaný fotovoltickým účinkom dopadajúceho slnečného svetla.



Obr. 5 Štruktúra článku CIS/CIGS [7]

CIGS technológia dosahuje vyššiu konverznú účinnosť. Z rovnakého množstva slnečného žiarenia generuje viac elektriny než ostatné tenkovrstvové články. Účinnosť je cca 8,5 ÷ 12 % a je veľmi stabilná tzn., nedegraduje. Výkon ostatných FV materiálov môže rapídne klesať s dobou užívania. Pridaním malého množstva gália dochádza k rozšíreniu

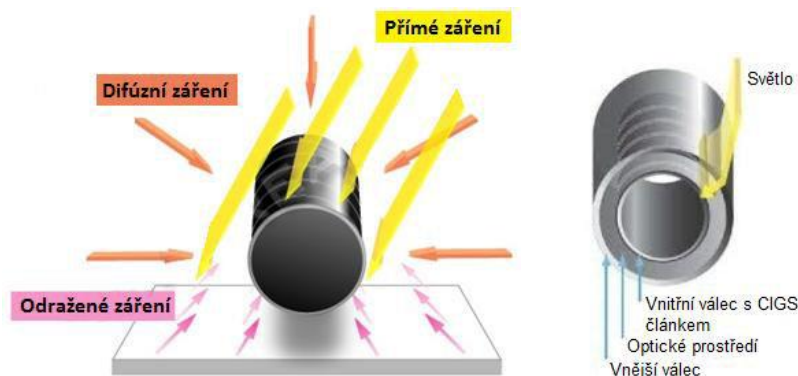
absorpčného pásma, čo viac odpovedá solárnemu spektru, a tým zvýšeniu účinnosti solárnej bunky.

Trubicové systémy

Výhody CIGS článkov využívajú pokročilé trubicové systémy, ktoré vedia spracovať všetky druhy žiarenia: priame, difúzne a odrazené (Obr. 6). Solárny modul je hermeticky uzavretý, aby nedochádzalo k stratám výkonu. Tesnenie zo skla a kovu na konci každej trubice spoľahlivo bráni vniknutiu vlhkosti, čo zaručuje spoľahlivosť, odolnosť a účinnosť FV systému. Trubice týchto solárnych modulov sú tvorené z dvoch v sebe uložených valcov (Obr. 6):

- Vnútorňý valec obklopuje solárny článok CIGS, ktorý je sám chránený špeciálnou silikónovou tekutinou v medzipriestore a vo vonkajšom valci.
- Vonkajší valec láme dopadajúce svetlo a vedie ho priamo k článku bez ohľadu na to, v akom uhle dopadajú svetelné lúče na modul [8].

Priestor medzi dvoma valcami je vyplnený chemickým materiálom tvoriacim optickú šošovku. Tá napomáha koncentrácii dopadajúcich lúčov, ktoré dopadajú na fotovoltaickú vrstvu vždy kolmo [8].

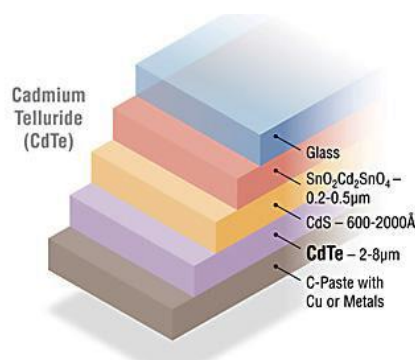


Obr. 6 Princíp pohlcovania žiarenia (vľavo) a konštrukcia trubicového článku [8]

2.2.3 Články CdTe

PN prechod článku CdTe sa skladá zo zlúčeniny kadmia a telúru. Horná vrstva je typu P (CdS – Kadmium Sulfid) a spodná vrstva je typu N (CdTe). Obe vrstvy sú veľmi tenké (Obr. 7) a pri výrobe sú nanášané vo vákuovej komore. Za zmienku stojí, že táto technológia

využíva veľmi málo polovodičového materiálu (2 % v porovnaní s technológiou kryštalických kremíkových článkov).



Obr. 7 Štruktúra článku CdTe [7]

CdTe ponúka hneď niekoľko výhod oproti ostatným tenkovrstvovým technológiám. Jedná sa o relatívne jednoduchú a tým pádom lacnú výrobu. Energetická návratnosť (EPBT – Energy Payback Time) je najnižšia zo všetkých tenkovrstvových technológií. V súčasnosti je návratnosť menej než 1 rok a stále klesá. Ďalšou výhodou CdTe modulov je najlepšia hodnota teplotného koeficientu, vďaka ktorému článok ne stráca svoj výkon aj pri vysokých teplotách. CdTe články je veľmi výhodné použiť v oblastiach s vysokým zatienením, kde dokážu využiť veľkú časť denného spektra. Dosiadnuteľná účinnosť sa pohybuje v rozmedzí 9 ÷ 11 %. Prehľadné porovnanie tenkovrstvových technológií je uvedené v Tab. 1.

Tab. 1 Účinnosť a potrebná plocha najpoužívanejších tenkovrstvových článkov

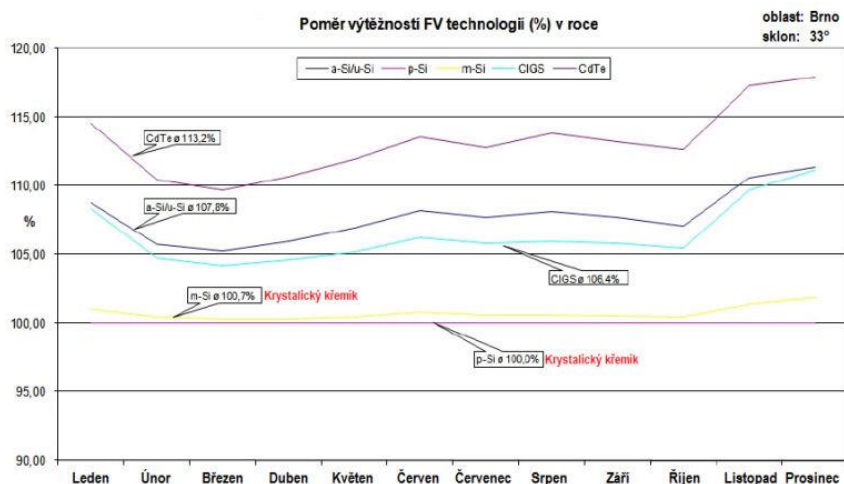
Typ technológie	a-Si:H	CdTe	CIGS/CIS	a-Si/ μ c-Si
Účinnosť [%]	5 ÷ 9	9 ÷ 11	7 ÷ 11	7 ÷ 9
Potrebná plocha na kW _p [m ²]	15	9	10	12

2.2.4 Výhody oproti ostatným technológiám

a) Vyššia energetická využiteľnosť

Tenkovrstvové technológie pracujú aj za zhoršených klimatických podmienok, takže reálny vygenerovaný výkon je cca o 8 ÷ 11 % väčší než pri paneloch na báze kryštalického kremíka (Obr. 8). Je to v dôsledku toho, že pri nižších intenzitách slnečného žiarenia rastie

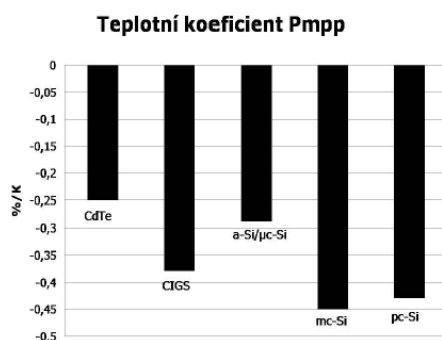
relatívna účinnosť amorfného článku, zatiaľ čo pri článku na báze kryštalického kremíka klesá. Priemerné zloženie ročného ožiarenia v SR sa skladá okolo 65 ÷ 70 % z difúznej zložky, na ktorú je amorfný článok citlivý.



Obr. 8 Porovnanie využiteľnosti jednotlivých technológií [9]

b) Lepší výkonový teplotní koeficient γ

Všeobecne sú fotovoltické technológie vysoko závislé od teploty. Každý panel má svoj výkonový teplotný koeficient, ktorý popisuje pokles výkonu panelov s nárastom teploty. Ako referenčná hodnota je braná teplota 25 °C. Porovnanie jednotlivých technológií je graficky zobrazené na Obr. 9, kde je vidieť, že priemerná hodnota výkonného koeficientu pri tenkovrstvovej technológii je výrazne nižšia, než pri článku na báze kryštalického kremíka. Táto vlastnosť predurčuje amorfný článok napr. k použitiu na strechy budov, kde pri letných mesiacoch sú vysoké teploty.



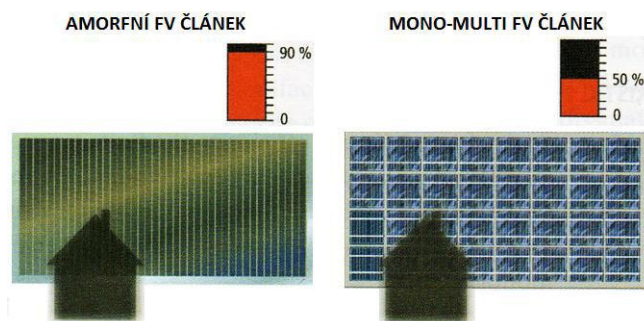
Obr. 9 Porovnanie teplotných koeficientov jednotlivých technológií [9]

c) Lepší napät'ový teplotný koeficient β

Tento koeficient popisuje rozdiel výstupného napätia panelov v závislosti od ich teploty. Ako referenčný údaj je opäť braná teplota 25 °C. Pre porovnanie napríklad priemerná hodnota napät'ového koeficientu pri tenkovrstvovej technológii je $\beta = -0,28 \text{ \%}/^\circ\text{C}$, zatiaľ čo pri článku na báze kryštalickeho kremíka $\beta = -0,38 \text{ \%}/^\circ\text{C}$. Napät'ový teplotný koeficient musíme napr. uvažovať pri návrhu FVE. V danej lokalite musíme počítať s určitým rozsahom teplôt, ktorý sa nám premietne na počte panelov zapojených v sérii do jedného stringu a taktiež na výbere invertora. Tu nám vyvstáva výhoda použitia amorfných článkov. Inverory majú vždy určitý rozsah pracovného napätia a pri veľkom rozsahu teplôt je väčší problém nájsť optimálny inverter pre FVE projektovanú z panelov na báze kryštalickeho kremíka.

d) Vyššia odolnosť proti zatieneniu

Panely c-Si sú veľmi náchylné na zatienenie každého jednotlivého FV článku. Pri zatienení FV článku sa začne správať ako spotrebič a ohrozí správnu funkciu celého FV modulu a to má za následok ovplyvnenie i celého stringu. Amorfné články sú vďaka inej technológii podstatne odolnejšie voči čiastočnému, ale aj celkovému zatieneniu (Obr. 10).



Obr. 10 Vplyv zatienenia článku na jeho celkový výkon

e) Nižšia citlivosť od uhla dopadu svetla

Amorfné články nie sú tak závislé od orientácie k Slnku ako c-Si články, pri ktorých je ideálna orientácia k juhu so sklonom cca $30 \div 35^\circ$ (v závislosti od ročného obdobia sa ideálny sklon značne mení). Technológia je vhodná na miesta, kde nie je možné splniť požiadavku optimálnej orientácie fotovoltického systému, teda v prípadoch, kedy je kolektorové pole

nutné orientovať skôr na východ alebo na západ, teda pri odchyľkách viac ako 45° od juhu. Amorfné články majú teda ďaleko väčší rozsah využitia, od plochých striech, cez fasády, až po otvorené inštalácie s veľmi malým uhlom náklonu modulov.

f) Nižšia cena

Výhodou amorfných článkov je ich nízka výrobná cena. Ešte donedávna boli amorfné panely lacnejšie o $30 \div 40\%$ oproti c-Si panelom, avšak v posledných rokoch čínski výrobcovia stlačili cenu c-Si na tak nízku cenu, že rozdiel je už minimálny. Pri veľkých amorfných paneloch je možné usporiť na inštalačných nákladoch za konštrukciu aj DC kabeláže.

g) EPBT (Energy Pay-Back Time)

V preklade sa jedná o návratnosť vloženej energie pri výrobe. Napríklad v SR sa náklady za vyrobenú energiu na výrobu vrátia už za cca 1,5 roka. Pri c-Si technológii je to za cca 4 roky.

h) Prijemný vzhľad

Veľké amorfné moduly sú prijateľnejšie aj po vizuálnej stránke, pretože panel neobsahuje rámček a má homogénnu farbu (Obr. 11).



Obr. 11 Amorfné panely vo veľkom vyhotovení [9]

2.3 Vývojové trendy

Trh v oblasti fotovoltiky je veľmi dynamický a v posledných rokoch došlo k jeho rapidnému vývoju. Vďaka rastúcemu záujmu o obnoviteľné zdroje energie sa výrobné procesy v poslednej dobe značne zdokonalili. Hlavným cieľom všetkých výrobcov je zvyšovať efektivitu článkov pri súčasnom znižovaní výrobných nákladov. Cena na jednotku výkonu je stále hlavným faktorom v tejto oblasti. Pre dosiahnutie tohto cieľa je potrebné predovšetkým znížiť cenu vstupného materiálu, zjednodušiť a zľaviť technológiu výroby a zvýšiť konverznú účinnosť FV článkov. Ďalšími nie menej dôležitými faktormi sú samozrejme životnosť článkov a pokles výkonu s časom. Výrobcovia používajú celý rad spôsobov, ako zdokonaľiť súčasné technológie.

Medzi niektoré spôsoby patrí:

- **Znižovanie optických strát** – lepšie antireflexné vrstvy alebo štruktúrovaný povrch skla pri paneloch.
- **Zmenšenie plochy a odporu kontaktov** – napr. presunutím zberných kontaktov na zadnú stranu sa zvýši účinnosť.
- **Vylepšenie vlastností vlastného článku** – napr. eliminácia porúch v PN priechode alebo dielektrická pasivačná vrstva, ktorá znižuje pravdepodobnosť rekombinácie elektrónov a dier.
- **Zvýšenie citlivosti na svetlo pri nižších vlnových dĺžkach** – napr. kombinácia vrstiev amorfného kremíka, ktorý má dobrú účinnosť v oblasti krátkych vlnových dĺžok a mikrokryštalického kremíka, ktorý je výhodný v oblasti dlhších vlnových dĺžok.
- **Prísnejšie kontroly počas výroby a pri používaní** – napr. metóda elektroluminiscencie.
- **Nové typy fólií na zadnej strane panelov** – prispieva k lepšiemu odrazu žiarenia, ktoré prešlo tenkou vrstvou kremíka a znížením odporu kontaktov.

Všeobecne je možné konštatovať, že najpruďší vývoj a inovácia nastáva na poli FV článkov 3. generácie, kde je stále nevyužitý hospodársky a technologický potenciál. Príkladom toho bol nemecký výrobca ZSW, ktorý 13.11.2013 oznámil, že dosiahol svetový rekord v účinnosti tenkovrstvových solárnych článkov vo výške 20,8 %. Táto hodnota je míľnikom vo svete tenkovrstvových technológií, pretože vôbec prvýkrát sa podarilo prekonať účinnosť technológie polykryštalických kremíkových článkov. Jednalo sa o FV článok vyrobený na báze CIGS.

V oblasti tenkovrstvových modulov prebieha vývoj predovšetkým smerom k zlacňovaniu technológie (napr. zvýšenie deponitnej rýchlosti jednotlivých vrstiev), zvýšeniu účinnosti a stability článkov, respektíve modulov. Táto požiadavka kladie veľké nároky na technologické zariadenia, ktoré predstavujú hlavnú časť nákladových položiek. V oblasti tenkovrstvových technológií je veľký potenciál pre znižovanie ceny modulov [2].

Jedno zo zaujímavých odvetví, ktoré zaznamenalo obrovský rozvoj, sú tenkovrstvové ohybné FV články. Jedná sa napríklad o trojvrstvový FV systém Triple Junction, ktorý môže slúžiť aj ako náhrada za strešnú krytinu (Obr. 12). Táto technológia má najväčší potenciál splniť požiadavky BIPV (*Building Integrated Photovoltaic*). V budúcnosti by tenkovrstvové technológie mohli ponúknuť výnimočné možnosti v celom rade aplikácií (automobilový priemysel, architektúra, móda, spotrebná elektronika atď.).



Obr. 12 Tenkovrstvový FV článok pre strešnú aplikáciu [10]

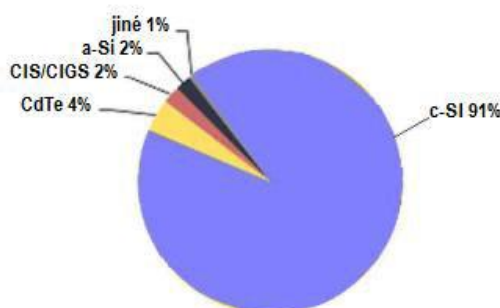
Niektorí výrobcovia experimentujú a predstavujú na trh tenké, ohybné a niekedy aj sčasti priehľadné amorfné články, ktoré údajne vyrobia viac energie na watt inštalovaného výkonu ako klasické kremíkové články. Žiaľ, najväčšou prekážkou je fakt, že 1 m² konkrétneho článku má slabý výkon.

Aj keď sa prední svetoví výrobcovia snažia prísť s novinkami v oblasti tenkovrstvových článkov, tak nie je možné v najbližších rokoch predpokladať ich masívne komerčné využívanie a na trhu budú ešte nejaký čas dominovať články na báze kryštalického kremíka, ako je vidieť na Obr. 13.

V štádiu výskumu a vývoja je celý rad ďalších materiálov a technológií ako:

- články na báze monokryštalických vrstiev
- články na báze organických polymérov

- fotochemické články (Gratzel, DSSC)
- články na báze nanočastíc
- články využívajúce kvantové javy v kvantových bodoch alebo jamách [5]



Obr. 13 Pomerové zastúpenie používaných solárnych článkov pre rok 2013 [10]

Za zmienku stojí bližšie uviesť využitie vyššie spomínaných fotochemických článkov, tzv. DSSC článkov.

2.3.1 Farbivom senzitivované slnečné články (DSSC)

Farbivom senzitivované slnečné články (DSSC), niekedy tiež označované ako farbocitlivé články (DSC), sú fotovoltické (slnečné) články tretej generácie, ktoré premieňajú akékoľvek viditeľné svetlo na elektrickú energiu.

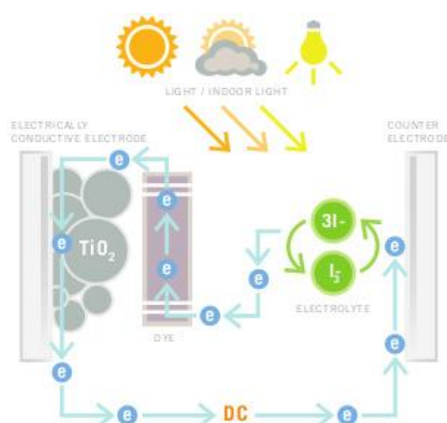
Táto nová trieda pokročilých slnečných článkov by sa dala prirovnať k umelej fotosyntéze podľa spôsobu, akým sa napodobňuje vstrebávanie svetelnej energie v prírode.

Farbivom senzitivované slnečné články (DSSC) boli vynájdené v roku 1991 profesorom Michaelom Grätzelom a Dr. Brianom O'Reganom na École Polytechnique Federale de Lausanne (EPFL), vo Švajčiarsku a preto sa často nazývajú tieto články ako Grätzelove články, alebo v skratke GCell.

DSSC technológia môže byť mnohokrato využitá, pretože aplikácie DSSC článkov nemajú hraníc a môžu sa použiť v širokom rozsahu svetelných podmienok ako v exteriéri, tak i v interiéri a umožňujú užívateľom premeniť prirodzené i umelé svetlo na užitočnú energiu pre napájanie širokej škály elektronických zariadení [19].

2.3.1.1 Ako funguje DSSC článok

Farbivo je fotoaktívny materiál DSSC, ktorý ak je senzibovaný svetlom, môže vyrábať elektrinu. Farbivo zachytáva fotóny dopadajúceho svetla (slnečné svetlo a tiež okolité umelé svetlo) a využíva ich energiu k excitácii elektrónov, teda správa sa ako chlorofyl pri fotosyntéze. Farbivo vstrekuje tento excitovaný elektrón do oxidu titaničitého (je to biely pigment bežne vyskytujúci sa v bielej farbe). Elektrón je odvádzaný od nanokryštalického oxidu titaničitého (v malej nano-kryštalickej vrstve oxidu titaničitého). Chemický elektrolyt v článku potom uzavrie obvod tak, že elektróny sa vrátia späť do farbiva. Pohyb elektrónov vytvára energiu, ktorú je možné získať napríklad do nabíjateľných batérií, superkondenzátorov alebo iných elektrických zariadení.



Obr. 14 Princíp výroby elektriny v DSSC článku

2.3.1.2 Výhody nasadenia DSSC

Výhody farbivom senzitovaných slnečných článkov sa ukazujú vo využití v rôznych aplikáciách, kde bežné solárne články nie sú vhodné. GCell články typu DSSC sa ukazujú ako jedny z perspektívnych fotovoltaických článkov tretieho typu, a sú vhodné aj do aplikácií vo vnútri budov.

Výhody DSSC článkov:

Výkon aj pri nízkom osvetlení

GCell články pracujú v širokom svetelnom spektre a za rôznych svetelných podmienok, ktoré robia tieto články vhodné pre aplikácie v miestach so zatienením alebo s difúznym svetlom, bez slnečného žiarenia.

Optimalizovaný výkon

GCell materiály a farbivá sa môžu vyladiť tak, aby boli optimálne pre rôzne svetelné podmienky, či už pre vnútorné alebo vonkajšie aplikácie.

Výkon aj pri vyššej teplote

Účinnosť GCell článkov nedegraduje so zvýšenou teplotou, takže je možné aj pri vyššej teplote článkov efektívne získavať energiu na priamom slnku.

Nízke výrobné náklady

GCell články sú vyrobené nízkoenergetickou sériovou metódou a sú vysoko efektívne.

Ekologicky šetrné solárne články

GCell používajú lacné a ekologicky šetrné nano-materiály, ktorých je v prírode dostatok, teda nie je obava o ich vyčerpanie.

Rozmanitosť podkladov

GCell sa vyrábajú na tenkej vrstve, na flexibilnom, robustnom, plastovom podklade. DSSC sa môžu tiež aplikovať na kovový alebo sklenený podklad.

Univerzálna integrácia článkov do rôznych aplikácií

Vnútorné moduly GCell sú vysoko flexibilné, odolné a ľahké. Vďaka tomu sú veľmi univerzálne a môžu byť začlenené do širokej škály výrobkov.

Predpokladané výhody DSSC do budúcnosti

DSSC je nová technológia, ktorá bola po prvý raz komerčne využitá spoločnosťou G24 v roku 2009 (pre porovnanie, solárne články prvej generácie boli využité v satelitných aplikáciách v roku 1958). Existuje mnoho ďalších budúcich výhod a možností DSSC, ktoré je

možné zahrnúť už pri výrobe, ako napríklad farebný tón, transparentnosť a zvyšovanie vyrábaného výkonu z danej plochy.

2.3.1.3 Efektívnosť DSSC

Za posledných 20 rokov sa účinnosť DSSC naďalej zvyšuje a najvyššia účinnosť bola dosiahnutá 15 % profesorom Michaelom Grätzelom a jeho tímom z École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL). Tieto výskumné články boli vyrobené v laboratórnych podmienkach a neskôr budú prenesené do sériovej výroby.

Meranie efektívnosti DSSC článkov

Účinnosť DSSC a ďalších solárnych článkov pre vonkajšie použitie, ako sú napríklad stavebné integrované fotovoltické články, sa zvyčajne meria za štandardných testovacích podmienok a to sú teplota 25 °C, ožiarenie 1000 W·m⁻², hustota vzduchu 1,5 kg·m⁻³. Za týchto testovacích podmienok solárny článok s 1 m² plochy a 10 % účinnosťou premeny energie vyrobí 100 W výkonu.

Efektívnosť DSSC pre vnútorné aplikácie

Naproti tomu, výpočet účinnosti DSSC článkov pre vnútorné aplikácie sa trochu odlišuje. Pre vnútorné priestory hustota vzduchu 1,5 kg·m⁻³ nie je relevantná pre FV aplikácie. Napríklad, ak by sme použili realistické vnútorné osvetlenie a povrch pre vnútorné aplikácie, tak podmienky by boli nasledovné: ožiarenie 100 mW·cm⁻², teda 1 cm² plochy článku vyrobí 10 mW pri 10 % účinnosti premeny.

Meranie slnečného výkonu pomocou hustoty energie

Pomocou hustoty výkonu sa môže realizovať konkrétnejšie meranie výkonu GCell článkov pri vnútorných aplikáciách. Táto metóda využíva výstupný výkon (napr. mikrowatty) pre danú plochu (napríklad na cm²) pri danej úrovni svietivosti (napríklad 200 luxov).

Zvyšovanie účinnosti DSSC

Potenciál na zvyšovanie účinnosti premeny energie DSSC článkov je jedným z dôvodov, pre ktorý sa tieto články považujú za veľmi sľubnú a ekonomicky efektívnu metódu premeny svetla na elektrickú energiu.

Zvyšovanie účinnosti DSSC článkov je podporené v rámci výskumno-vývojových programov v rámci veľkých chemických podnikov, ktoré umožňujú využitie nových kombinácií materiálov, chemického zloženia a bunkových štruktúr. Oblasť, v ktorých je možné zlepšiť účinnosť sú aj využitie nových farbív, elektrolytov, redoxných párov, fotoanód a zmena konfigurácie tandemových článkov.

Tak napríklad použitie dvoch úrovní tandemových DSSC článkov môže dosiahnuť až 46 % účinnosť premeny (podľa prof. Grätzela).

Teoretická hranica účinnosti DSSC

Teoretická fotoelektrická hranica účinnosti premeny DSSC článkov, využitím jednoduchého prepojenia za štandardných testovacích podmienok 32 % (podľa prof. Grätzela).

Dvojstupňový tandemový DSSC článok by mohol dosiahnuť za rovnakých podmienok 46 % účinnosť. Vyšší stupeň účinnosti, do 40 %, by mohol byť dosiahnutý pri vnútorných aplikáciách alebo difúznom svetle, ak je vo svetle aspoň malý obsah infračerveného žiarenia.

2.3.1.4 Flexibilné solárne články

Flexibilné solárne články od spoločnosti G24 Power sú pomerne ľahké a tenké, ale dosť robustné a odolné na to, aby vydržali každodenné použitie.

Vysoko flexibilné – boli tak testované, aby vydržali ohýbanie viac ako 10 000-krát do polomeru 25 mm, a ich výkon bol bez poklesu.

Robustné – sú dostatočne pevné, aby vydržali určitý náraz, teda nie je pri nich strach z rozbitia.

Tenké – približne 1 mm hrubá vrstva (cca hrúbka kreditnej karty) je potrebná pre dané články, ak by sa pridali na vhodné aplikácie.

Ľahké – sú ľahšie v porovnaní s krehkými sklenenými modulmi, teda je jednoduchšia preprava a nižšie riziko rozbitia počas prepravy.

Precízne skonštruovanie pre každodenné použitie

GCell články sú presne navrhnuté na flexibilných materiáloch a tak dávajú dizajnérom univerzálny nástroj s flexibilnými solárnymi článkami, ktoré môžu zapracovať do rôznych

aplikácií. Na rozdiel od pevných sklenených solárnych článkov, tieto články majú nízky profil, a tak aj lepšiu integráciu do príslušnej aplikácie. GCell sa často integrujú do tenkej vrstvy aplikácií s dobrým vzhľadom a tak, aby vonkajšia plocha bola čo najviac orientovaná k svetelnému zdroju a mohla tak získavať čo najviac energie zo svetla.

Ako jedna z potenciálnych úspor pri nasadení na už existujúce aplikácie je, že tieto pružné solárne články postačuje zafixovať na danú aplikáciu len obojstrannou lepiacou páskou, prípadne iným spôsobom. Články GCell nie je potrebné umiestňovať do špeciálneho rámčeka a chrániť sklenenú vrstvu ako pri konvenčných kremíkových článkoch.

Výroba solárnych článkov na ľahkých pružných podkladoch tiež umožňuje, aby boli výrobky navrhnuté so zníženou hmotnosťou (menej materiálu) a tak môže vzniknúť trh s novými ľahšími produktmi obsahujúcimi články GCell.



Obr. 15 Flexibilné GCell články

Prospešnosť pre koncového užívateľa

Mechanicky robustné a flexibilné solárne články, ktoré sa používajú zaintegrované v prenosnej elektronike (mobilný telefón, ovládač k TV, myš, klávesnica, ...), dávajú užívateľovi voľnosť v pohybe bez káblov a tiež užívateľ tak môže vďaka nim využívať zariadenia, bez toho, aby ich musel často nabíjať. Ich tvarová variabilnosť a farebný odtieň dopĺňa atraktivitu danej aplikácie.

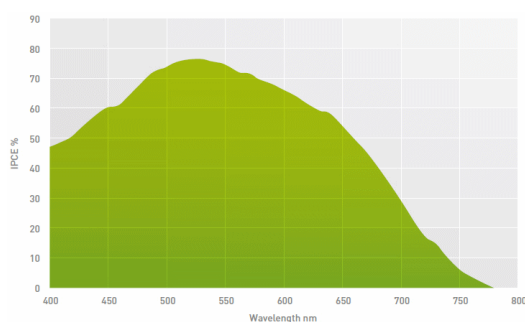
2.3.1.5 DSSC články pre vnútorné použitie

GCell je jednou z prvých volieb pre návrhárov a elektroinžinierov, ktorí hľadajú DSSC pre vnútorné aplikácie, sú flexibilné a majú pomerne dobrú výkonnosť pri nízkej intenzite svetla. S článkom GCell sa stáva **každý zdroj svetla** zdrojom energie.

GCell sa môžu začleniť do širokého spektra vnútorných a prenosných aplikácií, ktoré využívajú nabíjateľné batérie, super kondenzátory alebo priamo napájajú niektoré spotrebiče a využívajú jednorazové batérie (typu AA).

Výstup z GCell článkov, rovnako ako vo všetkých ostatných vnútorných solárnych článkoch, sa líši v závislosti od typu zdroja svetla, ktorému sú vystavené. Je to preto, lebo účinnosť fotoelektrickej premeny sa mení v závislosti od vlnovej dĺžky a intenzity dopadajúceho svetla.

Absorpčné spektrum GCell článkov je v rozmedzí od 390 až 700 nm. Vrchol absorpcie je približne v rozsahu 500 až 550 nm.

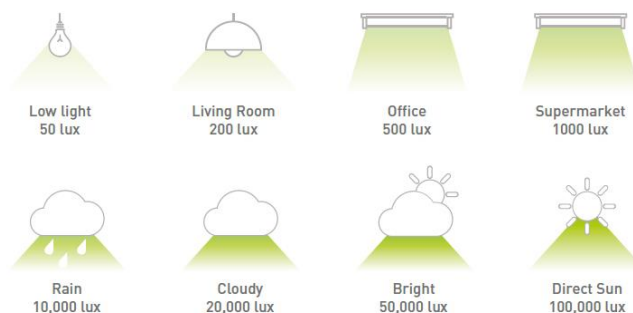


Obr. 16 Graf závislosti účinnosti fotoelektrickej premeny v závislosti od vlnovej dĺžky

Použitie GCell DSSC článkov pre vnútorné aplikácie

GCell sú stále použiteľné vo vnútorných priestoroch budov aj pri pomerne zlých svetelných podmienkach. Osvetlenie interiéru je zvyčajne uvedené v jednotkách lux. Táto jednotka osvetlenosti je založená na spektrálnej citlivosti ľudského oka, t.j. na viditeľnom svetle.

GCell pracujú v širokom rozsahu vnútorných svetelných podmienok od zlých svetelných podmienok (50 lux) po slabo osvetlenú obývaciu izbu (cca 200 lux), až po silne osvetlené supermarkety (1000 lux).



Obr. 17 Príklad osvetlenosti pre jednotlivé priestory a zdroje svetla

GCell články boli naladené na vnútorné svetelné podmienky a tak poskytujú vyšší výkon. Spektrálna odozva GCell článku je podobná ľudskému oku; infračervené a ultrafialové svetlo majú len malý vplyv na jeho energetickú účinnosť.

Nastavenie uhla dopadu

Svetlo vo vnútri budov je už difúzne (je rozptýlené), ako napr. svetlo z fluorescenčných trubíc (výbojok), takže vplyv svetla na uhol dopadu nemá veľký vplyv. Vzhľadom k tomu, že difúzne svetlo a uhol dopadu nemajú až taký veľký vplyv na účinnosť, intenzita osvetlenia má vplyv na účinnosť a teda aj na výstupný výkon GCell článkov.

Dokonca aj pri vonkajších svetelných podmienkach, účinnosť fotoelektrickej premeny GCell článkov nemá až taký rapidný vplyv na uhol dopadu. Nastavenie uhla dopadu v rozpätí od 60° do 90° vplýva na účinnosť približne 5 percentami.

2.3.1.6 Umelá fotosyntéza

Umelá fotosyntéza je fráza zavedená profesorom Michaelom Grätzelom, ktorá popisuje funkciu farbivom senzitivovaných slnečných článkov. Podobne ako list zo stromu, GCell zbiera energiu zo svetla a transformuje ju na využiteľnú energiu („palivo“).

Mnoho nových vedeckých technológií hľadá nové smery na výrobu čistého paliva bez toho, aby sa produkovali akékoľvek škodlivé vedľajšie produkty, ako napríklad skleníkové plyny. Umelá fotosyntéza má potenciál na výrobu paliva pre dopravu vo forme kvapalného vodíka (Liquid Hydrogen – LH₂) a paliva na báze uhlíka pre priemysel, ako je metanol (CH₃OH).

Napodobňovanie fotosyntézy

Odpoveď na otázku, čo presne sa deje v rastlinách pri dopade slnečného žiarenia, nie je jednoduchá. Vývoj rastlín sa vyvíjal miliardy rokov, až pokým sa vyvinul spôsob efektívneho využitia slnečnej energie fotosyntézou.

GCell články používajú napodobňovanie umelej fotosyntézy a vyrábajú elektrinu, ktorá sa použije na nabíjanie batérií alebo priamo na napájanie rôznych aplikácií. Využívanie energie dostupnej v slnečnom žiarení a čiastočne aj na recykláciu svetla z vnútorných

priestorov, je jednou z ciest pre nájdenie trvalého zdroja energie a tiež oblasť, v ktorej sa môže veda a výskum zdokonaľovať.

Aplikácie umelej fotosyntézy

GCell článkom sa podarilo replikovať prírodnú fotosyntézu a tiež priniesť nové objavy v oblasti fyziky, chémie, vedy o materiáloch a nanotechnológiách a tiež vytvoriť nové obchodné príležitosti pre aplikovanie článkov do prenosných zariadení, kde sa klasické kremíkové fotovoltické články nedajú použiť.

GCell články efektívne využívajú proces umelej fotosyntézy, ktorý je lacný a má široké uplatnenie. Vďaka svojej schopnosti využiť pomerne nízke osvetlenie alebo difúzne svetlo, GCell články majú veľký potenciál uplatniť sa v širokej škále trhu, kde sa iné fotovoltické technológie neuplatnili.

Vnútorne, prenosné a/alebo nositeľné aplikácie pre získavanie energie sa budú v budúcnosti častejšie objavovať vďaka GCell článkom a ponúknu tak rozvoj nových aplikácií.

Príklady využitia GCell článkov

- Spotrebná elektronika: hodinky, čítačka kníh, bezdrôtová klávesnica a myš, diaľkový ovládač, mobilný telefón, tablet;
- Sensory a akčné členy: ovládacie prvky, detektory pohybu/dymu,...., motorizované žalúzie, bezdrôtové snímače;
- Malo/veľkoobchod: elektronické cenovky, hovoriace akciové letáky, napájané bezkontaktné karty s čipom, označovače tovaru proti odcudzeniu, a pod.

Využitie DSSC článkov v projekte

V projekte s ITMS kódom 26220220080 mali byť použité DSSC články s kremíkovou vrstvou a umelým farbivom (farbivo 535-bisTBA, farbivo 505, farbivo 620-1H3TBA). Typ farbiva a jeho hrúbka má vplyv na účinnosť premeny slnečného žiarenia na elektrickú energiu.

2.4 Výroba amorfného článku

Táto kapitola sa zameriava predovšetkým na tenkovrstvové články vyrobené z amorfného kremíka, pretože pri meraní FV článkov vykazovali tieto články veľmi dobré hodnoty.

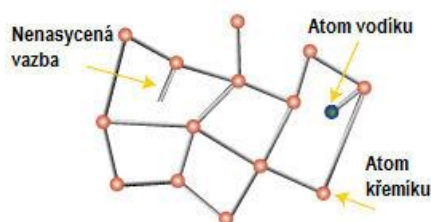
Výrobný proces funguje na princípe rozkladu vhodných zlúčenín kremíka, silánu (kremíkovodíky) alebo dichlórsilánu vo vodíkovej atmosfére. Amorfný kremík (a-Si) sa vyznačuje nepravidelnou kryštalickou štruktúrou, ktorá nie je periodická v celom objeme a obsahuje určité množstvo vodíka. Vplyvom neperiodicity vznikajú v materiáli nenasýtené väzby kremíka (poruchy) s homogénnym rozložením (Obr. 18). Atómy kremíka nemajú susedné atómy, s ktorými by mohli tvoriť väzbu. V týchto miestach môže dochádzať k rekombinácii nábojov, čo má za následok zníženie prúdu a účinnosti článku.

Nenasýtené väzby a-Si sú teda nežiaduce, a preto sa vzorky pasivujú vodíkom a získava sa tak a-Si:H (hydrogenizovaný amorfný kremík). Pri depozícii zo zmesi SiH₄ a H₂ potom vzniká a-Si:H, čo je „zliatina“ s obsahom 5 ÷ 10 % vodíka so zníženým výskytom nenasýtených väzieb na prijateľnú medzu (materiál vhodný pre výrobu solárnych článkov).

Vrstvy amorfného alebo kryštalického kremíka sú obyčajne deponované chemickou depozíciou z plynnej fázy, založené na dekompozícii silánu.



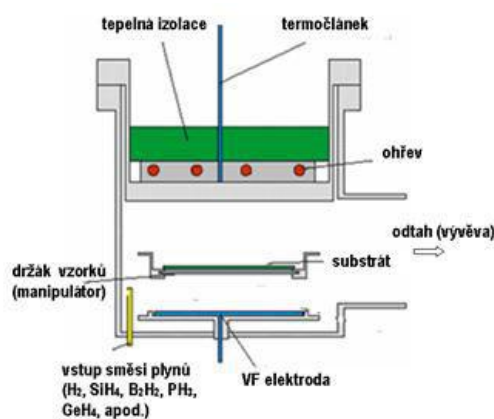
Rýchlosť rastu a štruktúra vrstvy (amorfný alebo mikrokryštalický kremík) závisí od teploty podložky a koncentrácie silánu v zmesi s vodíkom (nižšia koncentrácia silánu vedie k rastu mikrokryštalického Si).



Obr. 18 Štruktúra kryštalickej mriežky a-Si:H [11]

Amorfné články sa vyrábajú vo vákuovej komore (Obr. 19) pri teplotách okolo 200 °C, kde je naparovaním nanášaná veľmi tenká (0,001 mm) vrstva amorfného kremíka na

podkladový materiál (sklo, kov alebo plast). Výroba tenkovrstvových technológií je oproti kryštalickým technológiám výrazne lacnejšia, menej materiálovo i energeticky náročná a taktiež má menší dopad na životné prostredie. Tenké vrstvy sú deponované rôznymi technológiami; naparováním, naprašovaním, chemickou depozíciou z plynnej fázy (CVD), elektrochemicky, a pod. Vo väčšine prípadov sa vrstvy TCO (SnO_2 , ITO, ZnO) realizujú naprašovaním. Dôležitým konštrukčným a technologickým problémom je dosiahnutie nízkeho sériového odporu R_s . Vzhľadom k vysokému priečnemu odporu vrstiev sa z osvetlenej (prednej) strany fotovoltaického článku odvádza prúd pomocou vrstvy transparentného vodivého oxidu (TCO) slúžiaci aj ako antireflexná vrstva. Vrstva TCO často slúži ako difúzna bariéra na kovovom kontakte.



Obr. 19 Konštrukcia zariadenia pre výrobu a-Si článku [11]

V priebehu výroby sa nerealizujú jednotlivé články, ale len celé moduly v sekvencii technologických operácií. Z tohto dôvodu musia rozmery pracovnej komory depozičného zariadenia odpovedať rozmerom vyrábaného modulu. Priebeh výroby je nasledujúci [12]:

- na nosnú podložku (sklo, kov, plast) je deponovaná vrstva TCO (transparentný vodivý oxid),
- laserom sú oddelené oblasti jednotlivých článkov v tvare prúžkov (odstránenie TCO),
- uskutočnenie plazmatickej depozície tenkovrstvového článku,
- odstránenie štruktúry článku laserom v prúžku tesne priliehajúcom k hranici vymedzenej prvým laserovým rezom
- deponovanie kovového kontaktu (najčastejšie naprašovaním),
- rez laserom, odstraňujúci prúžok kovového kontaktu tak, aby vznikla štruktúra modulu so sériovo zapojenými článkami.

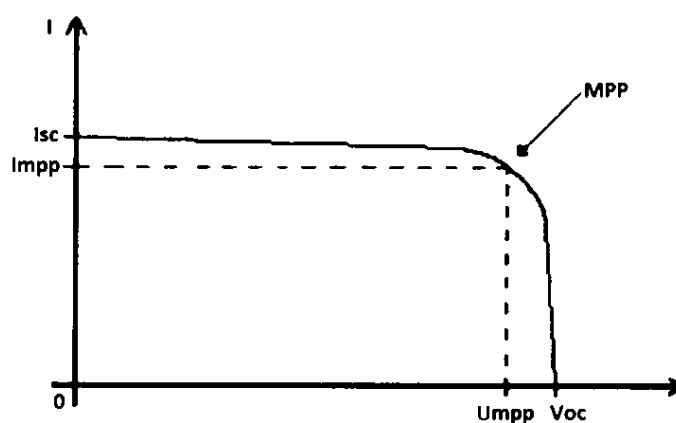


Obr. 20 Štruktúra konečného amorfného panelu [11]

Výsledný modul (Obr. 20) je zapuzdrený v priesvitnom polymérom ochrannom obale, ktorý je vysoko odolný voči mechanickému poškodeniu a oteru, má samočistiacu schopnosť a zabraňuje tvorbe usadenín na hornom povrchu, ktoré by znížovali účinnosť. Materiál obalu je na báze EVA a na báze teflónu – TEFZEL [13]. Ďalej sa na zadnú stranu pripojujú pomocou vodivého lepidla kontakty.

2.5 Základné elektrické parametre

FV článok si môžeme zjednodušene predstaviť ako PN priechod v priepustnom smere, ktorý má svoju konkrétnu UI charakteristiku a s tým spojené základné elektrické veličiny určujúce vlastnosti každého modulu. Ideálna UI charakteristika FV modulu má priebeh zobrazený na Obr. 21. Priebeh UI charakteristiky je značne závislý od teploty a intenzity slnečného žiarenia.



Obr. 21 UI charakteristika FV článku

2.5.1 Napätie naprázdno U_{OC}

Jedná sa o maximálnu hodnotu napätia na výstupných svorkách FV článku pri nulovom prúde, bez pripojenej záťaže pri danej teplote a intenzite osvetlenia. Hodnota U_{OC} sa pohybuje v desiatkach až stovkách V.

2.5.2 Skratový prúd I_{SC}

Jedná sa o maximálnu hodnotu prúdu pri danom osvetlení a pri nulovom napätí článku. Je teda rovný prúdu generovaného svetlom $I_{SC} = I_L$, pri predpoklade, že odpor R_{SO} je nulový. Veľkosť skratového prúdu je závislá od intenzity osvetlenia, spektrálnej citlivosti, ožiarenej plochy a teploty a pohybuje sa rádovo v jednotkách až desiatkach A [14].

2.5.3 Maximálny výkon P_{MPP}

Hlavnou jednotkou je W_p (Watt Peak – špičkový výkon). Jedná sa o maximálny výkon, ktorý je panel schopný dodávať pri dodržaní podmienok STC. Hodnota maximálneho výkonu je daná vzťahom (2).

$$P_{MPP} = U_{MPP} \cdot I_{MPP} \quad (2)$$

kde je U_{MPP} napätie v bode maximálneho výkonu panelu, I_{MPP} prúd v bode maximálneho výkonu panelu.

2.5.4 Napätie a prúd v bode maximálneho výkonu MPP

MPP je bod na UI charakteristike, ktorý udáva hodnotu maximálneho výkonu FV článku. Bod MPP je vyjadrený pomocou hodnoty prúdu (I_{MPP}) a napätia (U_{MPP}) z UI charakteristiky.

2.5.5 Účinnosť φ

Účinnosť fotovoltaického panelu je daná vlastnosťami materiálov, z ktorých je panel a fotovoltaický článok vyrobený. Materiál ovplyvňuje spektrálnu citlivosť článku na dopadajúce žiarenie, čo znamená, že článok panelu využíva energiu rôznych vlnových dĺžok s rôznou účinnosťou. Účinnosť článku fotovoltaického panelu môžeme definovať vzorcom (3).

$$\eta_{ef} = \frac{P_{MPP}}{P_{rad}} = \frac{P_{MPP}}{E \cdot A_c} \quad (3)$$

kde P_{rad} je výkon dopadajúceho žiarenia, E intenzita osvetlenia pri štandardizovaných skúšobných podmienkach, A_c plocha fotovoltaického článku [14].

2.5.6 Fill Factor FF

Je závislý od kvality kontaktov, morfológie materiálu a odporu aktívnej polovodivej vrstvy. V preklade ho poznáme pod názvom činiteľ plnenia, a čím je táto hodnota väčšia, tým väčší výkon je schopný FV článok dodať do záťaže. Priemerná hodnota pri amorfných článkoch sa pohybuje okolo 0,6. Fill Factor vychádza zo vzťahu (4).

$$FF = \frac{P_{MPP}}{I_{sc} \cdot U_{oc}} = \frac{U_{MPP} \cdot I_{MPP}}{I_{sc} \cdot U_{oc}} \quad (4)$$

2.5.7 Sériový odpor R_s

Je ukazovateľom kvality FV článku. Jedná sa o parazitný odpor, ktorý je odvodený z celkového odporu materiálu polovodiča, odporu kontaktov a prepojenia. Kvalitný článok by mal mať hodnotu R_s čo najnižšiu, pretože jeho vysoká hodnota spôsobuje úbytok napätia na svorkách panelu.

2.5.8 Paralelný odpor R_P

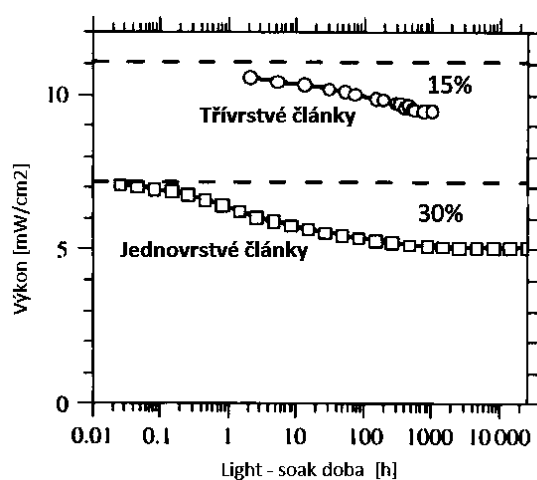
Vo väčšine prípadov je spôsobený rozsiahlymi defektmi. Príliš nízka hodnota R_P indikuje nekvalitný FV článok, ktorý sa správa takmer ako skrat. Hodnota by mala byť čo najvyššia (teoreticky nekonečný elektrický odpor).

2.6 Degradáčné mechanizmy

Degradáčné mechanizmy majú za následok zmenu elektrických a optických vlastností materiálu. Pri amorfnom kremíku sa na degradácii materiálu najviac podieľa vplyv osvetlenia, tiež známy ako Steabler-Wronski efekt (ďalej len SWE).

2.6.1 Steabler-Wronski efekt

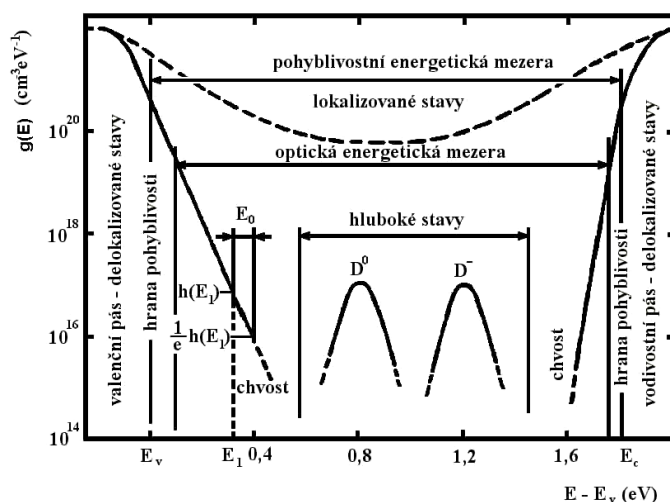
Účinnosť tenkovrstvového článku z amorfného kremíka klesá počas prvých šiestich mesiacov prevádzky. Tento pokles môže byť až 30 %-ný v závislosti od kvality materiálu a zvolenej výrobnéj technológie článku. Po tomto rapidnom počiatocnom poklese sa výkon ustáli na hodnote deklarovanej výrobcom (nominálna hodnota). Inými slovami, moduly a-Si:H dosiahnu svoj ustálený stav cca po 1000 prevádzkových hodinách pri stabilnom osvetlení. Priebeh degradácie jednovrstvového a trojvrstvového článku je na Obr. 22.



Obr. 22 Pokles účinnosti v závislosti od času vplyvom SWE [15]

Tento nežiaduci jav prvýkrát popísali americkí vedci Staebler a Wronski v roku 1977. Táto dvojica objavila, že prúd za temna a fotovodivosť pri a-Si:H článkoch sa môže výrazne znížiť pôsobením intenzívneho osvetlenia. Ďalej taktiež zistili, že žiahaním materiálu za temna teplotou presahujúcou 150 °C je možné tento efekt zvrátiť.

Koncentrácia hlbokých stavov (Obr. 23) sa v materiáli a-Si:H zvyšuje s rastúcou dobou expozície osvetleného článku, čo vedie k skráteniu doby životnosti fotogenerovaných nosičov náboja, a teda k zníženiu účinnosti. Príčinou je tvorba nových rekombinačných centier pre svetlom generované elektróny a diery [16].

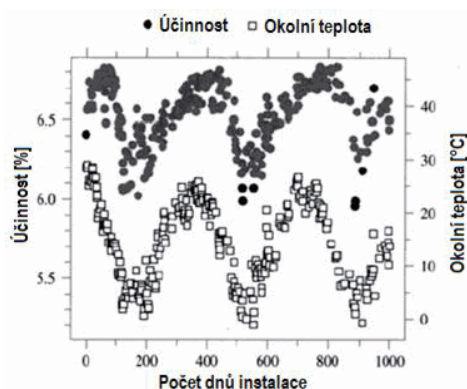


Obr. 23 Energetické rozloženie hustoty stavov [16]

Predpokladá sa, že osvetlenie poskytuje potrebnú energiu pre vytlačenie väzby vodíka, čím vznikne nenasýtená kremíková väzba. Staebler-Wronskiho efekt nie je stále ešte dostatočne popísaný a preskúmaný. Jeho detailné pochopenie by mohlo viesť k zlepšeniu súčasných depozičných techník a výsledkom by boli účinnejšie FV články.

2.6.2 Sezónny efekt

Experimenty preukázali, že stabilizovaná účinnosť amorfných článkov je závislá od ich teploty počas osvetlenia. Vystavenie panelu vyššej teplote mení rovnováhu medzi škodlivými účinkami pôsobenia svetla a priaznivými účinkami tepla, čo vedie, ako už bolo skôr zmienené, k jeho vyššej efektívnosti. Tento fakt vysvetľuje známy sezónny efekt, kedy výkon pozitívne koreluje s dennou priemernou teplotou (Obr. 24). Zmieňovaný efekt má za následok relatívne zvýšený výkon o 10 ÷ 15 % počas letnej sezóny.



Obr. 24 Vzájomná korelácia teploty a efektivity amorfného modulu [15]

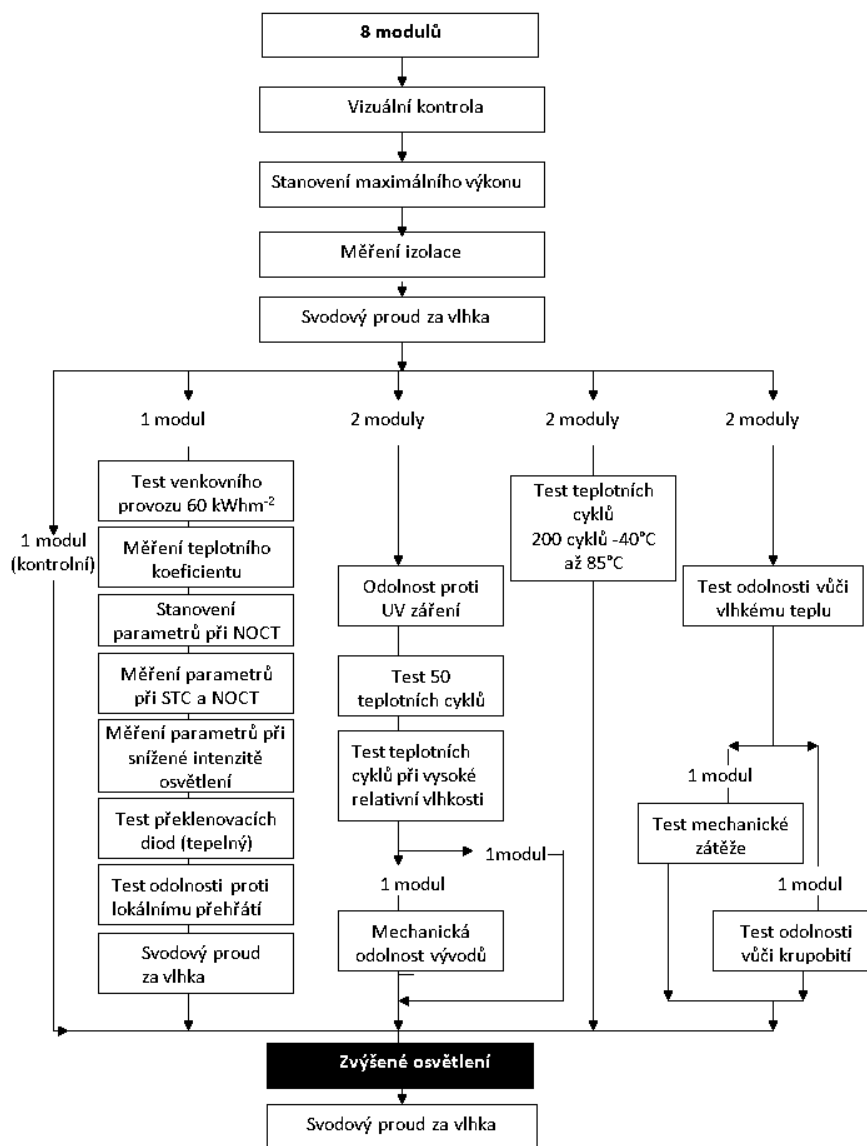
2.6.3 Metódy potlačenia Steabler-Wronskiho efektu

- použitie technológie na báze mikro-, nano-kryštalickeho kremíka,
- použitie technológie Multijunction,
- zmenšenie hrúbky vrstvy,
- prevádzkovanie článku pri vyššej teplote,
- integrácia do tepelných hybridných solárnych kolektorov, tzn. prevádzka pri vyšších teplotách.

2.7 Testovanie amorfných panelov

Celý proces testovania ôsmych náhodne vybraných FV panelov musí prebehnúť podľa príslušných noriem, ktoré definujú pravidlá, postupy a požiadavky na zariadenia pre testovanie. Schéma priebehu testovania tenkovrstvových panelov podľa STN EN 61646 je zobrazená na Obr. 25. Táto norma sa zameriava výhradne na tenkovrstvové FV články. Ucelený prehľad všetkých požiadaviek na FV články je definovaný normou STN EN 60904.

Zmyslom tejto časti publikácie je popísať jeden z posledných krokov testu, kedy dochádza k výkonovému ustáleniu a testovaniu elektrických parametrov modulu. Jedná sa o tzv. Light-soaking test, kedy je panel vystavený zvýšenému osvetleniu. K realizácii tohto testu je najdôležitejším prvkom slnečný simulátor.



Obr. 25 Schéma procesu testovania amorfného modulu podľa STN EN 61646 [17]

2.7.1 Solárne simulátory

Norma STN EN 60904-9 definuje spektrálne a výkonnostné vlastnosti solárnych simulátorov. Na základe výkonnostných charakteristík sa simulátory rozdeľujú do jednotlivých tried (A, B, C). Hodnotenie simulátorov sa realizuje podľa troch hlavných parametrov uvedených v Tab. 2. Výsledkom je trojčlenné hodnotenie solárneho simulátora. V prípade realizácie Light-soaking testu stačí použiť solárny simulátor triedy CCC.

Tab. 2 Rozdelenie solárnych simulátorov

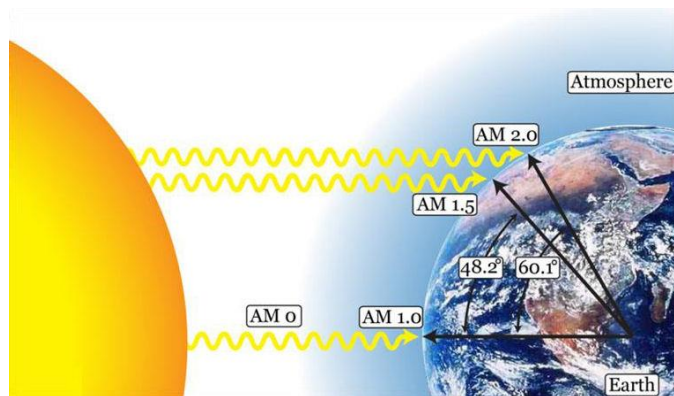
Trieda	Spektrálna zhoda so slniečným žiarením	Nerovnomernosť ožiarenej plochy	Časová nestabilita ožarovanej plochy	
			krátkodobá [%]	dlhodobá [%]
	[%]	[%]		
A	± 25	± 2	± 0,5	± 2
B	± 40	± 5	± 2	± 2
C	+ 100 / - 60	± 10	± 10	± 10

2.7.2 Štandardné testovacie podmienky STC

Po skončení Light-soaking testu je nevyhnutne odmerať elektrické vlastnosti panelu pri STC podmienkach, čo je základný test určujúci výkonnosť panelu.

Parametre STC:

- teplota $\vartheta = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- intenzita slnečného žiarenia $I = 1000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$,
- filtrácia svetla priechodu zemskou atmosférou AM = 1,5 (Obr. 26).



Obr. 26 Znáznornenie rôznych typov AM [18]

2.7.3 Light-soaking podľa STN EN 61646

Norma nám definuje, akým spôsobom sa má realizovať test stabilizácie elektrických vlastností amorfných článkov prostredníctvom prirodzeného alebo simulovaného slnečného žiarenia.

Požiadavky na meracie zariadenia

- a) Solárny simulátor triedy CCC v súlade s IEC 60904-9 alebo zdroj prírodného žiarenia.
- b) Vhodné referenčné zariadenie pre monitorovanie žiarenia.
- c) Prostriedky pre upevnenie modulov s referenčným zariadením podľa odporúčaní výrobcu.
- d) Prostriedky pre meranie teploty modulu s presnosťou ± 1 °C.
- e) Dostatočne veľkú odporovú záťaž, aby mohli moduly pracovať v blízkosti bodu svojho výkonového maxima.

Postup merania

- a) Pripojíme odporovú záťaž k modulu podľa odporúčaní výrobcu a do rovnakej roviny ako referenčný panel k simulátoru.
- b) Pokiaľ používame solárny simulátor, použijeme referenčný modul s nastaveným žiarením medzi $600 \div 1\,000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ a potom spustíme žiarenie.
- c) Počas simulácie osvitú musí teplota modulu zostať v rozsahu 50 ± 10 °C.
- d) Každý modul je vystavený žiareniu počas takej doby, pokiaľ sa nestabilizuje jeho maximálna hodnota výkonu. Stabilizácia výkonu nastáva vtedy, ak je pri meraní dvoch po sebe idúcich periód splnená nasledujúca podmienka:

$$\frac{P_{\max} - P_{\min}}{P_{\text{priemer}}} < 2 \% \quad (5)$$

Parametre testu: aspoň $43 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$, stála teplota medzi 40 a 60 °C, všetky stredné hodnoty maximálneho výkonu musia byť zmerané pri stálej teplote modulu, ktorá bude v rozsahu ± 2 °C.

- e) Hodnoty sú prenesené do protokolu o skúške.

Záverčné meranie

Znovu sa realizuje:

- optická kontrola,
- meranie izolácie,
- meranie parametrov pri STC a NOCT

Požiadavky pre splnenie testu

- neprejavia sa žiadne vážne vizuálne chyby,
- izolačný odpor musí spĺňať rovnaké parametre ako pri počiatočnom meraní modulu,
- po realizácii Light-soaking testu nesmie byť maximálny výkon zmeraný pri STC menší ako 90 % hodnoty uvádzanej výrobcom.

2.7.4 Light-soaking podľa rozdielnych noriem

Spôsoby, ako stabilizovať výkon amorfného článku, sa môžu líšiť. V Tab. 3 sú ako príklad uvedené kritériá Light-soaking testu v USA a Japonsku.

Tab. 3 Kritériá Light-soaking testu v rôznych krajinách (USA, Japonsko)

	USA	Japonsko
Doba osvitu [hod]	600	310
Intenzita žiarenia [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]	1000	1250
Okolité teplota [$^{\circ}\text{C}$]	50	48
Pripojenie záťaže [-]	áno	áno

Z Tab. 3 nám vyplýva, že tento test je vhodnou kombináciou súčasného pôsobenia teploty, intenzity žiarenia a času. Zvolené hodnoty sú založené na dlhodobom skúmaní vlastností amorfných článkov a v niektorých prípadoch si samotní výrobcovia definovali vlastné postupy, ktoré sú ekvivalentné k postupom v normách. Panel vo všetkých prípadoch dosiahne svoju nominálnu hodnotu výkonu garantovanú výrobcom.

2.7.5 Light-soaking podľa Mitsubishi

Jeden z popredných výrobcov amorfných článkov Mitsubishi (MHI) definoval svoju vlastnú meraciu procedúru, ktorá je ekvivalentná s Light-soaking testom podľa STN EN 61646. Japonský výrobca ju zaviedol kvôli jej menšej časovej náročnosti.

2.7.5.1 Zavedené definície MHI

Meranie v poľných podmienkach

P_{MAX} zmeraný v poľných podmienkach je považovaný ako referenčný údaj, pretože je P_{MAX} definovaný ako maximálny výstupný výkon pri STC. Maximálny výkon musí byť meraný kalibrovaným simulátorom podľa referenčného modulu so štandardným svetelným spektrom, intenzitou žiarenia a teplotou.

Zmeny P_{MAX} v poľných podmienkach

Maximálny výkon sa mení v závislosti od teploty a intenzity žiarenia dopadajúceho na modul. Teplota modulu je ovplyvnená typom inštalácie, podnebím a ročným obdobím. Výsledné dáta sú použité len ako referenčné.

Ideálna meracia procedúra podľa STN EN 61646

V prvom rade sa musí panel uviesť do počiatočných podmienok, aby bolo zamedzené vplyvu teploty a intenzity žiarenia, ktorým bol panel vystavený v poľných podmienkach. Ďalej sa realizuje Light-soaking test, pretože ustálené hodnoty P_{MAX} sa meria až po tomto stabilizačnom teste. Po realizácii všetkých testov je meranie P_{MAX} realizované pomocou solárneho simulátora pri STC.

Priebeh testu podľa STN EN 61646

- a) čas k inicializácii modulu pri teplote 150 °C je cca 60 hodín,
- b) čas k inicializácii modulu pri teplote 86 °C je cca 2 600 hodín,
- c) čas k stabilizácii výkonu podľa Light-soaking testu je cca 200 hodín,

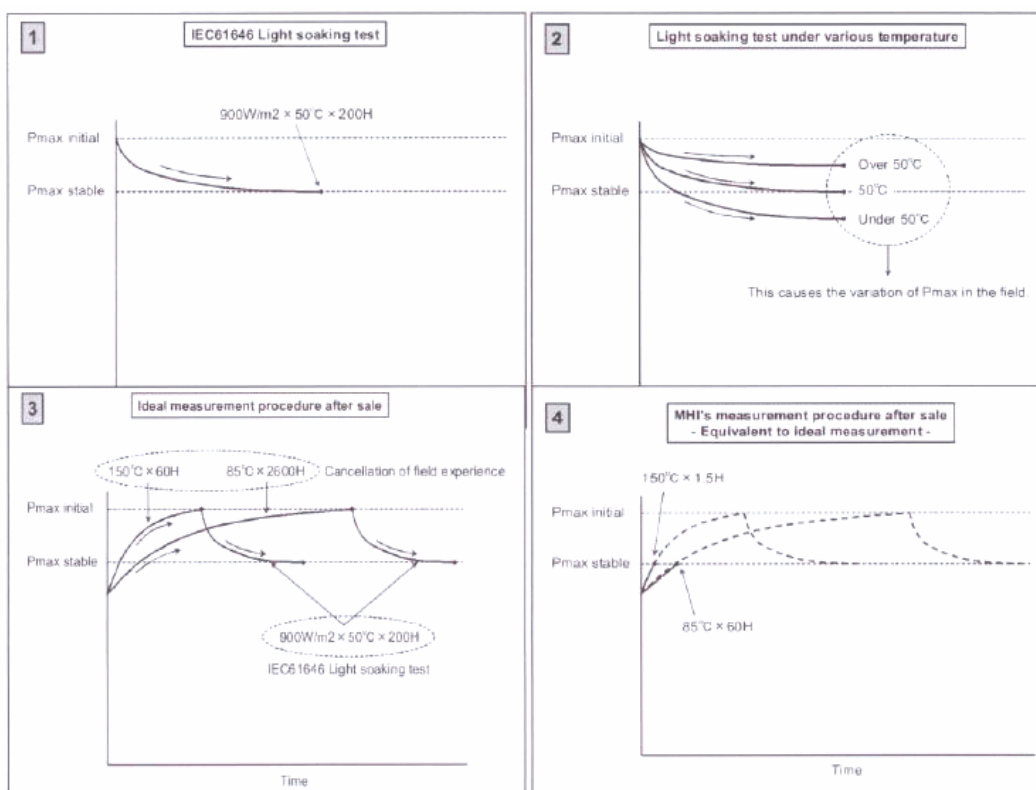
Meracia procedúra podľa MHI

Vyššie uvedené procedúry sú časovo náročné. MHI navrhla časovo úspornejšie merania, ktoré sú totožné ako kombinácie: a) + c) alebo b) + c).

- 1) Po skončení žihania teplotou 150 °C po dobu 90 minút sa modul meria pomocou solárneho simulátora podľa STC (zahŕňa čas potrebný pre zahriatie a chladnutie). Test zahŕňa žihanie modulu teplotou prevyšujúcou 85 °C, ktorá je zároveň najvyššiou pracovnou teplotou modulu. V tomto prípade je testovaný modul zničený a nie je možné ho použiť pre ďalšie merania.
- 2) Po skončení žihania teplotou 85 °C po dobu 60 hodín je modul meraný pomocou solárneho simulátora podľa STC (zahŕňa čas potrebný pre zahriatie a chladnutie).

Stabilizovaná hodnota P_{MAX} je podľa MHI určená meraním pri STC po realizácii Light-soaking testu. Pokiaľ sa meranie STC realizuje na module braného z poľných podmienok, tak sa žihanie alebo Light-soaking test realizuje pred meraním STC.

Priebeh Light-soaking testu podľa STN EN 61646, teplotných charakteristík, ideálnej meracej procedúry a procedúry podľa MHI sú graficky zobrazené na Obr. 27.



Obr. 27 Prehľad meracích procedúr podľa MHI a STN EN 61646 [17]

Legenda k Obr. 27:

1. Light-soaking test podľa STN EN 61646
2. Light-soaking test realizovaný pri rôznych teplotách
3. Ideálny postup pre ustálenie výkonu panelu
4. Postup podľa MHI pre ustálenie výkonu panelu

2.7.6 Žíhanie

Jedná sa o technologický proces, pri ktorom je FV panel vystavený vysokým teplotám. Žíhanie sa realizuje za tmy v inertnej atmosfére alebo vákuu pri teplotách 150 °C. Po skončení žíhanie je veľmi dôležité sledovať rýchlosť chladnutia vzorky. Odporúča sa ochladenie 2 °C/min, aby sa predišlo teplotnému stresu a vzniku defektov.

Počas žíhanie dochádza k opačnému deju ako pri SWE. Ak začneme žíhať amorfný panel, začne sa regenerovať a dochádza k jeho návratu do svojho počiatočného stavu (pred degradáciou vplyvom osvetlenia). Jeho výkon opäť vzrastie.

Žíhanie tenkovrstvových modulov sa realizuje pred podrobením kvalifikačných skúšok modulu. Ak by sa nerealizovalo žíhanie, mohol by z iných príčin ohrev modulu pri následnej skúške maskovať degradáciu.

Žíhanie sa realizuje vždy:

- po
 - a) Light-soaking teste a UV teste,
- pred
 - a) testom teplotných testov pri vysokej relatívnej vlhkosti,
 - b) testom odolnosti voči vlhkému teplu.

3 POUŽITÉ FOTOVOLTICKÉ ČLÁNKY

3.1 Popis vybavenia v laboratóriu

Predkladaný projekt „*Výskum charakteristík fotovoltaických (FV) komponentov pre efektívne projektovanie solárnych systémov*“ v podmienkach stredného pásma, ktorý má ITMS kód 26220220080“ (resp. ŽoNFP) priamo reagoval na cieľ opatrenia 2.2 Operačného programu Výskum a vývoj, ako je zvyšovanie miery spolupráce výskumno-vývojových inštitúcií (Technická univerzita v Košiciach) s hospodárskou praxou (VADIUM, s.r.o.) prostredníctvom prenosu poznatkov a technológií a tým k prispievaniu zvyšovania hospodárskeho rastu regiónu (Prešovský samosprávny kraj a Košický samosprávny kraj) a celého Slovenska.

V rámci projektu „*Výskum charakteristík fotovoltaických komponentov pre efektívne projektovanie solárnych systémov*“ bolo vybudované laboratórium fotovoltaiky s rôznymi typmi fotovoltaických panelov, ktoré tvoria súčasť solárnych systémov. Vo vybavení laboratória sú k dispozícii vzorky fotovoltaických panelov od rôznych výrobcov, ktoré sú umiestnené a orientované v rôznych smeroch.

Skupina 6 typov panelov je konštrukčne umiestnených na polohovacích hlaviciach, ďalšie skupiny po 6 panelov sú orientované napevno v smeroch vodorovne, na juh, západ a východ.

Časť spoločného laboratória je lokalizovaná v Prešove a obsahuje 30 fotovoltaických panelov od rôznych výrobcov, rôzne konštrukčne vyhotovených a orientovaných rôznym smerom. Pre jednotlivé panely sa vykonávajú kontinuálne merania teploty, napätia a výkonu. Dané parametre sú koncentrátorom dát sústreďované do jedného súboru uloženého na serveri umiestnenom v tejto časti laboratória.

V druhej časti laboratória, lokalizovanej v Košiciach na Katedre elektroenergetiky, je umiestnený databázový a web server, ktorý v pravidelných intervaloch 60 minút pristupuje cez FTP protokol na server umiestnený pri fotovoltaických paneloch, kde sťahuje súbor s dátami nameranými za poslednú hodinu zo všetkých snímačov na jednotlivých fotovoltaických paneloch.



Obr. 28 Časť laboratória lokalizovaná v Prešove – fotovoltické panely



Obr. 29 Koncentrátor údajov nameraných veličín z fotovoltických komponentov



Obr. 30 Rôzne konštrukčné vyhotovenie a orientácia fotovoltických panelov rôznym smerom



Obr. 31 Rôzne konštrukčné vyhotovenie a orientácia fotovoltických panelov rôznym smerom – pohľad spredu



Obr. 32 Rôzne konštrukčné vyhotovenie a orientácia fotovoltaických panelov rôznym smerom – horizontálna orientácia, smery východ, juh, západ



Obr. 33 Rôzne konštrukčné vyhotovenie a orientácia fotovoltaických panelov rôznym smerom – vyhotovenie s trackerom



Obr. 34 Fotovoltické panely v externej časti laboratória

Solar Tracking System je polohovacie zariadenie a systém, ktorý mení a nastavuje smer fotovoltického panelu smerom k aktuálnej pozícii slnka na oblohe počas dňa. Používajú sa rôzne typy takýchto systémov, väčšina z nich sú jednoosé a dvojosé systémy, ktoré poskytujú potrebnú presnosť pre polohovanie fotovoltického panelu. Polohovacie zariadenie je použité v laboratóriu pre jeden z každého typu fotovoltického panelu.

V súčasnosti najviac používané technológie výroby fotovoltických panelov sú monokryštalická, polykryštalická, thin-film alebo amorfná technológia a hybridná technológia výroby.

Monokryštalická technológia využíva monokryštalický kremík. Pri výrobe kremíkového kryštálu dochádza k jeho rastu a následne narezaniu kontinuálneho kryštálu na tenké vrstvy hrubé 0,2 a 0,3 mm. Majú tvar šesťuholníka alebo kruhového alebo iného tvaru z dôvodu čo najmenšieho odpadu materiálu pri výrobe. Bunka pre fotovoltický panel je teda tvorená z jedného kryštálu a má jednotnú farbu. Výroba je náročná na energiu a čas, teda panely bývajú drahšie ako pri použití inej technológie.

Polykryštalická technológia výroby je založená na zahriatí kremíka na určitú teplotu, roztavení, zliatí a následnom ochladení. Tento proces vytvára nehomogénny materiál. Zároveň tým technológia umožňuje využiť väčšie percento materiálu. Materiál je rezaný do 0,3 mm rezov.

Amorfny kremík nevytvára kryštály a vrstvy sú hrubé od 0,5 do 2,0 mm. Namiesto veľkých objemov kremíka sa využívajú tenké vrstvy (thin-film cadmium telluride) na nosnej vrstve kovu alebo skla. Táto technológia výroby používa malé množstvo materiálu, teda je efektívnejšia z hľadiska spotreby suroviny.

Hybridná technológia výroby fotovoltických komponentov využíva a kombinuje dva rôzne typy technológie ako napríklad kombináciu monokryštalickej a thin-film amorfnej technológie.

Podľa údajov technických špecifikácií má monokryštalickej technológia účinnosť asi 13 ÷ 17 %, polykryštalickej asi 11 ÷ 15 %, amorfnej thin-film technológia 6 ÷ 8 %. Pri hybridnej technológii je účinnosť vyššia ako pri monokryštalickej, avšak výrobné náklady sú vyššie.

Pre experimentálne účely boli do laboratória vybrané fotovoltické komponenty a panely od výrobcov Nova, Sanyo, Solarsys a Trina.

Od uvedených výrobcov fotovoltických panelov sú použité jednotlivé modely fotovoltických komponentov:

- panel **PV Solarsys PM245-BB** s monokryštalickej technológiou výroby a počtom buniek 60, výkonom 245 W, inštalovaných je 10 kusov panelov,
- amorfnej technológia **Thinfilm Nova T-series 80W**, s technológiou výroby fotovoltických buniek thin-film, výkon jednotlivých panelov je 80 W, počet kusov inštalovaných panelov je 5,
- **Sanyo HIT214**, s hybridnou technológiou výroby panelov, výkonom 214 W, 5 kusov inštalovaných panelov,
- **Trina TSM-PC05 235W**, s výkonom 235 W, bolo osadených 10 kusov panelov, polykryštalickej technológia výroby panelov.

Každý z jednotlivých modelov fotovoltických panelov bol osadený tak, aby aspoň jeden modul bol orientovaný v danom smere: juh, západ, východ, vodorovná orientácia a osadenie s polohovacím zariadením – trackerom.

Na jednotlivých fotovoltických paneloch kontinuálne prebieha meranie teploty, napätia a na vybraných paneloch aj meranie výkonu pomocou pyranometra. Meranie výkonu je realizované na modeli panelu od výrobcu Sanyo.

Dané parametre sú koncentrátorom sústredované do jedného súboru uloženého na serveri.

V druhej časti laboratória lokalizovanej v Košiciach na Katedre elektroenergetiky je umiestnený databázový a web server, ktorý v pravidelných intervaloch 60 minút pristupuje cez FTP protokol na server umiestnený pri fotovoltických paneloch, sťahuje súbor s dátami nameranými za poslednú hodinu zo všetkých snímačov na jednotlivých fotovoltických paneloch.

Údaje veličín teploty, napätia a výkonu namerané pomocou senzorov na fotovoltických paneloch v laboratóriu slúžia ako vstupné dáta pre výskum a zhodnotenie efektívnosti použitia výrobných technológií daného panelu – monokryštalická, polykryštalická, thin-film technológia a hybridná technológia – v solárnych systémoch. Údaje je potrebné štatisticky spracovať vzhľadom na ich veľké množstvo a vzhľadom na poveternostné pomery v jednotlivých dňoch merania. Pri vyhodnocovaní údajov nemožno vychádzať iba z niektorých vybraných časových úsekov, keďže dĺžka a intenzita slnečného žiarenia závisí od konkrétneho času a ročného obdobia, kedy bolo meranie vykonané a má aj zložku náhodného charakteru.

Vzhľadom na množstvo zaznamenaných údajov sú tieto pri zobrazovaní v grafickej podobe systémom podvzorkované alebo je použitá metóda spriemerovania.

Zostava zložená z 30 fotovoltických panelov je použitá v experimentoch a meraniach orientovaných na výskum a zhodnotenie účinnosti fotovoltických panelov v závislosti od použitej technológie výroby panelu ako aj v závislosti od konštrukcie osadenia jednotlivých panelov – statických, orientovaných rôznymi smermi alebo polohovateľných pomocou polohovacieho zariadenia.

Na fotovoltických paneloch kontinuálne prebieha meranie teploty, napätia a výkonu.

Radenie Fotovoltických panelov

Radenie fotovoltických panelov bolo na streche budovy zvolené podľa nasledujúcej tabuľky (umiestnením na dvojsoj pohyblivý tracker, stabilne vodorovne, na východ, na západ a na juh).

Tab. 4 Usporiadanie fotovoltaických panelov na streche

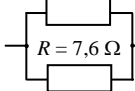
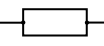




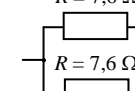
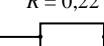
Tracker	Vodorovne	Východ	Západ	Juh	Tracker	Vodorovne	Východ	Západ	Juh
Nova	Nova	Nova	Nova	Nova	Trina	Trina	Trina	Trina	Trina
Sanyo	Sanyo	Sanyo	Sanyo	Sanyo	Trina	Trina	Trina	Trina	Trina
Solarsys	Solarsys	Solarsys	Solarsys	Solarsys	Solarsys	Solarsys	Solarsys	Solarsys	Solarsys

Tab. 5 Kódové značenie fotovoltaických panelov (uvedené v tabuľke 4)

Tracker	Vodorovne	Východ	Západ	Juh	Tracker	Vodorovne	Východ	Západ	Juh
00	10	20	30	40	50	60	70	80	90
01	11	21	31	41	51	61	71	81	91
02	12	22	32	42	52	62	72	82	92

Použitie záťažových a meracích rezistorov pri daných FV paneloch je uvedené v nasledujúcej tabuľke:

Tab. 6 Usporiadanie záťažových a meracích rezistorov pri jednotlivých fotovoltaických paneloch

Solarsys	<p>Záťaž $R = 7,6 \Omega$</p>  <p>$R = 7,6 \Omega$</p>	<p>Meranie $R = 0,22 \Omega$</p>  <p>$R = 0,22 \Omega$</p>
Nova	<p>Záťaž $R = 125 \Omega$</p>  <p>$R = 125 \Omega$</p>	<p>Meranie $R = 0,47 \Omega$</p>  <p>$R = 0,47 \Omega$</p>
Sanyo	<p>Záťaž $R = 8,2 \Omega$</p>  <p>$R = 8,2 \Omega$</p>	<p>Meranie $R = 0,15 \Omega$</p>  <p>$R = 0,15 \Omega$</p>
Trina	<p>Záťaž $R = 7,6 \Omega$</p>  <p>$R = 7,6 \Omega$</p>	<p>Meranie $R = 0,22 \Omega$</p>  <p>$R = 0,22 \Omega$</p>

Na základe uvedeného radenia rezistorov je potrebné realizovať prepočet hodnôt z meracieho modulu, ktorý je zasielaný v textových súboroch a má nasledovný obsah (časť výstupu).

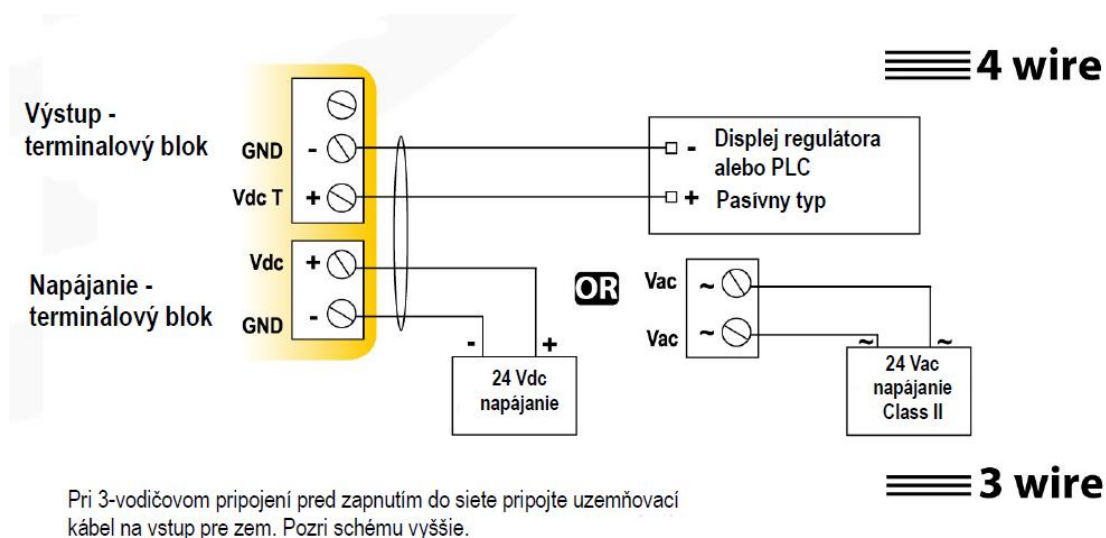
Ďalšie použité zariadenia

Pri meraniach bol použitý solarimeter typu CR100 (Solarimeter SolarSensor), čo je globálny snímač slnečnej radiácie, určený na monitorovanie správnej prevádzky zariadení využívajúcich solárne žiarenie, napríklad v oblastiach výroby horúcej vody alebo v poľnohospodárstve, pri výrobe fotovoltaickej elektrickej energie, pre meteorologický monitoring.

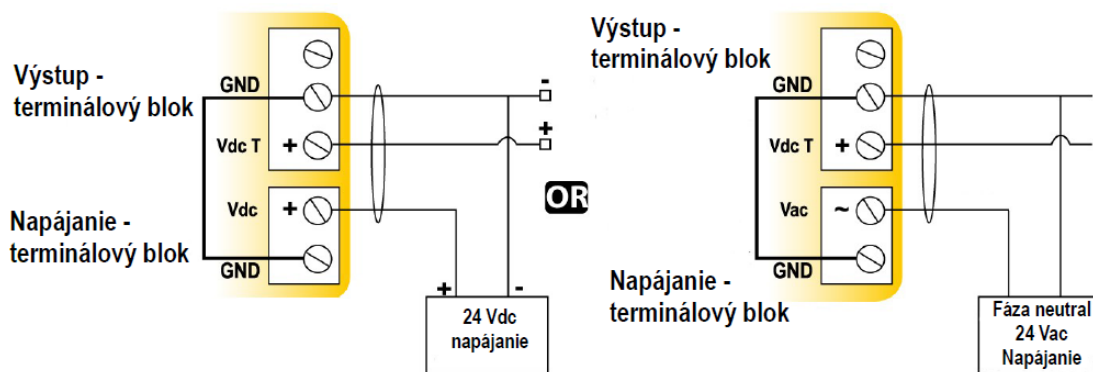
Parametre použitého solarimetra CR100 a charakteristiky sú:

- analógový výstup $0 \div 10$ V alebo $4 \div 20$ mA proporcionálny slnečnej radiácii,
- cez interface pripojiteľný k PLC alebo k systému na zber údajov,
- umožňuje monitorovať výkon zariadení,
- je ľahko odmontovateľný, môže byť periodicky nastaviteľný,
- zabezpečuje dostatočne presné merania.

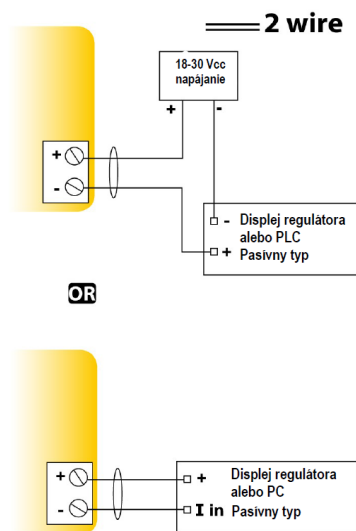
Jeho zapojenie je zobrazené na nasledujúcich obrázkoch:



a)



b)



c)

Obr. 35 Zapojenie solarimetra CR100 Solarimeter SolarSensor

Interface modul má nasledujúce charakteristiky a vlastnosti:

- výstup a napájanie pre CR101 > 0 ÷ 10 V s aktívnym snímačom je 10 % 24 Vac/Vdc napájanie, 3 ÷ 4 vodiče, pre CR100 > 4 ÷ 20 mA pasívny snímač so slučkou, 18/30 Vdc napájanie, 2 vodiče.
- maximálna záťaž je 500 Ω pri 4 ÷ 20 mA,
- minimálna záťaž: 1 kΩ (0 ÷ 10 V),
- spotreba: 2 VA (0 ÷ 10 V) alebo 22 mA (4 ÷ 20 mA) max,
- elektromagnetická kompatibilita: EN 61326,

- elektrické pripojenie: terminálový blok so skrutkovacím upevnením káblov do max. prierezu 1,5 mm²,
- prevádzková teplota: od -20 do +50 °C,
- skrinka: ABS materiál,
- protipožiarna klasifikácia: H-B podľa UL94,
- celkové rozmery skrinky: 100 × 100 × 42 mm,
- krytie: IP65,
- priechodky káblov: pre káble s maximálnym priemerom 7 mm,
- hmotnosť: 110 g.

Modul má certifikát pre úroveň nastavení radiácie, systém pre zber a spracovanie údajov (DAS).

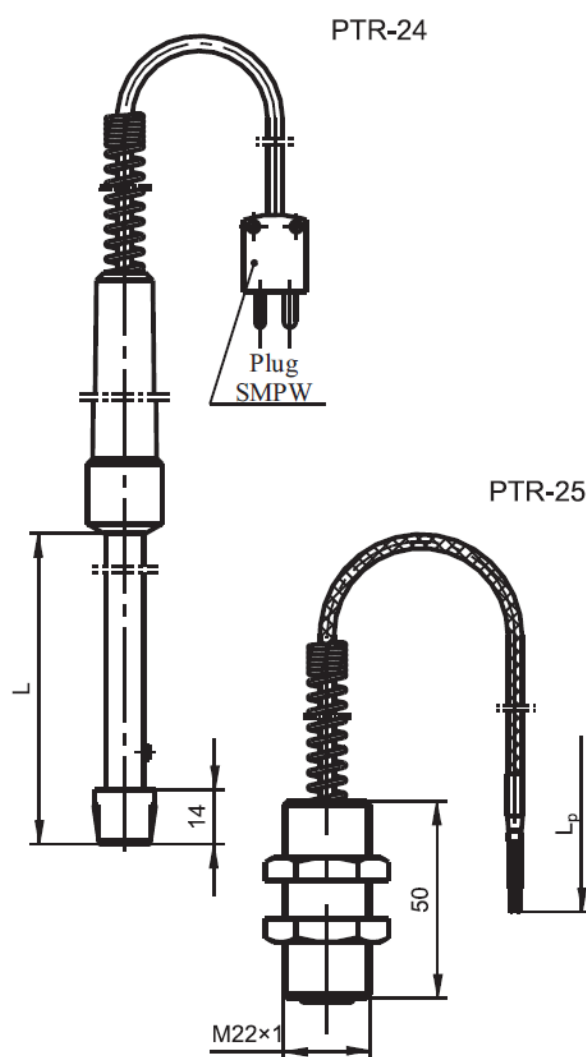
Pre solárny článok platia nasledujúce charakteristiky a parametre:

- merací rozsah: od 0 do 1300 W/m²,
- spektrálna odozva: od 400 do 1100 nm,
- menovitá citlivosť: 100 mV pre 1000W/m² STC,
- odozva kosínusová: upravená na 80°,
- teplotný koeficient: +0,1 %/°C,
- efektívna plocha: 1 cm²,
- prevádzková teplota : od -30° do +60°C,
- závislosť na vlhkosti: 100 % RH,
- mód: fotovoltický,
- materiál: polycrystallin silicon,
- predná strana: priehľadný PMMA,
- tesnosť: kryt z PMMA odolný voči vonkajším vplyvom,
- hmotnosť článku: 60 g,
- rozmery článku: 30 × 32mm.

Teplotný senzor pre povrchové meranie typ PTR-24, PTR-25 má nižšie uvedené charakteristiky a vlastnosti:

- je určený pre meranie na plochých povrchoch a pre ručné termometre,
- prevádzková teplota do 80 °C – PTR-24,

- snímač má flexibilný kábel – PTR-25,
- merací teplotný rozsah:
 - 40 ÷ 800 °C pre PTR-24
 - 40 ÷ 400 °C pre PTR-25
- TC typ: NiCr-Ni (K) class 2.



Obr. 36 Teplotný senzor pre povrchové meranie

3.2 Navrhované fotovoltaické články pre experimenty v laboratóriu

Fotovoltaické články, ktoré boli navrhnuté pre použitie v laboratóriu mali byť prototypy skladajúce sa z dvoch vrstiev aktívnych článkov:

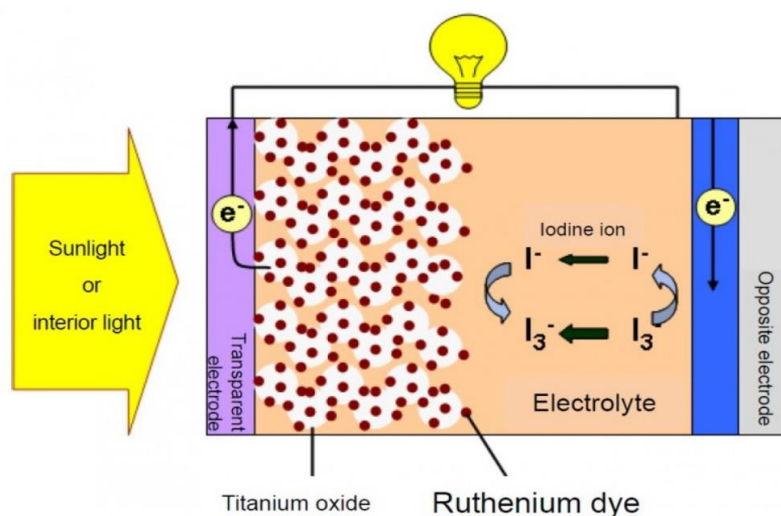
- 1) farbivom senzitivovaný článok (tzv. Grätzelov článok) DSSC,
- 2) kryštalická kremíková vrstva.

Popis vrstvy Grätzelovho článku

DSSC je z anglického výrazu „*Dye Sensitized Solar Cell*“ – farbivom senzitivovaný slnečný článok.

DSSC boli navrhnuté Michaelom Grätzelom v roku 1991 a patria do skupiny tenko filmových solárnych článkov. Súčasnú maximum ich účinnosti je okolo 15 %, ktorú dosiahol Grätzelov vedecký team na Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne vo Švajčiarsku. Tento výsledok bol dosiahnutý novým dvoj-stupňovým postupom pomocou hybridného perovskiteového farbiva $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ následne naneseného z oddelených roztokov $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$ a PbI_2 .

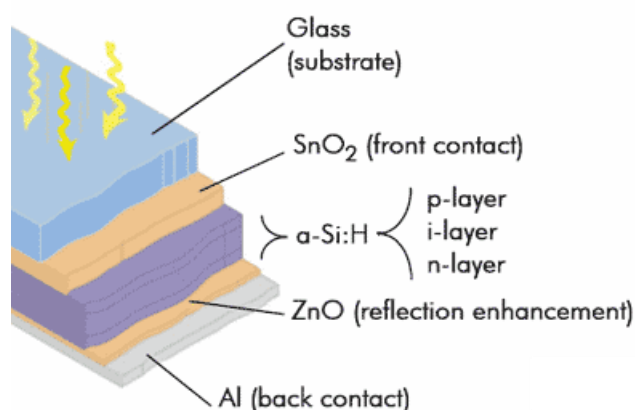
Všeobecne vhodnými črtami DSSC sú transparentnosť, potenciálne nízka cena (price/performance pomer) vyplývajúca z možnej masovej produkcie konvenčnými tlačiarenskými technológiami, ohybnosť a aktuálne aj vysoká konverzná efektívnosť.



Obr. 37 Schematický popis činnosti DSSC článku

DSSC je založený na zachytení fotónov na farbivom senzitivovanej polovodivej anóde s následnou regeneráciou farbiva elektrolytom. Článok má tri časti. Na vrchu je transparentná anóda tvorená na sklo nanesenou vrstvou TCO (transparentného vodivého oxidu). Transparentnosť substrátu umožňuje svetlu preniknúť do vrstvy TiO_2 nanočastíc, ktoré tvoria poréznu vrstvu s povrchom tisíckrát väčším ako je daná plocha článku, čo má za následok „uviaznutie“ svetla vo vnútri vrstvy. TiO_2 je polovodič, ktorý nie je citlivý na viditeľné svetlo.

TiO₂ je senzitivovaný farbivom absorbujúcim viditeľné svetlo. Môžu byť použité lacné organické farbivá, ale v našom prípade budú použité syntetické farbivá Farbivo 535-bisTBA, Farbivo 505, Farbivo 620-1H3TBA pre vyššiu účinnosť a tiež nižšiu degradáciu a vyššiu stabilitu. Články budú mať preto rôzne farby. Červenú (Ruthenizer 535-bisTBA), oranžovú (Ruthenizer 505) a zelenú Ruthenizer 620-1H3TBA. Zároveň budú použité dve vrstvy TiO₂ o hrúbke 4, resp. 10 mikrometrov, ktoré budú viac, resp. menej transparentné. Takto získame 6 typov rôznych prototypov.



Obr. 38 Schematické zloženie kryštalickej vrstvy

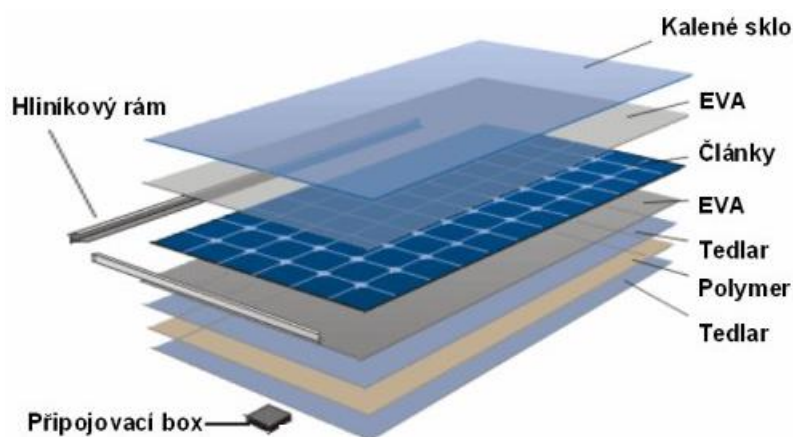
Pre prototypy bude kvôli čo najvyššej účinnosti použitá monokryštalická kremíková vrstva.

Štrukturálny člen modulu bude umiestnený v zadnej časti. Modul používa membránu kryštalickej kremíkovej bunky na základe kremíka. Vodivé drôty, ktoré zberajú prúd z panelov budú obsahovať striebro, resp. meď.

Po dopade fotónu svetla príslušnej vlnovej dĺžky (korešpondujúcej so šírkou zakázaného pásma použitého polovodiča) je vďaka vnútornému fotoelektrickému javu vygenerovaný elektrón-dierový pár, ktorý je separovaný vnútorným elektrickým poľom PN priechodu a pohybom k jednotlivým elektródam vytvárajú elektrický prúd.

Každý panel pozostáva zo spojenia šiestich buniek. Konštrukcia monokryštalickej vrstvy bude pozostávať zo šiestich sériovo zapojených buniek, usporiadaných v dvoch radoch pod sebou. Modul obsahuje diódy, aby sa predišlo spätnému prúdeniu, v prípade čiastočného alebo úplného zatienenia. Bunky budú chránené pred mechanickým poškodením a vlhkosťou

sklom z hornej strany panelu a vrstvou polyméru zo spodnej strany. Z pripojovacieho boxu budú vyvedené dva kontakty, na ktorých svorkách bude generované výstupné napätie. Inštalovaný výkon kryštalickej časti bude 15 W, pri STC (Standard Test Conditions), 1000 W/m^2 , solárne spektrum AM 1,5 a teplota modulu 25 stupňov Celzia.



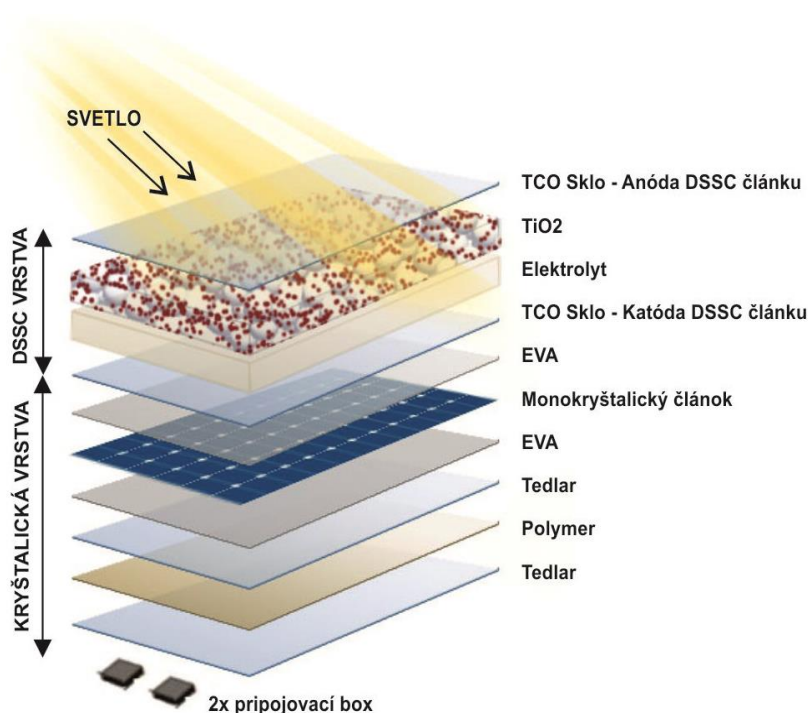
Obr. 39 Zloženie vrstiev kryštalickej časti dvojvrstvového článku

Technické parametre monokryštalickej vrstvy:

- Maximálne napätie naprázdno $U_{oc} = 22 \text{ V}$
- Maximálne skratový prúd $I_{sc} = 0,87 \text{ A}$
- Maximálne napätie pri záťaži 15 W: $U_{mp} = 18 \text{ V}$
- Maximálne prúd pri 15 W: $I_{mp} = 0,84 \text{ A}$
- Pracovná teplota $-40 \div +85 \text{ }^\circ\text{C}$

Technický popis celého panelu

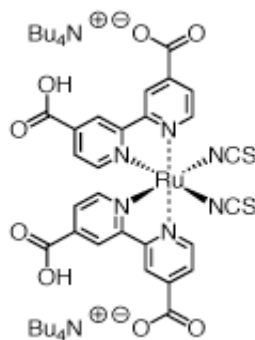
Celý panel pozostáva z integrovaných dvoch vrstiev článkov. Navrchu to bude článok DSSC a pod ním bude článok zložený z kryštalickej vrstvy. Celý prototyp bude zapuzdrený v hliníkovom ráme. Prierez panelov je uvedený na obrázku. Na spodnej časti panelu budú dvakrát svorky pre možnosť izolovaného merania elektrických výstupných parametrov zvlášť pre každú vrstvu.



Obr. 40 Prierez dvojvrstvom článkom zloženým z vrstvy DSSC a monokryštalickej vrstvy

TYP článku 1

Vrstva DSSC článku: Farbivo 535-bisTBA



Farbivo 535 bis-TBA (tiež pod označením "N719")

Chemický názov: cis-diisothiocyanato-bis(2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylato) ruthenium(II) bis(tetrabutylammonium)

Skrátený vzorec: $\text{RuL}_2(\text{NCS})_2 \cdot 2 \text{ TBA}$ (L = 2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylic acid; TBA = tetrabutylammonium)

Molekulárny zápis: $\text{C}_{58}\text{H}_{86}\text{O}_8\text{N}_8\text{S}_2\text{Ru}$

Hmotnosť: 1188.6 g/mol

Vzhľad: Tmavomodrý prášok

TiO₂ vrstva 4 μm

Maximálne napätie naprázdno $U_{oc} = 22 \text{ V}$

Maximálne skratový prúd $I_{sc} = 0,87 \text{ A}$

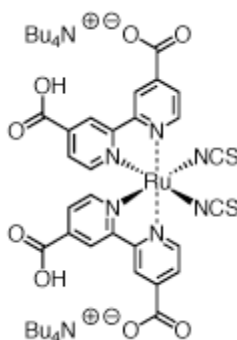
Maximálne napätie pri záťaži 15 W: $U_{mp} = 18 \text{ V}$

Maximálne prúd pri 15 W: $I_{mp} = 0,84 \text{ A}$

Pracovná teplota $-40 \div +85 \text{ }^\circ\text{C}$

TYP článku 2

Vrstva DSSC článku: Farbivo 535-bisTBA



Farbivo 535 bis-TBA (tiež pod označením "N719")

Chemický názov: cis-diisothiocyanato-bis(2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylato) ruthenium(II) bis(tetrabutylammonium)

Skrátený vzorec: RuL₂(NCS)₂ : 2 TBA (L = 2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylic acid; TBA = tetrabutylammonium)

Molekulárny zápis: C₅₈H₈₆O₈N₈S₂Ru

Hmotnosť: 1188.6 g/mol

Vzhľad: Tmavomodrý prášok

TiO₂ vrstva 10 μm

Maximálne napätie naprázdno $U_{oc} = 22 \text{ V}$

Maximálny skratový prúd $I_{sc} = 0,87 \text{ A}$

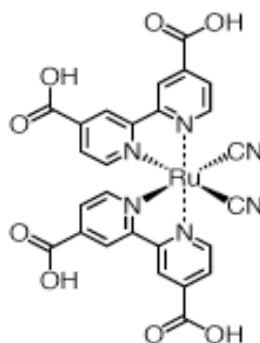
Maximálne napätie pri záťaži 15 W: $U_{mp} = 18 \text{ V}$

Maximálny prúd pri 15W: $I_{mp} = 0,84$ A

Pracovná teplota $-40 \div +85$ °C

TYP článku 3

Vrstva DSSC článku: Farbivo 505



Chemický názov: cis-dicyano-bis(2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylic acid)
ruthenium(II)

Skrátený vzorec: $RuL_2(CN)_2$ (L = 2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylic acid)

Molekulárny zápis: $C_{26}H_{16}O_8N_6Ru$

Hmotnosť: 641 g/mol

Vzhľad: Tmavooranžový prášok

TiO_2 vrstva 4 μm

Maximálne napätie naprázdno $U_{oc} = 22$ V

Maximálny skratový prúd $I_{sc} = 0,87$ A

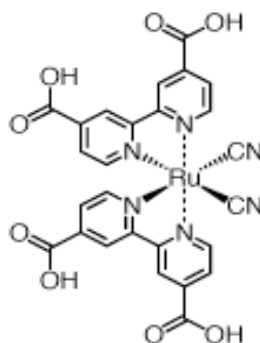
Maximálne napätie pri záťaži 15 W: $U_{mp} = 18$ V

Maximálny prúd pri 15 W: $I_{mp} = 0,84$ A

Pracovná teplota $-40 \div +85$ °C

TYP článku 4

Vrstva DSSC článku: Farbivo 505



Chemický názov: cis-dicyano-bis(2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylic acid)
ruthenium(II)

Skrátený vzorec: $\text{RuL}_2(\text{CN})_2$ (L = 2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylic acid)

Molekulárny zápis: $\text{C}_{26}\text{H}_{16}\text{O}_8\text{N}_6\text{Ru}$

Hmotnosť: 641 g/mol

Vzhľad: Tmavooranžový prášok

TiO_2 vrstva 10 μm

Maximálne napätie naprázdno $U_{oc} = 22 \text{ V}$

Maximálny skratový prúd $I_{sc} = 0,87 \text{ A}$

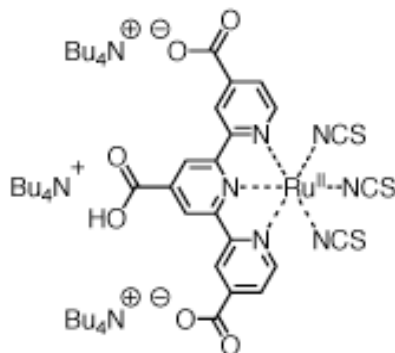
Maximálne napätie pri záťaži 15 W: $U_{mp} = 18 \text{ V}$

Maximálny prúd pri 15 W: $I_{mp} = 0,84 \text{ A}$

Pracovná teplota $-40 \div +85 \text{ }^\circ\text{C}$

TYP článku 5

Vrstva DSSC článku: Farbivo 620-1H3TBA (tiež pod názvom "N-749")



Chemický názov: triisothiocyanato-(2,2':6',6''-terpyridyl-4,4',4''-tricarboxylato) ruthenium(II) tris(tetra-butylammonium)

Skrátený vzorec: $RuL'(NCS)_3 : 3TBA$ (L = 2,2',2'''-terpyridyl-4,4',4''-tricarboxylic acid ; TBA = tetrabutylammonium)

Molekulárny zápis: $C_{69}H_{117}O_6N_9S_3Ru$

Hmotnosť: 1364.7 g/mol

Vzhľad: Čierno až tmavozelený prášok

TiO₂ vrstva 4 μm

Maximálne napätie naprázdno $U_{oc} = 22$ V

Maximálny skratový prúd $I_{sc} = 0,87$ A

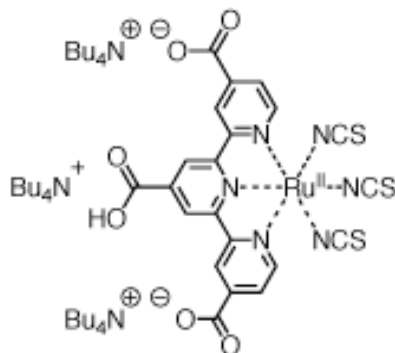
Maximálne napätie pri záťaži 15 W: $U_{mp} = 18$ V

Maximálny prúd pri 15 W: $I_{mp} = 0,84$ A

Pracovná teplota $-40 \div +85$ °C

TYP článku 6

Vrstva DSSC článku: Farbivo 620-1H3TBA (tiež pod názvom "N-749")



Chemický názov: triisothiocyanato-(2,2':6',6''-terpyridyl-4,4',4''-tricarboxylato) ruthenium(II) tris(tetra-butylammonium)

Skrátený vzorec: $\text{RuL}(\text{NCS})_3 : 3\text{TBA}$ (L = 2,2',2''-terpyridyl-4,4',4''-tricarboxylic acid ; TBA = tetrabutylammonium)

Molekulárny zápis: $\text{C}_{69}\text{H}_{117}\text{O}_6\text{N}_9\text{S}_3\text{Ru}$

Hmotnosť: 1364.7 g/mol

Vzhľad: Čierne až tmavozelený prášok

TiO_2 vrstva 10 μm

Maximálne napätie naprázdno $U_{oc} = 22 \text{ V}$

Maximálny skratový prúd $I_{sc} = 0,87 \text{ A}$

Maximálne napätie pri záťaži 15 W: $U_{mp} = 18 \text{ V}$

Maximálny prúd pri 15 W: $I_{mp} = 0,84 \text{ A}$

Pracovná teplota $-40 \div +85 \text{ }^\circ\text{C}$

Rozmery aktívnej plochy článkov sú identické približne $35 \times 50 \text{ cm}$.

4 MERANIE FOTOVOLTICKÝCH KOMPONENTOV

4.1 Popis meracej aplikácie

V rámci meraní projektu „Výskum charakteristík fotovoltických komponentov pre efektívne projektovanie solárnych systémov“ bolo vybudované spoločné laboratórium fotovoltiky s rôznymi typmi fotovoltických panelov. Vo vybavení laboratória sú k dispozícii vzorky fotovoltických panelov od rôznych výrobcov, ktoré sú umiestnené a orientované v rôznych smeroch.

Skupina 6 typov panelov je konštrukčne umiestnených na polohovacích hlavičkách, ďalšie skupiny po 6 panelov sú orientované napevno v smeroch vodorovne, na juh, západ a východ.

Časť spoločného laboratória je lokalizovaná v Prešove a obsahuje 30 fotovoltických panelov od rôznych výrobcov, rôzne konštrukčne vyhotovených a orientovaných rôznym smerom. Pre jednotlivé panely sa vykonávajú kontinuálne merania teploty, napätie a výkonu. Dané parametre sú koncentrátorom sústreďované do jedného súboru uloženého na serveri umiestnenom v tejto časti laboratória.

V druhej časti laboratória lokalizovanej v Košiciach na Katedre elektroenergetiky je umiestnený databázový a web server, ktorý v pravidelných intervaloch 60 minút pristupuje cez FTP protokol na server umiestnený pri fotovoltických paneloch, sťahuje súbor s dátami nameranými za poslednú hodinu zo všetkých snímačov na jednotlivých fotovoltických paneloch.

Na obrázku je zobrazená časť súboru, v ktorej sú uložené dáta namerané na jednotlivých fotovoltických paneloch. Dáta sú zaznamenávané každú minútu, pričom pre každú minútu je k dispozícii súbor dát.

Tento súbor začína hlavičkou, kde je zaznamenaný dátum a čas kedy boli parametre nasnímané a uložené. Nasleduje 10 riadkov so samotnými dátami, ktoré sú uložené a matici. Každú riadok predstavuje zariadenie, na vstupe ktorého sú pripojené snímače jednotlivých parametrov snímaných na fotovoltických paneloch.

Každú z týchto zariadení má viac vstupov a je identifikované na začiatku riadku znakmi „dev: XX“, kde XX je identifikátor zariadenia v hexadecimálnej forme.

```

data collection: Thu Jan 10 12:00:28 2013
dev:01 +00.658 +0.0233+0.0583+0.0228+0001.7+0002.3+0000.6
dev:0B +00.633 +0.0061+0.0177+0.0165+0002.5+0002.4+0002.7
dev:15 +00.466 +0.0449+0.0425+0.0276+0005.7+0006.6+0006.2
dev:1F +00.525 +0.0360+0.0444+0.0340+0002.4+0002.7+0003.3
dev:29 +00.489 +0.0540+0.0463+0.0318+0001.5+0002.3+0002.4
dev:33 +00.626 +0.0177+0.0149+0.0494+0002.7+0002.5+0002.4
dev:3D +0.0141+0.0337+0.0268+0002.4+0002.4+0002.5
dev:47 +0.0570+0.1128+0.0454+0003.1+0002.7+0002.3
dev:51 +0.0654+0.0605+0.0105+0004.7+0004.7+0004.6
dev:5B +0.0590+0.0551+0.0449+0006.3+0006.0+0006.3
-----
data collection: Thu Jan 10 12:01:28 2013
dev:01 +00.693 +0.0159+0.0611+0.0241+0001.8+0002.3+0000.4
dev:0B +00.659 +0.0183+0.0189-0.0012+0002.3+0002.4+0002.5
dev:15 +00.503 +0.0471+0.0440+0.0282+0005.7+0006.6+0006.1
dev:1F +00.560 +0.0377+0.0465+0.0355+0002.5+0002.9+0003.3
dev:29 +00.525 +0.0579+0.0497+0.0338+0001.7+0002.3+0002.8
dev:33 +00.651 +0.0190+0.0158+0.0529+0002.8+0002.5+0002.0
dev:3D +0.0150+0.0357+0.0282+0002.7+0002.4+0002.7
dev:47 +0.0592+0.1161+0.0464+0002.9+0002.6+0002.3
dev:51 +0.0683+0.0633-0.0100+0004.8+0005.1+0004.7
dev:5B +0.0632+0.0591+0.0480+0006.2+0006.2+0006.4
-----

```

Obr. 41 Formát dát v súbore na koncentrátore dát a serveri

Ďalšia časť riadku obsahuje samotné dáta. Sú k dispozícii dáta zo snímačov teploty a napätia pre každý z fotovoltických panelov a výkonu pre vybrané panely.

Význam jednotlivých číselných údajov uvedených na obr. 41 je daný nasledujúcou tabuľkovou schémou.

Tab. 7 Rozdelenie jednotlivých údajov snímačov z FV panelov podľa umiestnenia v súbore

pozícia	0	1	2	3	4	5	6	7
adresa								
"01"	Wm01	nepouž.	U02	U01	U00	t00	t01	t02
"11"	Wm11	nepouž.	U12	U11	U10	t10	t11	t12
"21"	Wm21	nepouž.	U22	U21	U20	t20	t21	t22
"31"	Wm31	nepouž.	U32	U31	U30	t30	t31	t32
"41"	Wm41	nepouž.	U42	U41	U40	t40	t41	t42
"51"	Wm51	nepouž.	U52	U51	U50	t50	t51	t52
"61"	nepouž.	nepouž.	U62	U61	U60	t60	t61	t62
"71"	nepouž.	nepouž.	U72	U71	U70	t70	t71	t72
"81"	nepouž.	nepouž.	U82	U81	U80	t80	t81	t82
"91"	nepouž.	nepouž.	U92	U91	U90	t90	t91	t92

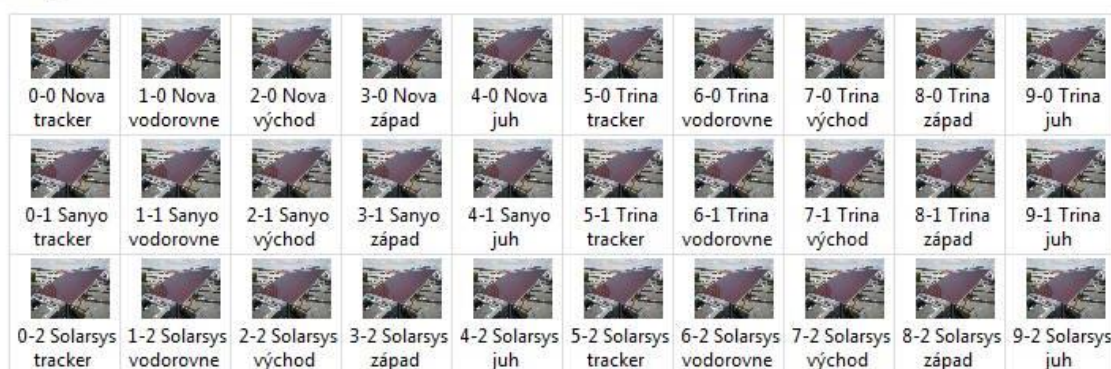
V časti laboratória fotovoltiky, lokalizovanej v Košiciach na Katedre elektroenergetiky, je umiestnený databázový a web server, ktorý v pravidelných intervaloch 60 minút pristupuje cez FTP protokol na server kde je umiestnený súbor s dátami

z fotovoltaických panelov, sťahuje súbor s dátami nameranými za poslednú hodinu zo všetkých snímačov na jednotlivých fotovoltaických paneloch a ukladá na záznamové zariadenie.

Súbory s dátami sú triedené podľa rokov a mesiacov. Na tomto web serveri je umiestnená web aplikácia, ktorá uložené dáta spracúva a zobrazuje v požadovanej forme a s požadovanou presnosťou.

Na obrázku je zobrazená titulná časť tejto web aplikácie s prehľadom použitých fotovoltaických panelov, ich vyobrazením a názvom. Po kliknutí na jednotlivé vyobrazenia fotovoltaických panelov sa zobrazia aktuálne hodnoty parametrov.

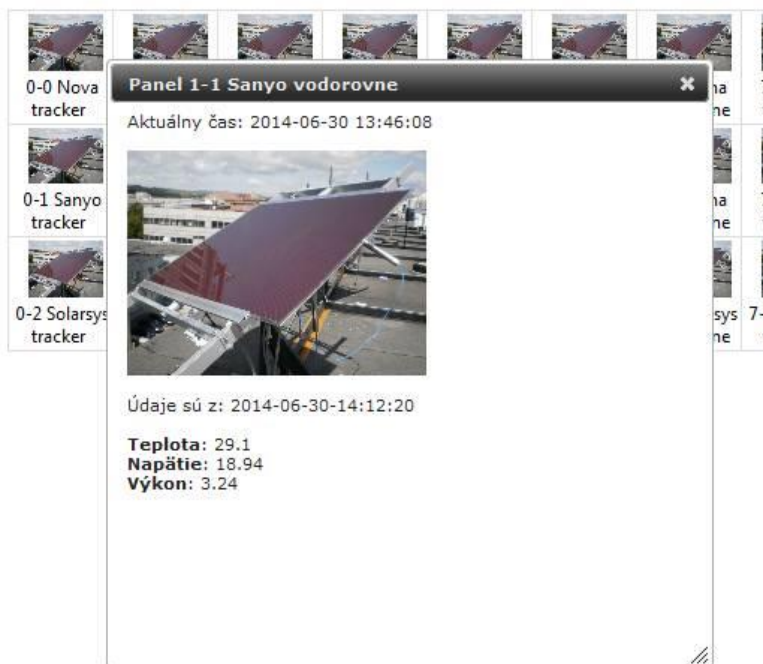
Prehľad panelov



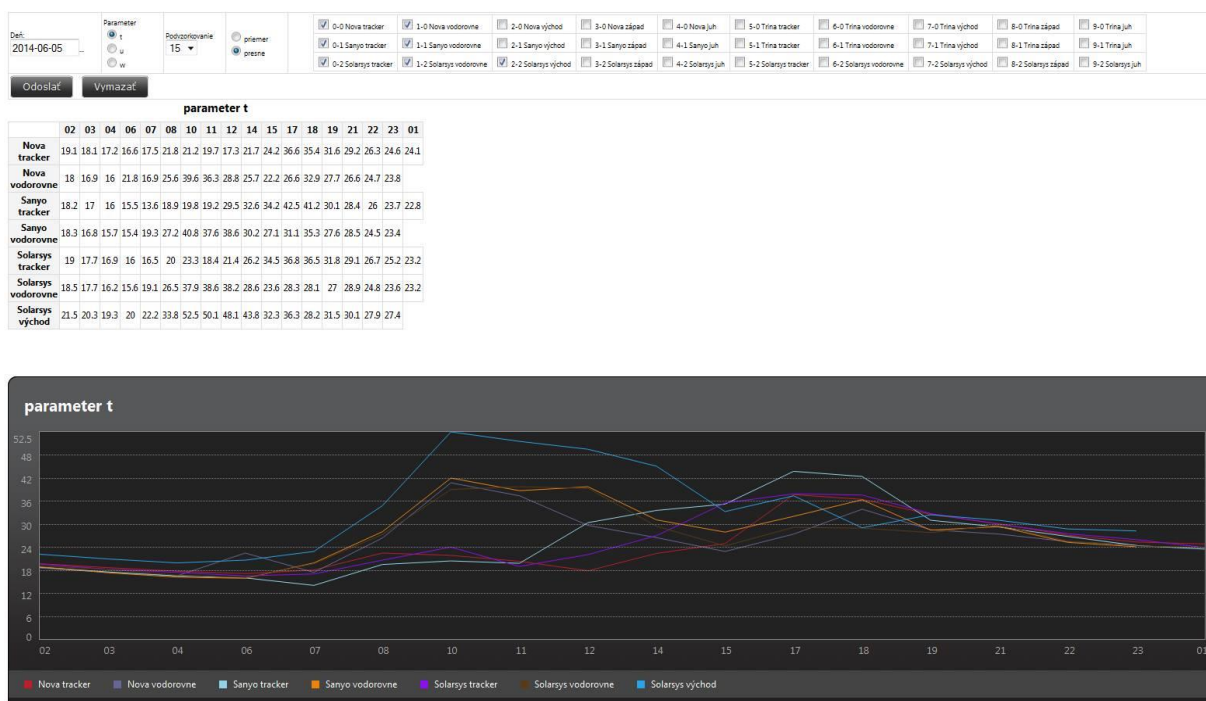
Obr. 42 Titulná časť web aplikácie s prehľadom použitých fotovoltaických panelov

Pre ďalšie spracovanie sú údaje spriemerované a to podľa požiadavky na zobrazenie časového priebehu jednotlivých parametrov. Používa sa metóda podvzorkovania, kde sa pre graf časového priebehu používa len každá n -tá vzorka údajov, kde $n = 1$ až $n = 15$. Druhá metóda používa aritmetický priemer hodnôt parametrov danej veličiny.

Zobrazovacie rozhranie systému poskytuje grafické rozhranie systému, v ktorom sa nachádzajú voľby pre zobrazenie, vybrané údaje fotovoltaických parametrov v tabuľkovej forme a graf časového priebehu vybraných parametrov.



Obr. 43 Detail fotovoltického panelu s jeho nameranými parametrami



Obr. 44 Grafické rozhranie systému pre zobrazenie časových priebehov parametrov



Obr. 45 Grafické rozhranie systému pre zobrazenie časových priebehov parametrov – panel filtrov

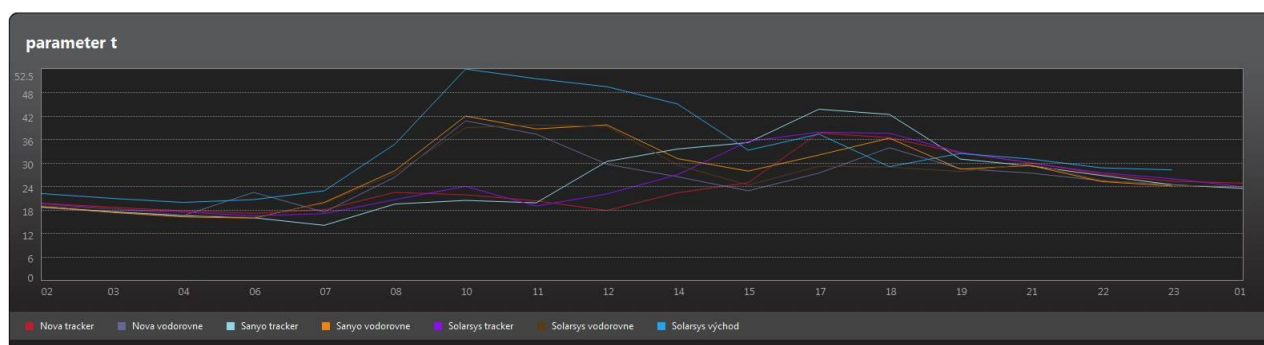
Je možné zvoliť deň, pre ktorý sa majú vybrané údaje zobraziť, parameter, ktorý sa má zobraziť (teplota t , napätie u alebo výkon w), spôsob zobrazenia grafu časového priebehu – priemerné hodnoty alebo hodnoty získané metódou podvzorkovania (voľba presne). V prípade podvzorkovania je možné zvoliť rád podvzorkovania od 1 (presné zobrazenie každej hodnoty) až 15 (zobrazenie každej 15. hodnoty).

Rovnako systém poskytuje možnosť voľby konkrétneho panela, ktorého údaje sa majú zobraziť.

parameter t

	02	03	04	06	07	08	10	11	12	14	15	17	18	19	21	22	23	01
Nova tracker	19.1	18.1	17.2	16.6	17.5	21.8	21.2	19.7	17.3	21.7	24.2	36.6	35.4	31.6	29.2	26.3	24.6	24.1
Nova vodorovne	18	16.9	16	21.8	16.9	25.6	39.6	36.3	28.8	25.7	22.2	26.6	32.9	27.7	26.6	24.7	23.8	
Sanyo tracker	18.2	17	16	15.5	13.6	18.9	19.8	19.2	29.5	32.6	34.2	42.5	41.2	30.1	28.4	26	23.7	22.8
Sanyo vodorovne	18.3	16.8	15.7	15.4	19.3	27.2	40.8	37.6	38.6	30.2	27.1	31.1	35.3	27.6	28.5	24.5	23.4	
Solarsys tracker	19	17.7	16.9	16	16.5	20	23.3	18.4	21.4	26.2	34.5	36.8	36.5	31.8	29.1	26.7	25.2	23.2
Solarsys vodorovne	18.5	17.7	16.2	15.6	19.1	26.5	37.9	38.6	38.2	28.6	23.6	28.3	28.1	27	28.9	24.8	23.6	23.2
Solarsys východ	21.5	20.3	19.3	20	22.2	33.8	52.5	50.1	48.1	43.8	32.3	36.3	28.2	31.5	30.1	27.9	27.4	

Obr. 46 Vybrané údaje fotovoltaických parametrov v tabuľkovej forme



Obr. 47 Vybrané údaje fotovoltaických parametrov v grafickej forme

4.2 Jadro meracej aplikácie

Samotná aplikácia pre vyhodnocovanie údajov je vytvorená ako web aplikácia. Je napísaná v serverovom skriptovacom jazyku PHP v kombinácii s klientskym skriptovacím jazykom Javascript a využitím technológií AJAX, JQuery, CSS a HTML.

Jadro aplikácie je tvorené niekoľkými triedami:

Trieda FileParser

Trieda FileParser sa stará o načítanie a spracovanie údajov so súborov stiahnutých z koncentrátoru dát na server. Je to tiež definované rozmiestnenie panelov v kolekcii dát v súbore, koeficienty prepočtu pre jednotlivé dáta.

```
class FileParser
{
    //atribúty
    public $date;
    public $hour;
    public $min;
    public $sec;
    public $year;
    public $month;
    public $day;
    public $redirectMatrix;
    public $panelObject;

    //metódy
    //-----constructor
    function __construct(&$panels)
    {
        $this->panelObject = (object) $panels;

        //inicializácia presmerovacej matice
        $this->redirectMatrix["01"][0] = "w-0-1";
        $this->redirectMatrix["01"][1] = "na";
        $this->redirectMatrix["01"][2] = "u-0-2";
        $this->redirectMatrix["01"][3] = "u-0-1";
        $this->redirectMatrix["01"][4] = "u-0-0";
        $this->redirectMatrix["01"][5] = "t-0-0";
    }
}
```


\$this->redirectMatrix["01"][6] = "t-0-1";

\$this->redirectMatrix["01"][7] = "t-0-2";

\$this->redirectMatrix["0B"][0] = "w-1-1";

\$this->redirectMatrix["0B"][1] = "na";

\$this->redirectMatrix["0B"][2] = "u-1-2";

\$this->redirectMatrix["0B"][3] = "u-1-1";

\$this->redirectMatrix["0B"][4] = "u-1-0";

\$this->redirectMatrix["0B"][5] = "t-1-0";

\$this->redirectMatrix["0B"][6] = "t-1-1";

\$this->redirectMatrix["0B"][7] = "t-1-2";

\$this->redirectMatrix["15"][0] = "w-2-1";

\$this->redirectMatrix["15"][1] = "na";

\$this->redirectMatrix["15"][2] = "u-2-2";

\$this->redirectMatrix["15"][3] = "u-2-1";

\$this->redirectMatrix["15"][4] = "u-2-0";

\$this->redirectMatrix["15"][5] = "t-2-0";

\$this->redirectMatrix["15"][6] = "t-2-1";

\$this->redirectMatrix["15"][7] = "t-2-2";

\$this->redirectMatrix["1F"][0] = "w-3-1";

\$this->redirectMatrix["1F"][1] = "na";

\$this->redirectMatrix["1F"][2] = "u-3-2";

\$this->redirectMatrix["1F"][3] = "u-3-1";

\$this->redirectMatrix["1F"][4] = "u-3-0";

\$this->redirectMatrix["1F"][5] = "t-3-0";

\$this->redirectMatrix["1F"][6] = "t-3-1";

\$this->redirectMatrix["1F"][7] = "t-3-2";

\$this->redirectMatrix["29"][0] = "w-4-1";

\$this->redirectMatrix["29"][1] = "na";

\$this->redirectMatrix["29"][2] = "u-4-2";

\$this->redirectMatrix["29"][3] = "u-4-1";

\$this->redirectMatrix["29"][4] = "u-4-0";

\$this->redirectMatrix["29"][5] = "t-4-0";

\$this->redirectMatrix["29"][6] = "t-4-1";

\$this->redirectMatrix["29"][7] = "t-4-2";

\$this->redirectMatrix["33"][0] = "w-5-1";

```
$this->redirectMatrix["33"][1] = "na";  
$this->redirectMatrix["33"][2] = "u-5-2";  
$this->redirectMatrix["33"][3] = "u-5-1";  
$this->redirectMatrix["33"][4] = "u-5-0";  
$this->redirectMatrix["33"][5] = "t-5-0";  
$this->redirectMatrix["33"][6] = "t-5-1";  
$this->redirectMatrix["33"][7] = "t-5-2";
```

```
$this->redirectMatrix["3D"][0] = "na";  
$this->redirectMatrix["3D"][1] = "na";  
$this->redirectMatrix["3D"][2] = "u-6-2";  
$this->redirectMatrix["3D"][3] = "u-6-1";  
$this->redirectMatrix["3D"][4] = "u-6-0";  
$this->redirectMatrix["3D"][5] = "t-6-0";  
$this->redirectMatrix["3D"][6] = "t-6-1";  
$this->redirectMatrix["3D"][7] = "t-6-2";
```

```
$this->redirectMatrix["47"][0] = "na";  
$this->redirectMatrix["47"][1] = "na";  
$this->redirectMatrix["47"][2] = "u-7-2";  
$this->redirectMatrix["47"][3] = "u-7-1";  
$this->redirectMatrix["47"][4] = "u-7-0";  
$this->redirectMatrix["47"][5] = "t-7-0";  
$this->redirectMatrix["47"][6] = "t-7-1";  
$this->redirectMatrix["47"][7] = "t-7-2";
```

```
$this->redirectMatrix["51"][0] = "na";  
$this->redirectMatrix["51"][1] = "na";  
$this->redirectMatrix["51"][2] = "u-8-2";  
$this->redirectMatrix["51"][3] = "u-8-1";  
$this->redirectMatrix["51"][4] = "u-8-0";  
$this->redirectMatrix["51"][5] = "t-8-0";  
$this->redirectMatrix["51"][6] = "t-8-1";  
$this->redirectMatrix["51"][7] = "t-8-2";
```

```
$this->redirectMatrix["5B"][0] = "na";  
$this->redirectMatrix["5B"][1] = "na";  
$this->redirectMatrix["5B"][2] = "u-9-2";  
$this->redirectMatrix["5B"][3] = "u-9-1";  
$this->redirectMatrix["5B"][4] = "u-9-0";
```

```
$this->redirectMatrix["5B"][5] = "t-9-0";
$this->redirectMatrix["5B"][6] = "t-9-1";
$this->redirectMatrix["5B"][7] = "t-9-2";
```

//inicializácia matice koeficientov prepočtu

```
$this->coeffMatrix["01"][0] = 1;
$this->coeffMatrix["01"][1] = 1;
$this->coeffMatrix["01"][2] = 201/11;
$this->coeffMatrix["01"][3] = 167/3;
$this->coeffMatrix["01"][4] = 12547/47;
$this->coeffMatrix["01"][5] = 1;
$this->coeffMatrix["01"][6] = 1;
$this->coeffMatrix["01"][7] = 1;
```

```
$this->coeffMatrix["0B"][0] = 1;
$this->coeffMatrix["0B"][1] = 1;
$this->coeffMatrix["0B"][2] = 201/11;
$this->coeffMatrix["0B"][3] = 167/3;
$this->coeffMatrix["0B"][4] = 12547/47;
$this->coeffMatrix["0B"][5] = 1;
$this->coeffMatrix["0B"][6] = 1;
$this->coeffMatrix["0B"][7] = 1;
```

```
$this->coeffMatrix["15"][0] = 1;
$this->coeffMatrix["15"][1] = 1;
$this->coeffMatrix["15"][2] = 201/11;
$this->coeffMatrix["15"][3] = 167/3;
$this->coeffMatrix["15"][4] = 12547/47;
$this->coeffMatrix["15"][5] = 1;
$this->coeffMatrix["15"][6] = 1;
$this->coeffMatrix["15"][7] = 1;
```

```
$this->coeffMatrix["1F"][0] = 1;
$this->coeffMatrix["1F"][1] = 1;
$this->coeffMatrix["1F"][2] = 201/11;
$this->coeffMatrix["1F"][3] = 167/3;
$this->coeffMatrix["1F"][4] = 12547/47;
$this->coeffMatrix["1F"][5] = 1;
$this->coeffMatrix["1F"][6] = 1;
$this->coeffMatrix["1F"][7] = 1;
```

```
$this->coeffMatrix["29"][0] = 1;  
$this->coeffMatrix["29"][1] = 1;  
$this->coeffMatrix["29"][2] = 201/11;  
$this->coeffMatrix["29"][3] = 167/3;  
$this->coeffMatrix["29"][4] = 12547/47;  
$this->coeffMatrix["29"][5] = 1;  
$this->coeffMatrix["29"][6] = 1;  
$this->coeffMatrix["29"][7] = 1;
```

```
$this->coeffMatrix["33"][0] = 1;  
$this->coeffMatrix["33"][1] = 1;  
$this->coeffMatrix["33"][2] = 201/11;  
$this->coeffMatrix["33"][3] = 201/11;  
$this->coeffMatrix["33"][4] = 201/11;  
$this->coeffMatrix["33"][5] = 1;  
$this->coeffMatrix["33"][6] = 1;  
$this->coeffMatrix["33"][7] = 1;
```

```
$this->coeffMatrix["3D"][0] = 1;  
$this->coeffMatrix["3D"][1] = 1;  
$this->coeffMatrix["3D"][2] = 201/11;  
$this->coeffMatrix["3D"][3] = 201/11;  
$this->coeffMatrix["3D"][4] = 201/11;  
$this->coeffMatrix["3D"][5] = 1;  
$this->coeffMatrix["3D"][6] = 1;  
$this->coeffMatrix["3D"][7] = 1;
```

```
$this->coeffMatrix["47"][0] = 1;  
$this->coeffMatrix["47"][1] = 1;  
$this->coeffMatrix["47"][2] = 201/11;  
$this->coeffMatrix["47"][3] = 201/11;  
$this->coeffMatrix["47"][4] = 201/11;  
$this->coeffMatrix["47"][5] = 1;  
$this->coeffMatrix["47"][6] = 1;  
$this->coeffMatrix["47"][7] = 1;
```

```
$this->coeffMatrix["51"][0] = 1;  
$this->coeffMatrix["51"][1] = 1;  
$this->coeffMatrix["51"][2] = 201/11;
```

```

$this->coeffMatrix["51"][3] = 201/11;
$this->coeffMatrix["51"][4] = 201/11;
$this->coeffMatrix["51"][5] = 1;
$this->coeffMatrix["51"][6] = 1;
$this->coeffMatrix["51"][7] = 1;

$this->coeffMatrix["5B"][0] = 1;
$this->coeffMatrix["5B"][1] = 1;
$this->coeffMatrix["5B"][2] = 201/11;
$this->coeffMatrix["5B"][3] = 201/11;
$this->coeffMatrix["5B"][4] = 201/11;
$this->coeffMatrix["5B"][5] = 1;
$this->coeffMatrix["5B"][6] = 1;
$this->coeffMatrix["5B"][7] = 1;
}

```

Metódy pre manipuláciu so súborom:

- lokalizácia súboru,
- otvorenie a zatvorenie súboru,
- načítanie údajov zo súboru do údajových štruktúr.

```

//-----metódy pre manipuláciu so súborom-----
//-----
public function locateFile($inDate, $inHour)
{
    //$inDate format: 2012-01-01
    //$inHour format: 05
    $this->date = $inDate;
    $this->hour = $inHour;
    if ($this->hour == "al")
    {
        $this->hour = "??";
    }
    $this->min = "??";
    $this->sec = "??";
    $this->year = substr($this->date, 0, 4);
    $this->month = substr($this->date, 5, 2);
    if ($this->month == "al")

```

```
        {
            $this->month = "??";
        }
        $this->day = substr($this->date, 8, 2);
        if ($this->day == "al")
        {
            $this->day = "??";
        }

        $fileName = "data/".$this->year."/".$this->month."/datalog-".$this->year."-".$this->month."-
".$this->day."-".$this->hour."-??-???.txt";
        return $fileName;
    }

    //-----otvorenie súboru
    public function openFile($fileName)
    {
        $filePointer = fopen($fileName, "r");
        return $filePointer;
    }

    //-----zatvorenie súboru
    public function closeFile($filePointer)
    {
        fclose($filePointer);
    }

    //-----metódy pre načítanie dát zo súboru-----
    //-----
    public function loadFromFile($inDate, $inHour, $avgForParamater = "none", $avgForX = "none",
$avgForY = "none")
    {
        $fileCounter = 0;

        $fileName = $this->locateFile($inDate, $inHour);

        foreach (glob($fileName) as $file)
        {
            $filePointer = $this->openFile($file);
            $this->readData($filePointer);
        }
    }
}
```

```

$this->closeFile($filePointer);

if (($avgForParamater != "none") && ($avgForX != "none") && ($avgForY != "none"))
{
    //pick averages
    if ($avgForParamater == "w")
    {
        $saverage = $this->panelObject->panely[$avgForX][$avgForY]->wAvg;
    }
    elseif ($avgForParamater == "t")
    {
        $saverage = $this->panelObject->panely[$avgForX][$avgForY]->tAvg;
    }
    elseif ($avgForParamater == "u")
    {
        $saverage = $this->panelObject->panely[$avgForX][$avgForY]->uAvg;
    }
}

$fileCounter++;
}

return $saverage;
}

//-----načítanie dát jednej hodiny
public function loadHour($inDate, $inHour, $avgForParamater = "none", $avgForX = "none",
$avgForY = "none")
{
    $saverage = $this->loadFromFile($inDate, $inHour, $avgForParamater, $avgForX, $avgForY);
    return $saverage;
}

//----- načítanie dát jednej hodiny
public function loadOneHour($inDate, $inHour)
{
    $this->loadFromFile($inDate, $inHour);
}

//-----metódy parsovania dát-----

```

```
//-----  
public function readData($filePointer)  
{  
    //reset arrays  
    //$this->panelObject->resetAllPanels();  
  
    while($this->readCollection($filePointer))  
    {  
        $collections++;  
    }  
  
    //count hourly average  
    foreach ($this->panelObject->panely as $cols => $col)  
    {  
        foreach ($col as $rows => $row)  
        {  
  
            $this->panelObject->panely[$cols][$rows]->wAvg=$this->panelObject->panely[$cols][$rows]->wAvg /  
            $collections;  
  
            $this->panelObject->panely[$cols][$rows]->tAvg = $this->panelObject->panely[$cols][$rows]->tAvg /  
            $collections;  
  
            $this->panelObject->panely[$cols][$rows]->uAvg = $this->panelObject->panely[$cols][$rows]->uAvg /  
            $collections;  
  
        }  
    }  
}  
  
//-----načítanie kolekcie dát  
public function readCollection($filePointer)  
{  
    while (($buffer = fgets($filePointer, 4096)) !== false)  
    {  
        if (substr($buffer, 0, 15) == "data collection")  
        {  
            //parse collection date/time  
            $colYear = $this->year;  
            $colMonth = $this->month;  
            $colDay = $this->day;
```



```

        $colHour = substr($buffer, 28, 2);
        $colMin = substr($buffer, 31, 2);
        $colSec = substr($buffer, 34, 2);
        $colTime=$colYear."-".$colMonth."-".$colDay."-
.$colHour.".".$colMin.".".$colSec;
    }
    elseif (substr($buffer, 0, 7) == "-----")
    {
        //collection end
        break;
    }
    else
    {
        //device data
        $charstart = 7;
        $device = substr($buffer, 4, 2);

        for ($i = 0; $i <= 7; $i++)
        {
            $charpos = $charstart + ($i * 7);
            $data = substr($buffer, $charpos, 7);

//redirect data
$panelPos = $this->decodePanelPos($device, $i);
if ($panelPos != false)
{
    $parameter = $panelPos["par"];
    $koef = $panelPos["koef"];
    if ($parameter == "w")
    {
        $this->panelObject->panely[$panelPos["x"]][$panelPos["y"]]->w[$colTime] = round(($data), 2);
        $this->panelObject->panely[$panelPos["x"]][$panelPos["y"]]->wAvg += round(floatval(($data)), 2);
    }
    elseif ($parameter == "t")
    {
        $this->panelObject->panely[$panelPos["x"]][$panelPos["y"]]->t[$colTime] = round(($data), 2);
        $this->panelObject->panely[$panelPos["x"]][$panelPos["y"]]->tAvg += floatval(($data));
    }
    elseif ($parameter == "u")
    {

```

```
$this->panelObject->panely[$panelPos["x"]][$panelPos["y"]->u[$colTime] = round((($data) * $koef),
2);
$this->panelObject->panely[$panelPos["x"]][$panelPos["y"]->uAvg += round(floatval(($data) *
$koef), 2);
}
}
}
}
}
```

```
if ($buffer === false) return false;
else return true;
```

```
if (!feof($filePointer))
{
    echo "Error: unexpected fgets() fail\n";
}
}
```

//-----načítanie posledných zaznamenaných hodnôt

```
public function getLastValues($x, $y)
```

```
{
    //get current date and time
    $date = date('Y-m-d');
    $year = date('Y');
    $month = date('m');
    $time = date('H:i:s');
    $ret = "Aktuálny čas: ".$date."&nbsp;".$time."<br/><br/>";
```

```
//get last file
$fileName = "../".$this->locateFile($date, 'al');
foreach (glob($fileName) as $file)
{
    $lastfile = $file;
}
}
```

```
//open that file
$filePointer = $this->openFile($lastfile);
```

```
//read last record
```

```

while($this->readCollection($filePointer))
{
    $collections++;
}

$this->closeFile($filePointer);

//image
$image = "pics/panels/panel_".$x."_".$y.".jpg";
if (!file_exists($image)) $image = "pics/panels/panel_0_0.jpg";
$ret .= "<img src=\"".$image."\" alt=\"\" title=\"\" width=\"200\" /><br/><br/>";

//echo last record
$lastT = end($this->panelObject->panely[$y][$x]->t);
$lastU = end($this->panelObject->panely[$y][$x]->u);
$lastW = end($this->panelObject->panely[$y][$x]->w);

$ret .= "Údaje sú z: ".key($this->panelObject->panely[$y][$x]->t)."<br/><br/>";

$ret .= "<span style=\"font-weight: bold;\">Teplota</span>: ".$lastT."<br/>";
$ret .= "<span style=\"font-weight: bold;\">Napätie</span>: ".$lastU."<br/>";
$ret .= "<span style=\"font-weight: bold;\">Výkon</span>: ".$lastW."<br/>";

return $ret;
}

//-----podporné metódy-----
//-----dekódovanie pozície panelu podľa identifikátora
public function decodePanelPos($dev, $pos)
{
    $string = $this->redirectMatrix[$dev][$pos];
    if ($string == "na") return false;
    $arr = explode("-", $string);
    $retArr["x"] = $arr[1];
    $retArr["y"] = $arr[2];
    $retArr["par"] = $arr[0];
    $retArr["koef"] = $this->coeffMatrix[$dev][$pos];

    return $retArr;
}

```

```
}
```

Uvedená trieda načíta dáta jednotlivých parametrov do zodpovedajúcich polí a údajových štruktúr, ktoré sú potom k dispozícii pre ďalšie spracovanie a zobrazenie v užívateľskom rozhraní aplikácie.

Trieda Panel

Trieda Panel zavádza a inicializuje dátové úložisko pre údaje jednotlivých meraných parametrov:

```
class Panel
{
    //atribúty triedy
    public $t;
    public $u;
    public $w;
    public $tAvg;
    public $uAvg;
    public $wAvg;

    //metódy triedy
    //constructor
    function __construct()
    {
        $this->t = array();
        $this->w = array();
        $this->u = array();
        $this->tAvg = 0;
        $this->uAvg = 0;
        $this->wAvg = 0;
    }

    //-----všeobecné metódy-----
    //-----inicializácia polí
    public function resetArrays()
    {
        $this->t = array();
        $this->w = array();
```

```

        $this->u = array();
        $this->tAvg = 0;
        $this->uAvg = 0;
        $this->wAvg = 0;
    }

}

```

Trieda PanelSet

Trieda PanelSet je určená na manipuláciu s načítanými dátami pre jednotlivé merané parametre fotovoltaických panelov. Zabezpečuje vykreslenie panelov, vykreslenie jednotlivých parametrov panelov v závislosti na čase, podvzorkovanie dát.

```

class PanelSet
{
//atribúty metódy
public $panely;

//metódy triedy
//constructor
function __construct()
{
for ($x = 0; $x <= 9; $x++)
{
for ($y = 0; $y <= 2; $y++)
{
$this->panely[$x][$y] = new Panel();
}
}

//inicializácia matice názvov panelov
$this->nameMatrix[0][0] = "Nova tracker";
$this->nameMatrix[1][0] = "Nova vodorovne";
$this->nameMatrix[2][0] = "Nova východ";
$this->nameMatrix[3][0] = "Nova západ";
$this->nameMatrix[4][0] = "Nova juh";
$this->nameMatrix[5][0] = "Trina tracker";
$this->nameMatrix[6][0] = "Trina vodorovne";
$this->nameMatrix[7][0] = "Trina východ";

```

```
$this->nameMatrix[8][0] = "Trina západ";
```

```
$this->nameMatrix[9][0] = "Trina juh";
```

```
$this->nameMatrix[0][1] = "Sanyo tracker";
```

```
$this->nameMatrix[1][1] = "Sanyo vodorovne";
```

```
$this->nameMatrix[2][1] = "Sanyo východ";
```

```
$this->nameMatrix[3][1] = "Sanyo západ";
```

```
$this->nameMatrix[4][1] = "Sanyo juh";
```

```
$this->nameMatrix[5][1] = "Trina tracker";
```

```
$this->nameMatrix[6][1] = "Trina vodorovne";
```

```
$this->nameMatrix[7][1] = "Trina východ";
```

```
$this->nameMatrix[8][1] = "Trina západ";
```

```
$this->nameMatrix[9][1] = "Trina juh";
```

```
$this->nameMatrix[0][2] = "Solarsys tracker";
```

```
$this->nameMatrix[1][2] = "Solarsys vodorovne";
```

```
$this->nameMatrix[2][2] = "Solarsys východ";
```

```
$this->nameMatrix[3][2] = "Solarsys západ";
```

```
$this->nameMatrix[4][2] = "Solarsys juh";
```

```
$this->nameMatrix[5][2] = "Solarsys tracker";
```

```
$this->nameMatrix[6][2] = "Solarsys vodorovne";
```

```
$this->nameMatrix[7][2] = "Solarsys východ";
```

```
$this->nameMatrix[8][2] = "Solarsys západ";
```

```
$this->nameMatrix[9][2] = "Solarsys juh";
```

```
}
```

```
//-----všeobecné metódy-----
```

```
//-----vrátenie zostavy panelov
```

```
public function getSet()
```

```
{
```

```
return $this;
```

```
}
```

```
//-----reset všetkých panelov
```

```
public function resetAllPanels()
```

```
{
```

```
for ($x = 0; $x <= 9; $x++)
```

```
{
```

```
for ($y = 0; $y <= 2; $y++)
```

```

{
$this->panely[$x][$y]->resetArrays();
}
}
}

//-----vykresľovacie metódy-----
//-----vakreslenie grafu
public function drawChart($par, $whichPanels, $from = "today", $to = "today")
{
if ($par == "") return;
switch ($par)
{
case "t":
if (!(empty($whichPanels)) && (is_array($whichPanels)))
{
?>
<script type="text/javascript">
$(document).ready(function() {
$('#tableT').visualize({type: 'line', width: '1500px', lineWidth: 1});
});
</script>

<table id="tableT">
<caption>parameter TEPLOTA</caption>
<?
$this->drawPar("t", $whichPanels, $from, $to);
?>
</table>
<?

}
break;

case "u":
if (!(empty($whichPanels)) && (is_array($whichPanels)))
{
?>
<script type="text/javascript">
$(document).ready(function() {

```

```
$('#tableU').visualize({type: 'line', width: '1500px', lineWeight: 1});  
});  
</script>
```

```
<table id="tableU">  
<caption>parameter Napätie</caption>  
<?  
$this->drawPar("u", $whichPanels, $from, $to);  
?>  
</table>  
<?
```

```
}  
break;
```

```
case "w":  
if (!(empty($whichPanels)) && (is_array($whichPanels)))  
{  
?>  
<script type="text/javascript">  
$(document).ready(function() {  
$('#tableW').visualize({type: 'line', width: '1500px', lineWeight: 1});  
});  
</script>
```

```
<table id="tableW">  
<caption>parameter Výkon</caption>  
<?  
$this->drawPar("w", $whichPanels, $from, $to);  
?>  
</table>  
<?
```

```
}  
break;
```

```
default:  
return;  
}  
}
```



```
//-----vykreslenie konkrétneho parametra
public function drawPar($par, $whichPanels, $from = "today", $to = "today")
{
    global $parser;
    $fc = array();
    if (!(empty($whichPanels)) && (is_array($whichPanels)))
    {
        //---time interval decoding
        //calculate time interval between from and to
        $timeDiff = $this->timeDiff($from, $to);

        //calculate scope h, d, m or y
        if ($timeDiff["years"] != 0)
        {
            $scope = "y";
            $downsample = 1 / $timeDiff["years"];
        }
        elseif ($timeDiff["months"] != 0)
        {
            $scope = "m";
            $downsample = 1 / $timeDiff["months"];
        }
        elseif ($timeDiff["days"] != 0)
        {
            $scope = "d";
            $downsample = 1 / $timeDiff["days"];
        }
        elseif ($timeDiff["hours"] != 0)
        {
            $scope = "h";
            $downsample = 1 / $timeDiff["hours"];
        }
        else
        {
            $scope = "undef";
            $downsample = 1;
        }

        $downsample = floor($downsample);
    }
}
```

```
$scope = "d";
//---render time axis
switch($scope)
{
case "y":
/*$months = $this->get_months($from, $to);

//vals to keys
$fc = array_flip($months);*/
break;

case "m":
//$days = $this->get_days(substr($from, 0, 10), substr($to, 0, 10));

//vals to keys
//$fc = array_flip($days);
break;

case "d":
$fc["00"] = 0;
$fc["01"] = 0;
$fc["02"] = 0;
$fc["03"] = 0;
$fc["04"] = 0;
$fc["05"] = 0;
$fc["06"] = 0;
$fc["07"] = 0;
$fc["08"] = 0;
$fc["09"] = 0;
$fc["10"] = 0;
$fc["11"] = 0;
$fc["12"] = 0;
$fc["13"] = 0;
$fc["14"] = 0;
$fc["15"] = 0;
$fc["16"] = 0;
$fc["17"] = 0;
$fc["18"] = 0;
$fc["19"] = 0;
```

```

$fc["20"] = 0;
$fc["21"] = 0;
$fc["22"] = 0;
$fc["23"] = 0;
break;

case "h":
//$days = $this->get_months(substr($from, 0, 10), substr($to, 0, 10));

//vals to keys
//$fc = array_flip($days);
break;
}

//render table header
?>
<thead>
<tr>
<td></td>
<?
foreach($fc as $key => $val)
{
if ($key == $prev)
{
echo "<th scope=\"col\">&nbsp;</th>";
}
else
{
echo "<th scope=\"col\">".$key."</th>";
}
$prev = $key;
}
?>
</tr>
</thead>
<tbody>
<?

foreach ($whichPanels as $key => $val)
{

```

```
$panelPos = explode("-", $val);
if (($panelPos[0] < 0) || ($panelPos[0] > 9) || ($panelPos[1] < 0) || ($panelPos[1] > 2)) return;

//render panel values in time interval
switch($scope)
{
case "y":
/*echo "<tr><th scope=\"row\">".$val."</th>";
foreach($fc as $time => $parValue)
{
$fc[$time] = $this->getMonthAvg($par, $panelPos[0], $panelPos[1], $time);
echo "<td>".$fc[$time]."</td>";
}
echo "</tr>";*/
break;

case "m":
//echo "<tr><th scope=\"row\">".$val."</th>";
/*foreach($fc as $time => $parValue)
{
$fc[$time] = $this->getMonthAvg($par, $panelPos[0], $panelPos[1], $time);
echo "<td>".$val."</td>";
}*/
//echo "</tr>";
break;

case "d":
echo "<tr><th scope=\"row\" style=\"width: 200px;\">".$this-
>nameMatrix[$panelPos[0]][$panelPos[1]]."</th>";
foreach($fc as $time => $parValue)
{
$fc[$time] = $parser->loadHour(substr($from, 0, 10), $time, $par, $panelPos[0], $panelPos[1]);
echo "<td>".round($fc[$time], 2)."</td>";
}
echo "</tr>";
break;

case "h":
//echo "<tr><th scope=\"row\">".$val."</th>";
/*foreach($fc as $time => $parValue)
```

```

{
$fc[$time] = $this->getMonthAvg($par, $panelPos[0], $panelPos[1], $time);
echo "<td>".$val."</td>";
}*/
//echo "</tr>";
break;
}
}
?>
</tbody>
</table>
<?
}
}

//-----vykreslenie parametra pre jeden deň
public function drawOneDay($paramaters, $whichPanels, $day = "today", $step = 2)
{
global $parser;
$hours = array();

if (!(is_array($paramaters)) || (count($paramaters) <= 0)) return;

if (!(empty($whichPanels)) && (is_array($whichPanels)))
{
//render time axis
$hours["00"] = 0;
$hours["01"] = 0;
$hours["02"] = 0;
$hours["03"] = 0;
$hours["04"] = 0;
$hours["05"] = 0;
$hours["06"] = 0;
$hours["07"] = 0;
$hours["08"] = 0;
$hours["09"] = 0;
$hours["10"] = 0;
$hours["11"] = 0;
$hours["12"] = 0;
$hours["13"] = 0;

```

```
$hours["14"] = 0;  
$hours["15"] = 0;  
$hours["16"] = 0;  
$hours["17"] = 0;  
$hours["18"] = 0;  
$hours["19"] = 0;  
$hours["20"] = 0;  
$hours["21"] = 0;  
$hours["22"] = 0;  
$hours["23"] = 0;
```

```
//načítanie hodinových údajov zo súboru  
foreach($hours as $time => $parValue)  
{  
$parser->loadOneHour(substr($day, 0, 10), $time);  
}
```

```
//výber parametra a vykreslenie tabuľky a grafu  
foreach($paramaters as $parkey => $par)  
{  
switch ($par)  
{  
case "t":  
?>  
<script type="text/javascript">  
$(document).ready(function() {  
$('#tableT').visualize({type: 'line', width: '1500px', lineWidth: 1});  
});  
</script>
```

```
<table id="tableT">  
<caption>parameter t</caption>  
<?>
```

```
//render table header
```

```
?>
```

```
<thead>
```

```
<tr>
```

```
    <td></td>
```

```
    <?>
```

```
        foreach($this->panely[1][1]->t as $key => $val)
```

```

        {
            if (($counter++ % $step) !== 0) continue;
            if (substr($key, 11, 2) == $prev)
            {
                echo "<th scope=\"col\">&nbsp;</th>";
            }
            else
            {
                echo "<th scope=\"col\">".substr($key, 11, 2)."</th>";
            }
            $prev = substr($key, 11, 2);
        }
    ?>
</tr>
</thead>
<tbody>
<?
foreach ($whichPanels as $key => $val)
{
    $panelPos = explode("-", $val);
    if (($panelPos[0] < 0) || ($panelPos[0] > 9) || ($panelPos[1] < 0) || ($panelPos[1] > 2)) break;

    //render panel values in time interval
    echo "<tr><th scope=\"row\">".$this->nameMatrix[$panelPos[0]][$panelPos[1]]."</th>";
    foreach($this->panely[$panelPos[0]][$panelPos[1]]->t as $xaxis => $yaxis)
    {
        if (($counter++ % $step) !== 0) continue;
        echo "<td>".$yaxis."</td>";
    }
    echo "</tr>";
}
?>
</tbody>
</table>
<?
break;

case "u":
?>
<script type="text/javascript">

```

```

$(document).ready(function() {
$('#tableU').visualize({type: 'line', width: '1500px', lineWeight: 1});
});
</script>

<table id="tableU">
<caption>parameter u</caption>
<?
//render table header
?>
<thead>
<tr>
    <td></td>
    <?
        foreach($this->panely[1][1]->u as $key => $val)
        {
            if (($counter++ % $step) !== 0) continue;
            if (substr($key, 11, 2) == $prev)
            {
                echo "<th scope=\"col\">&nbsp;</th>";
            }
            else
            {
                echo "<th scope=\"col\">".substr($key, 11, 2)."</th>";
            }
            $prev = substr($key, 11, 2);
        }
    ?>
</tr>
</thead>
<tbody>
<?
foreach ($whichPanels as $key => $val)
{
$panelPos = explode("-", $val);
if (($panelPos[0] < 0) || ($panelPos[0] > 9) || ($panelPos[1] < 0) || ($panelPos[1] > 2)) break;

//render panel values in time interval
echo "<tr><th scope=\"row\">".$this->nameMatrix[$panelPos[0]][$panelPos[1]]."</th>";
foreach($this->panely[$panelPos[0]][$panelPos[1]]->u as $xaxis => $yaxis)

```



```

{
if (($counter++ % $step) !== 0) continue;
echo "<td>".$yaxis."</td>";
}
echo "</tr>";
}
?>
</tbody>
</table>
<?
break;

case "w":
?>
<script type="text/javascript">
$(document).ready(function() {
$('#tableW').visualize({ type: 'line', width: '1500px', lineWeight: 1 });
});
</script>

<table id="tableW">
<caption>parameter w</caption>
<?
//render table header
?>
<thead>
<tr>
    <td></td>
    <?
        foreach($this->panely[1][1]->w as $key => $val)
        {
            if (($counter++ % $step) !== 0) continue;
            if (substr($key, 11, 2) == $prev)
            {
                echo "<th scope=\"col\">&nbsp;</th>";
            }
            else
            {
                echo "<th scope=\"col\">".substr($key, 11, 2)."</th>";
            }
        }
    }
}

```

```
        $prev = substr($key, 11, 2);
    }
?>
</tr>
</thead>
<tbody>
<?
foreach ($whichPanels as $key => $val)
{
    $panelPos = explode("-", $val);
    if (($panelPos[0] < 0) || ($panelPos[0] > 9) || ($panelPos[1] < 0) || ($panelPos[1] > 2)) break;

    //render panel values in time interval
    echo "<tr><th scope='row'>".$this->nameMatrix[$panelPos[0]][$panelPos[1]]."</th>";
    foreach($this->panely[$panelPos[0]][$panelPos[1]]->w as $xaxis => $yaxis)
    {
        if (($counter++ % $step) !== 0) continue;
        echo "<td>".$yaxis."</td>";
    }
    echo "</tr>";
}
?>
</tbody>
</table>
<?
break;

default:
break;
}
}
}
}

//-----výpočet mesačného priemeru parametra
public function getMonthAvg($par, $panelPosX, $panelPosY, $ym)
{
    $avg = 0;
    $sum = 0;
    $count = 0;
```

```
global $parser;
```

```
$averages = $parser->loadHour($ym."-al", "al", $par, $panelPosX, $panelPosY);
```

```
$sum = array_sum($averages);
```

```
$monthlyAverage = $sum / count($averages);
```

```
return $monthlyAverage;
```

```
}
```

```
//-----výpočet časového intervalu
```

```
public function timeDiff($firstTime, $lastTime)
```

```
{
```

```
$diff["years"] = 0;
```

```
$diff["months"] = 0;
```

```
$diff["days"] = 0;
```

```
$diff["hours"] = 0;
```

```
$diff["minutes"] = 0;
```

```
$diff["seconds"] = 0;
```

```
//convert to unix timestamps
```

```
$firstTime = strtotime($firstTime);
```

```
$lastTime = strtotime($lastTime);
```

```
//perform subtraction to get the difference (in seconds) between times
```

```
$timeDiff = $lastTime - $firstTime;
```

```
$diff["years"] = abs(floor($timeDiff / (365 * 60 * 60 * 24)));
```

```
$diff["months"] = abs(floor(($timeDiff - $diff["years"] * 365 * 60 * 60 * 24) / (30 * 60 * 60 * 24)));
```

```
$diff["days"] = abs(floor(($timeDiff - $diff["years"] * 365 * 60 * 60 * 24 - $diff["months"] * 30 * 60 * 60 * 24) / (60 * 60 * 24)));
```

```
$diff["hours"] = abs(floor(($timeDiff - $diff["years"] * 365 * 60 * 60 * 24 - $diff["months"] * 30 * 60 * 60 * 24 - $diff["days"] * 60 * 60 * 24) / (60 * 60)));
```

```
$diff["minutes"] = abs(floor(($timeDiff - $diff["years"] * 365 * 60 * 60 * 24 - $diff["months"] * 30 * 60 * 60 * 24 - $diff["days"] * 60 * 60 * 24 - $diff["hours"] * 60 * 60) / 60));
```

```
$diff["seconds"] = abs(floor(($timeDiff - $diff["years"] * 365 * 60 * 60 * 24 - $diff["months"] * 30 * 60 * 60 * 24 - $diff["days"] * 60 * 60 * 24 - $diff["hours"] * 60 * 60 - $diff["minutes"] * 60)));
```

```
return $diff;
```

```
}
```

```
//-----  
public function get_months($startstring, $endstring)  
{  
    $time1 = strtotime($startstring); //absolute date comparison  
    $time2 = strtotime($endstring);  
    $my1 = date('mY', $time1); //need these to compare dates at 'month' granularity  
    $my2 = date('mY', $time2);  
    $year1 = date('Y', $time1);  
    $year2 = date('Y', $time2);  
    $years = range($year1, $year2);  
    $months = array();  
  
    foreach($years as $year)  
    {  
        while($time1 < $time2)  
        {  
            if(date('Y', $time1) == $year)  
            {  
                $months[] = date('Y-m', $time1);  
                $time1 = strtotime(date('Y-m', $time1).' +1 month');  
            }  
            else  
            {  
                break;  
            }  
        }  
        continue;  
    }  
  
    return $months;  
}  
  
}
```

Samotné sťahovanie dát z koncentrátora ne server zabezpečuje nasledujúci skript, ktorý sa spúšťa v pravidelne nastavených intervaloch (každú hodinu) službou Cron alebo jej alternatívou:

```
header("Expires: Mon, 26 Jul 1997 05:00:00 GMT");
```

```
session_start();
//end php initialize
$path = SubStr($_SERVER['SCRIPT_NAME'], 0, StrRPos($_SERVER['SCRIPT_NAME'], "/"));
$path = "*****/webapp/core/";

//define some variables
$local_file = $path."../download/datalog-".date('Y')."-".date('m')."-".date('d')."-".date('H')."-".date('i')."-".date('s').".txt";
$online_local_file = $path."../data/".date('Y')."/".date('m')."/datalog-".date('Y')."-".date('m')."-".date('d')."-".date('H')."-".date('i')."-".date('s').".txt";

$server_file = 'datalog.txt';
$ftp_server = "*****";
$ftp_user_name = "*****";
$ftp_user_pass = "*****";

//set up connection
$conn_id = ftp_connect($ftp_server);

//login with username and password
$login_result = ftp_login($conn_id, $ftp_user_name, $ftp_user_pass);

//try to download $server_file and save to $local_file
if (ftp_get($conn_id, $local_file, $server_file, FTP_BINARY))
{
    //echo "Successfully written to $local_file\n";
}
else
{
    //echo "There was a problem\n";
}

//try to download online $server_file and save to $local_file
if (ftp_get($conn_id, $online_local_file, $server_file, FTP_BINARY))
{
    //echo "Successfully written to $local_file\n";
}
else
{
    //echo "There was a problem\n";
}
```

```
}
```

```
// close the connection
```

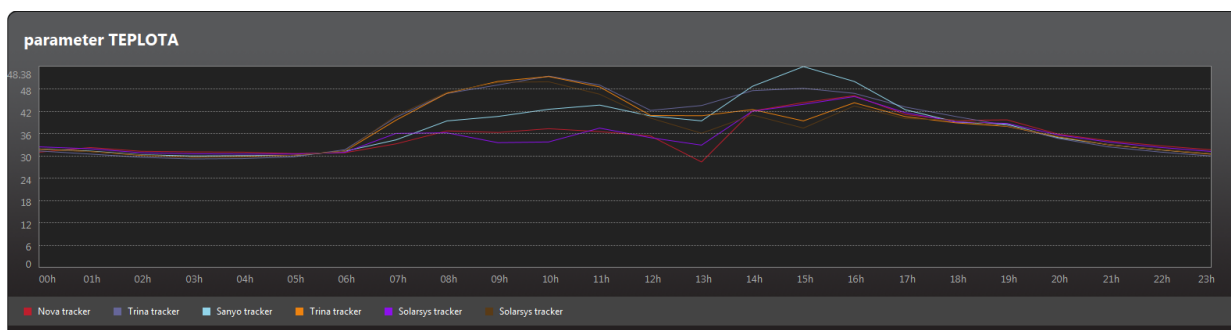
```
ftp_close($conn_id);
```

4.3 Porovnávacie merania parametrov fotovoltických panelov

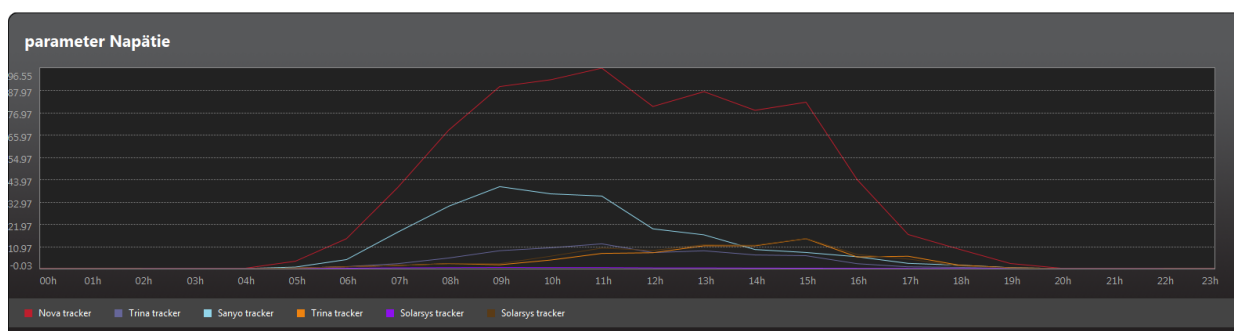
Na fotovoltických paneloch boli vykonané porovnávacie merania z pohľadu rôznych kritérií, ako napr. typ fotovoltických panelov (výrobca, výrobný typ, výrobná technológia), rôzna smerová orientácia panelov (tracker, juh, západ, východ, vodorovne), meteorologický priebeh meraného časového úseku (zamračený, slnečný deň), ako aj výber meraného intervalu z hľadiska ročného obdobia a rôznych meraných parametrov panelov.

4.3.1 Merania podľa typu panelov

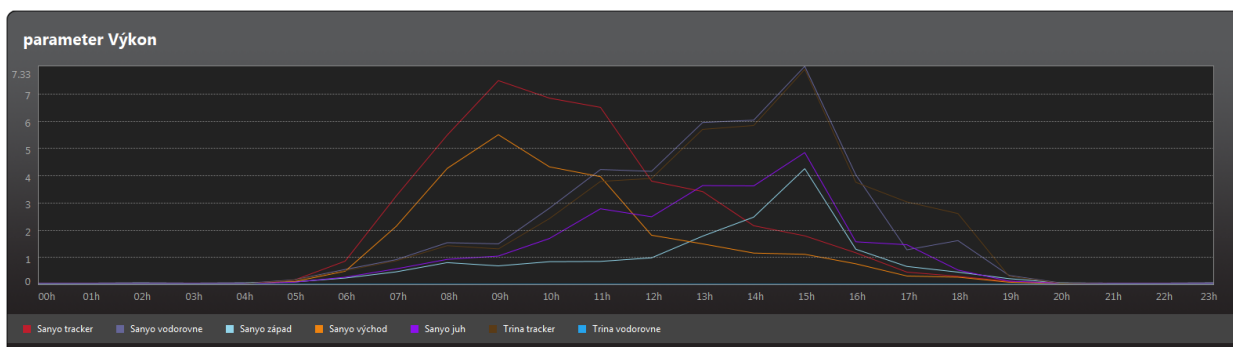
Meranie teploty podľa typu panelu (01.08.2014), priemerné hodnoty, tracker



Meranie napätia podľa typu panelu (01.08.2014), priemerné hodnoty, tracker



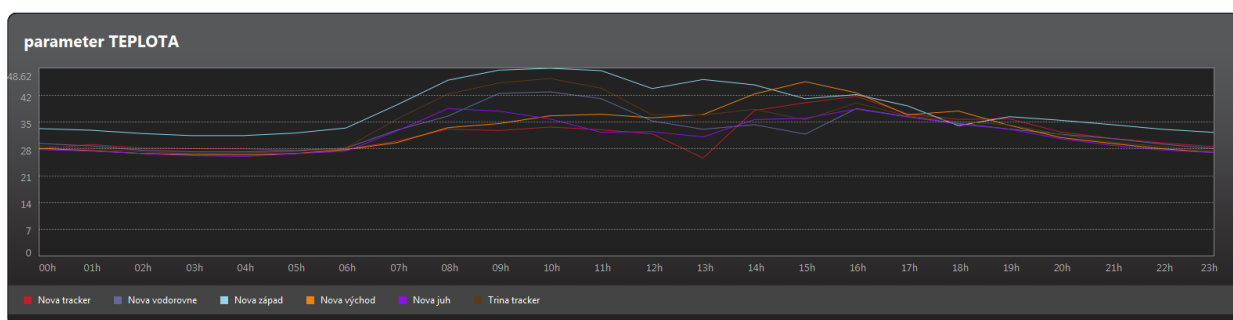
Meranie výkonu podľa typu panelu a orientácie panelu (01.08.2014), priemerné hodnoty



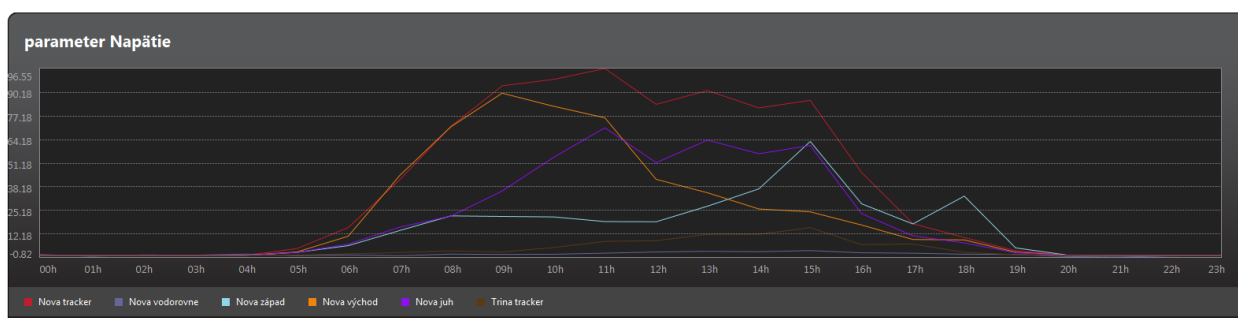
V tomto meraní boli porovnávané merané hodnoty vzhľadom na typ fotovoltického panelu. Z grafov je vidieť, že najvyššie hodnoty dosahovali panely Nova vyrobené amorfnou technológiou a Sanyo.

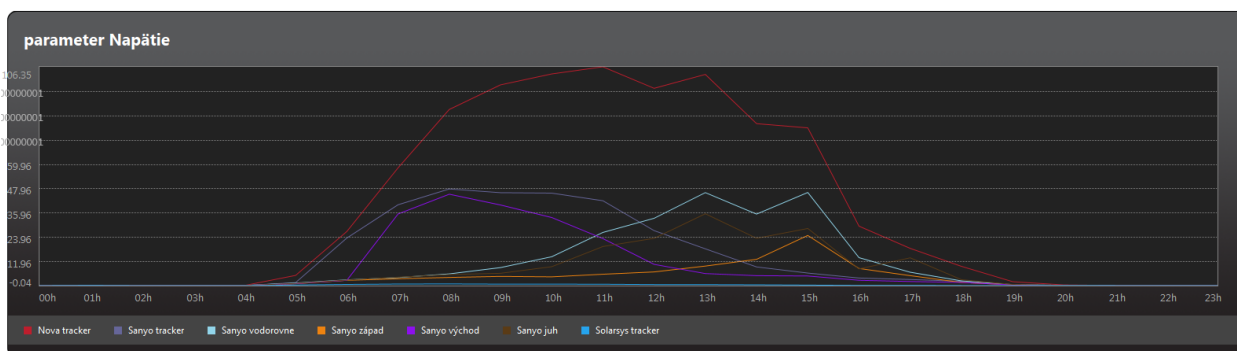
4.3.2 Merania podľa orientácie panelu

Meranie teploty podľa orientácie panelu (01.08.2014), priemerné hodnoty

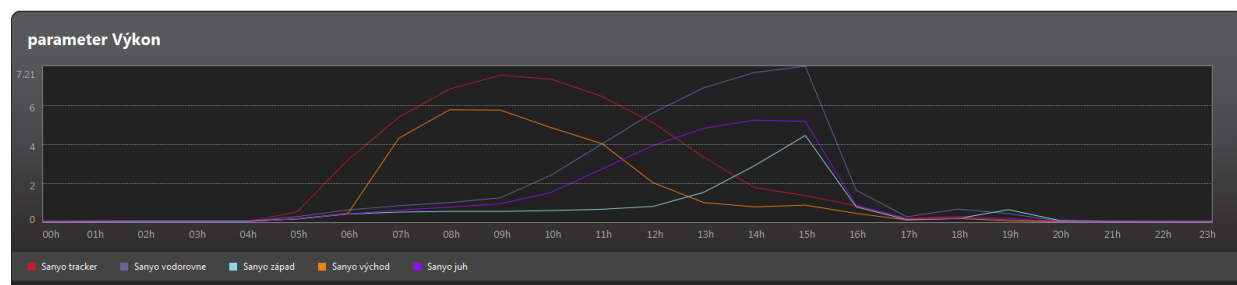
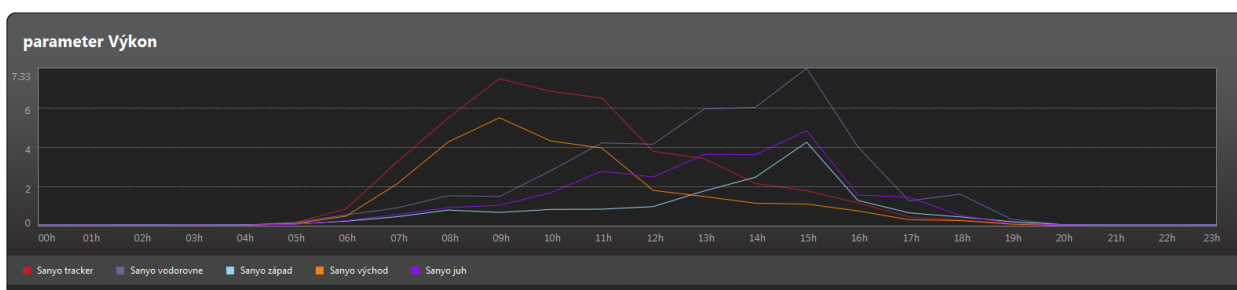


Meranie napätia podľa orientácie panelu (01.08.2014, 30.04.2014), priemerné hodnoty





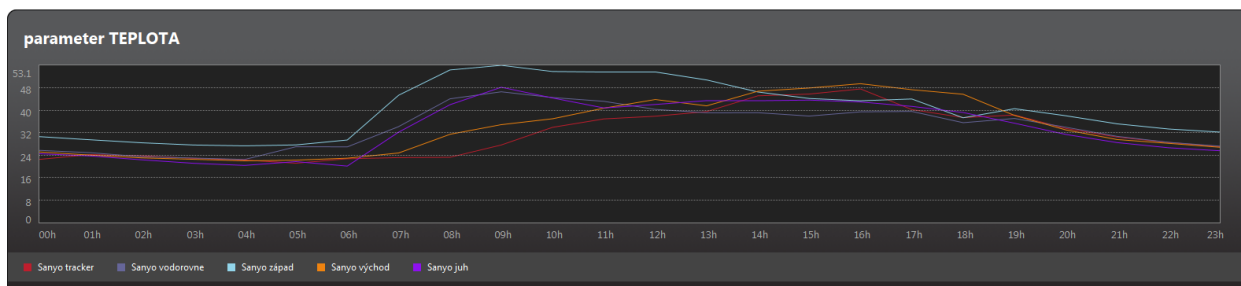
Meranie výkonu podľa orientácie panelu a orientácie panelu (01.08.2014, 02.08.2014), priemerné hodnoty



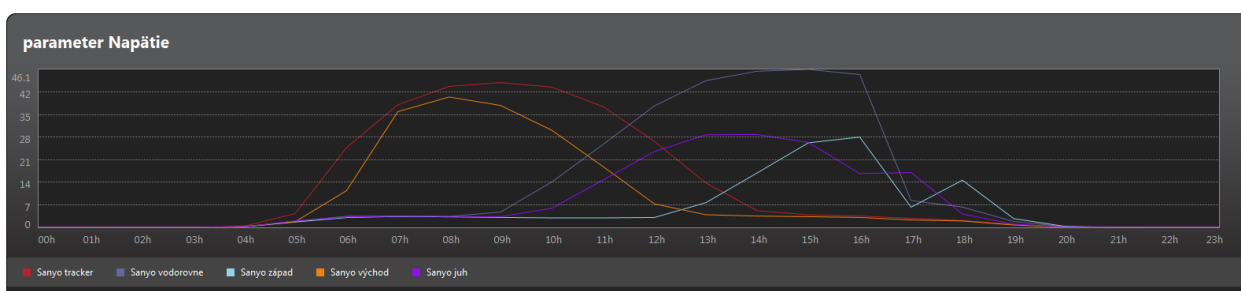
Pri tomto meraní boli sledované parametre účinnosti panelov v závislosti od smerovej orientácie. Výkon bol meraný pyranometrami na všetkých dostupných smerových orientáciách inštalovaných fotovoltaických panelov v laboratóriu. Najvyššie hodnoty dosahovali panely vybavené systémom tracker, ktorý umožňuje zmenu polohy a orientácie panelu v závislosti od polohy slnka a orientácia vodorovne a na východ.

4.3.3 Merania podľa počasia počas meraného intervalu

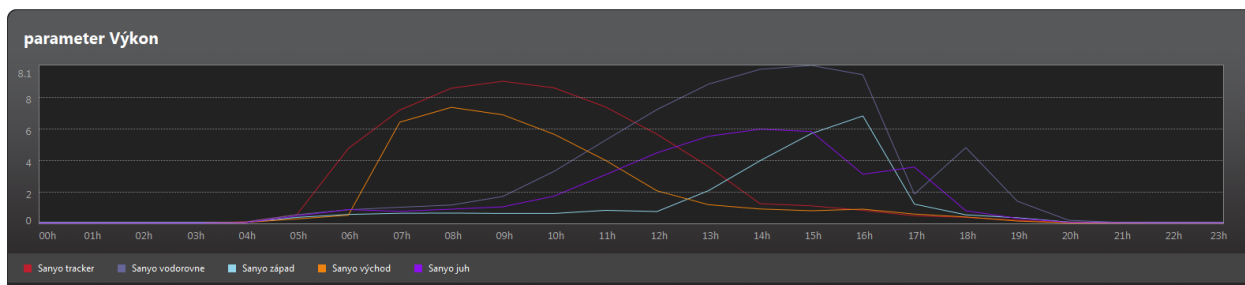
Meranie teploty podľa aktuálneho počasia v danom dni (23.05.2014 – slnečné počasie), priemerné hodnoty



Meranie teploty podľa aktuálneho počasia v danom dni (23.05.2014 – slnečné počasie), priemerné hodnoty



Meranie teploty podľa aktuálneho počasia v danom dni (23.05.2014 – slnečné počasie), priemerné hodnoty

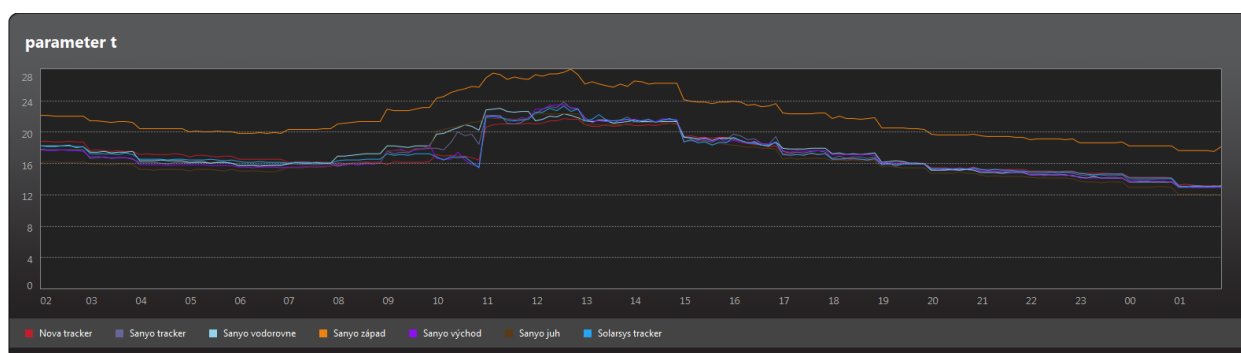


Pri tomto meraní boli sledované parametre účinnosti panelov v závislosti od aktuálneho počasia počas daného dňa v danej lokalite (Prešov). Výkon bol meraný

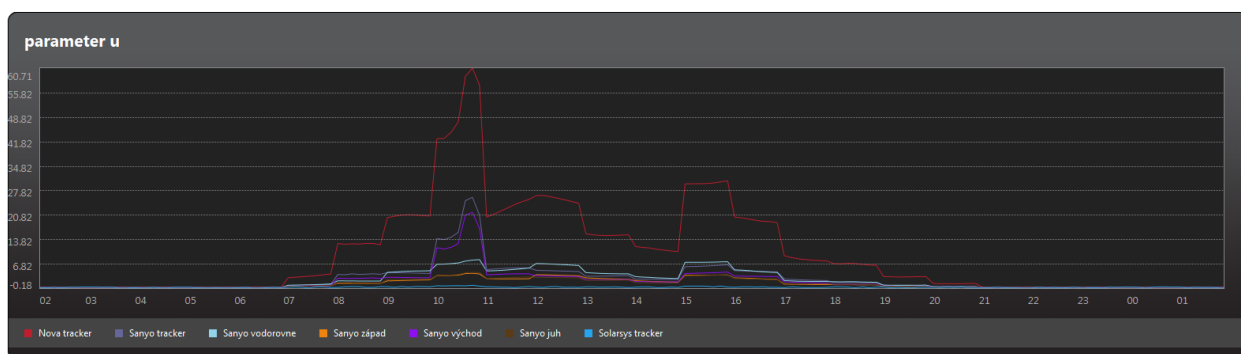
pyranometrami na všetkých dostupných smerových orientáciách inštalovaných fotovoltaických panelov v laboratóriu.

Najvyššie hodnoty dosahovali panely vybavený systémom tracker, ktorý umožňuje zmenu polohy a orientácie panelu v závislosti od polohy slnka a orientácia vodorovne a na východ.

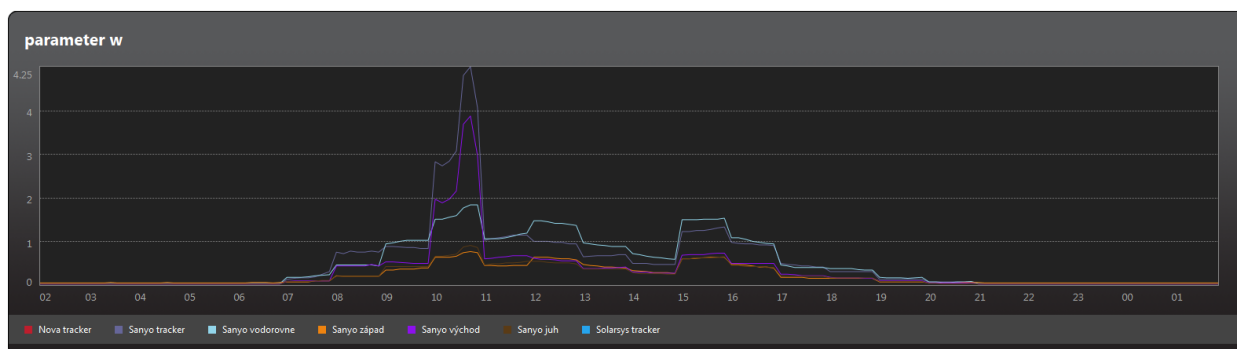
Meranie teploty podľa aktuálneho počasia v danom dni (03.05.2014 – zamračené počasia), presné hodnoty



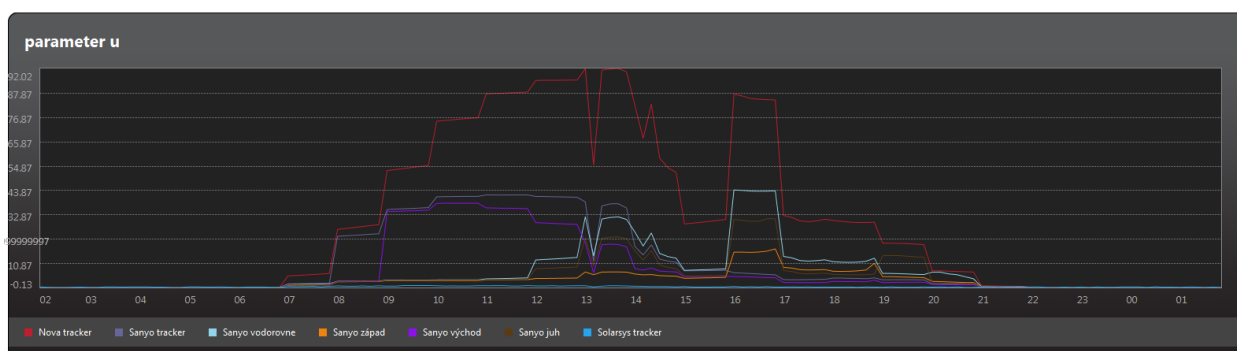
Meranie napätia podľa aktuálneho počasia v danom dni (03.05.2014 – zamračené počasia), presné hodnoty



Meranie výkonu podľa aktuálneho počasia v danom dni (03.05.2014 – zamračené počasia), presné hodnoty



Meranie výkonu podľa aktuálneho počasia v danom dni (02.05.2014 – polooblačné počasia, intenzita slnečného žiarenia bola premenlivá), presné hodnoty

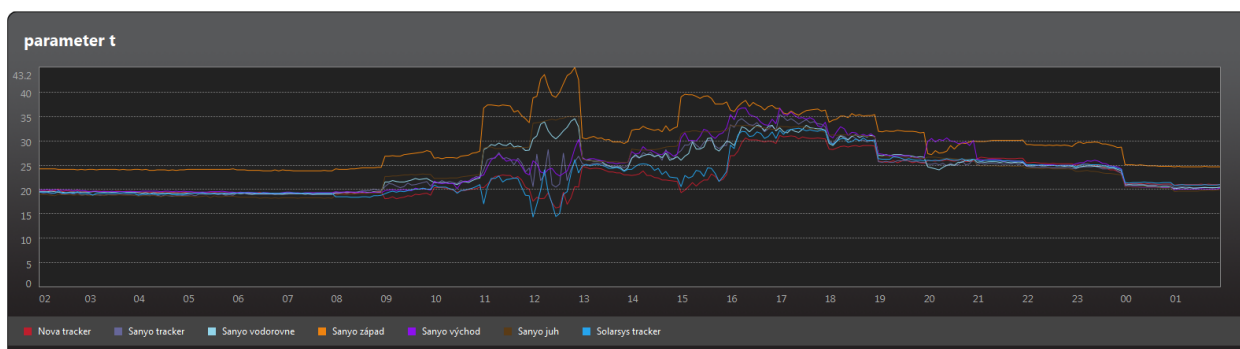


V rámci týchto meraní boli sledované parametre účinnosti panelov v závislosti od aktuálneho počasia počas daného dňa v danej lokalite (Prešov) – porovnanie slnečného počasia, zamračeného alebo polooblačného s premenlivou intenzitou dopadajúceho slnečného žiarenia. Výkon bol meraný pyranometrami na všetkých dostupných smerových orientáciách inštalovaných fotovoltaických panelov v laboratóriu.

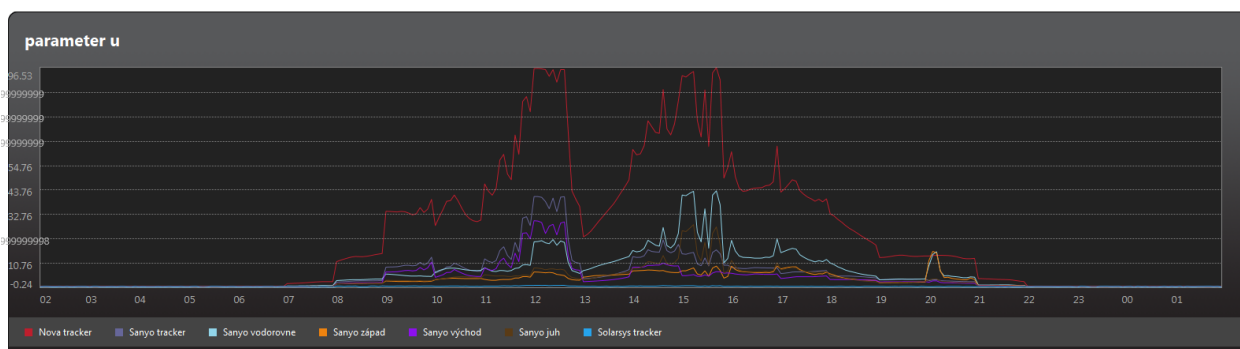
Najvyššie hodnoty dosahovali panely vybavený systémom tracker, ktorý umožňuje zmenu polohy a orientácie panelu v závislosti od polohy slnka a orientácia vodorovne a na východ, čo ale navyše ovplyvňuje intenzita dopadajúceho slnečného žiarenia a jej stochastický charakter vzhľadom na umiestnenie fotovoltaických panelov.

4.3.4 Merania podľa ročného obdobia vybraného meraného intervalu

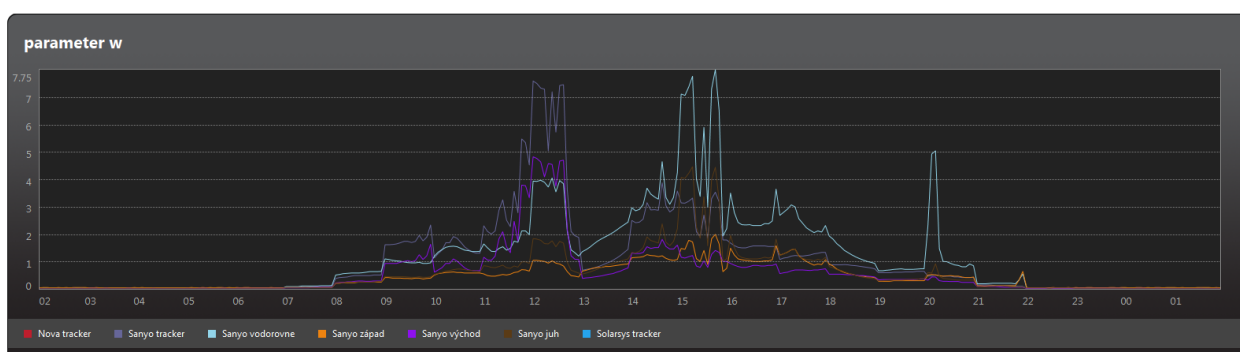
Meranie teploty podľa ročného obdobia vybraného meraného intervalu (01.07.2014), presné hodnoty



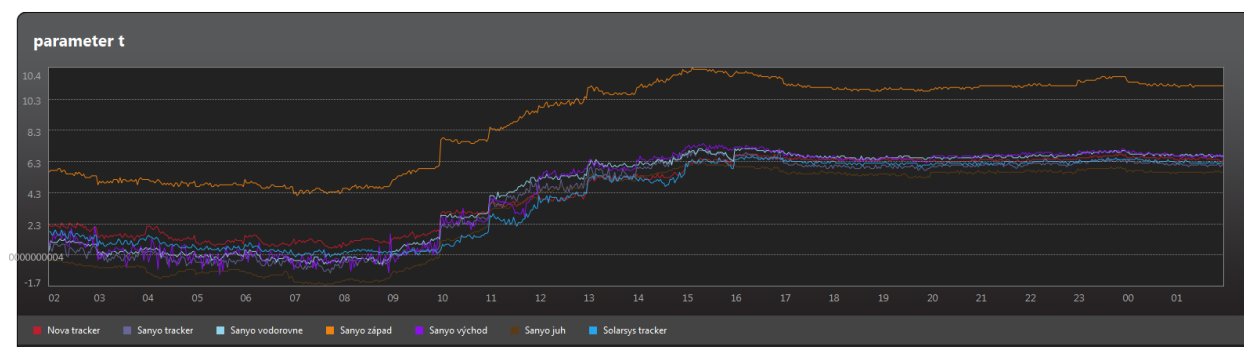
Meranie napätia podľa ročného obdobia vybraného meraného intervalu (01.07.2014), presné hodnoty



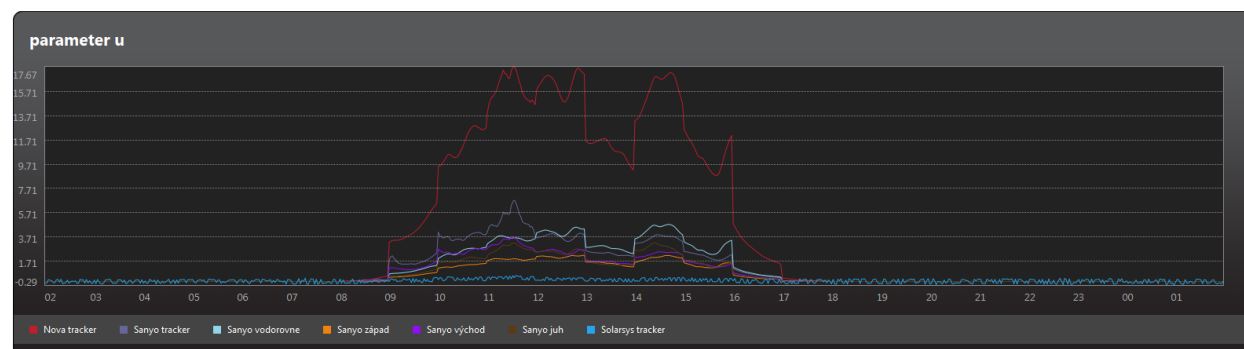
Meranie výkonu podľa ročného obdobia vybraného meraného intervalu (01.07.2014), presné hodnoty



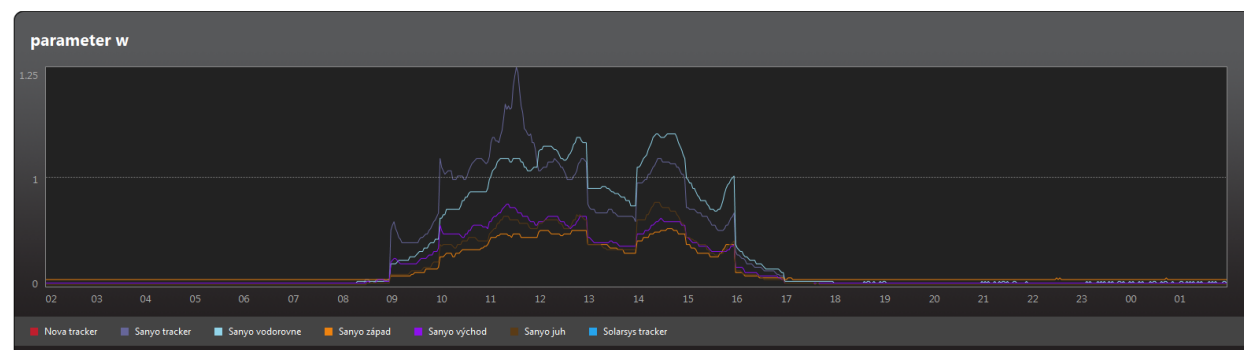
Meranie teploty podľa ročného obdobia vybraného meraného intervalu (01.12.2014), presné hodnoty



Meranie napätia podľa ročného obdobia vybraného meraného intervalu (01.12.2014), presné hodnoty



Meranie výkonu podľa ročného obdobia vybraného meraného intervalu (01.12.2014), presné hodnoty

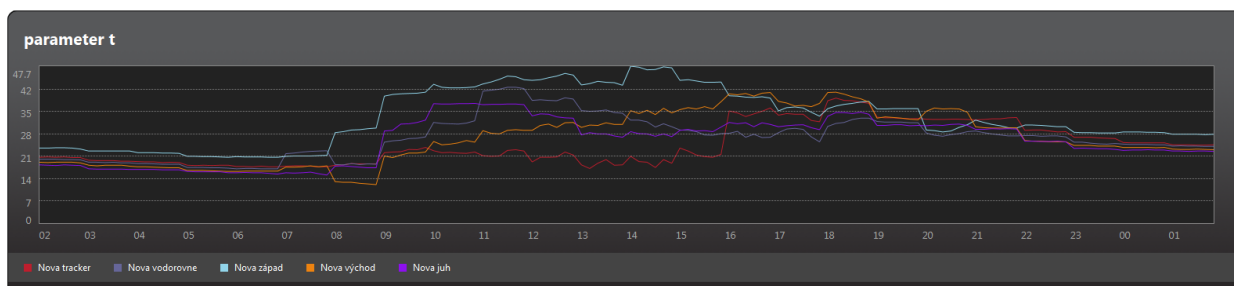


V rámci týchto meraní boli sledované parametre účinnosti panelov v závislosti od ročného obdobia vybraného meraného časového intervalu – porovnanie zimy a leta s premenlivou intenzitou dopadajúceho slnečného žiarenia.

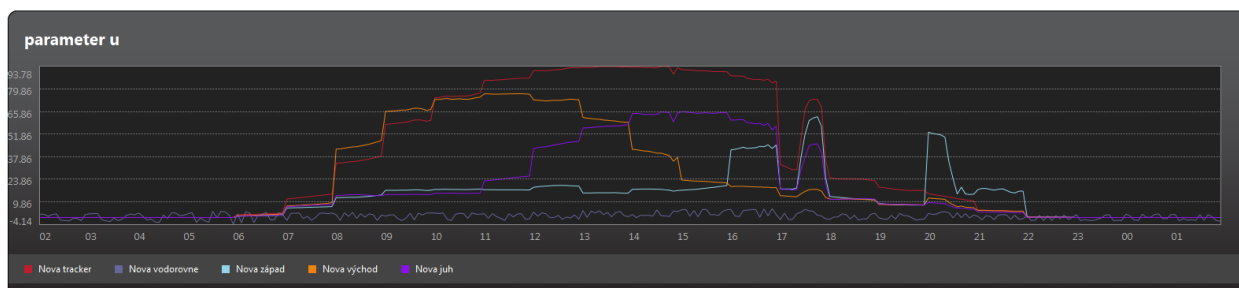
Z grafov je vidieť okrem vyšších nameraných teplôt, že ročné obdobie má vplyv na dĺžku časového intervalu, kedy je fotovoltaický panel účinný. V letných mesiacoch, napr. v júli, je to asi od 7. hodiny predpoludním do 20. až 21. hodiny popoludní. V zimných mesiacoch sa tento interval skrakuje – pre mesiac december napr. od 9. hodiny predpoludním do 16. až 17. hodiny popoludní. V týchto prípadoch je denný rozdiel 6 ÷ 7 hodín dopadajúceho slnečného žiarenia. Rovnako aj maximálne zaznamenané hodnoty napätí a výkonu sú v zimných mesiacoch nižšie ako v letných mesiacoch.

4.3.5 Merania parametrov jednotlivých typov fotovoltaických panelov

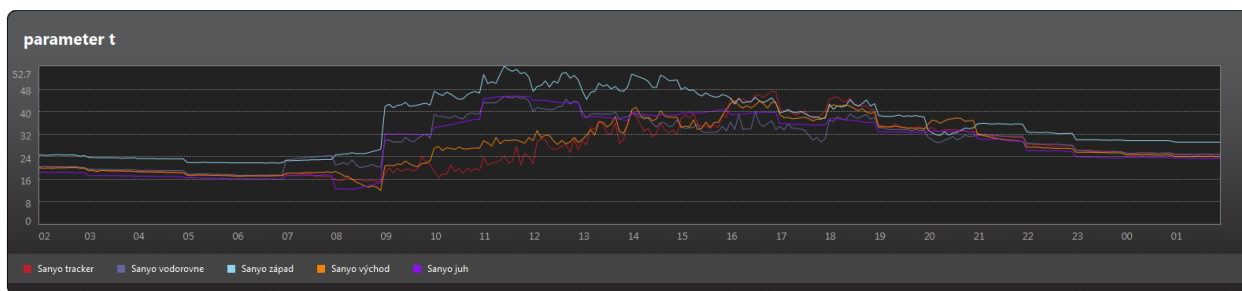
Meranie teploty, panely Nova (19.06.2014), presné hodnoty



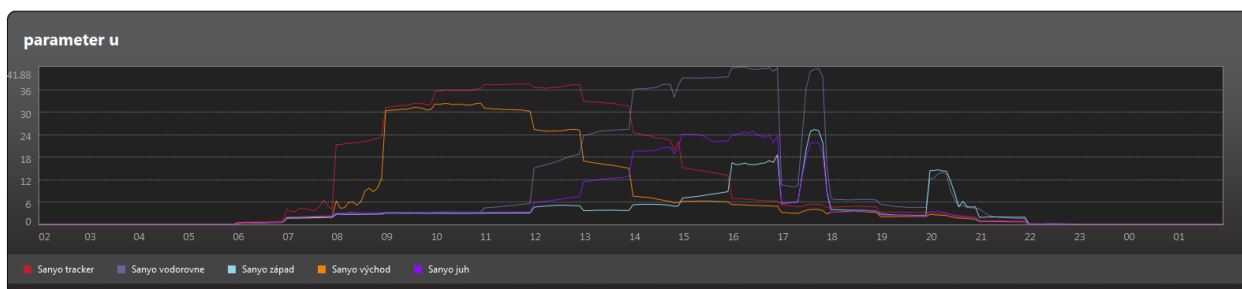
Meranie napätia, panely Nova (19.06.2014), presné hodnoty



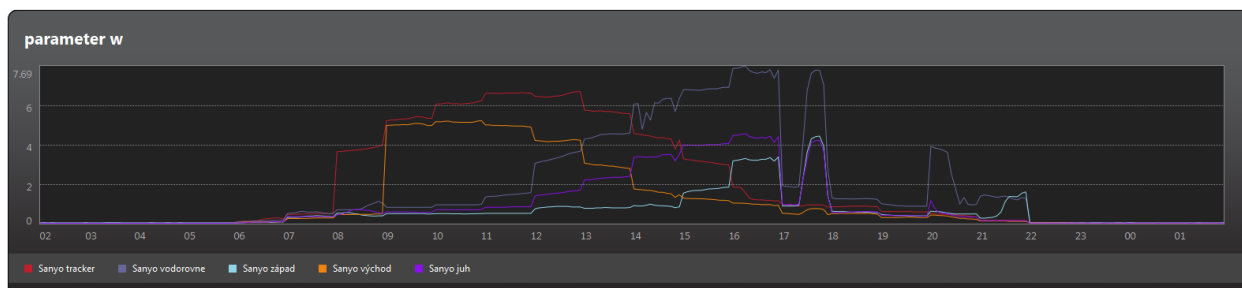
Meranie teploty, panely Sanyo (19.06.2014), presné hodnoty



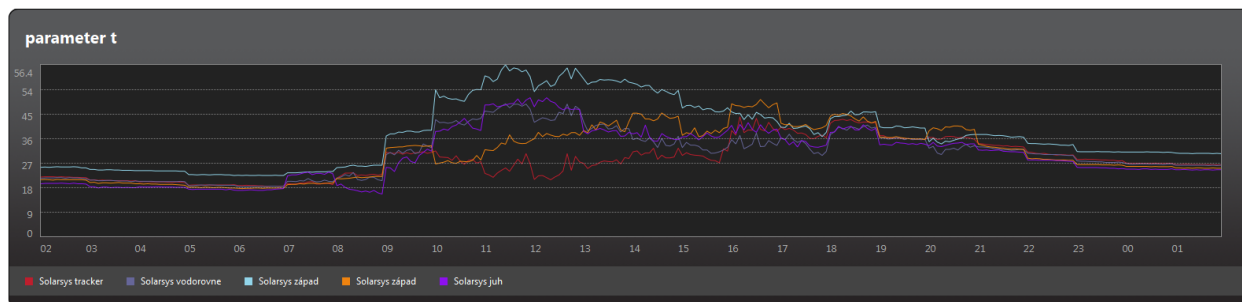
Meranie napätia, panely Sanyo (19.06.2014), presné hodnoty

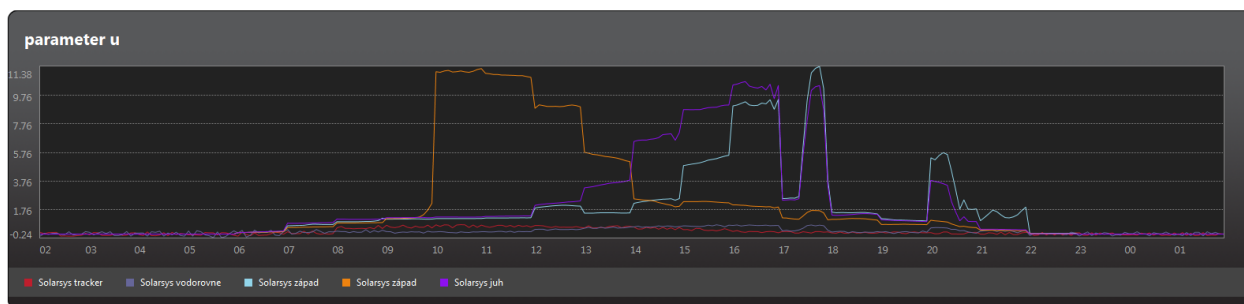
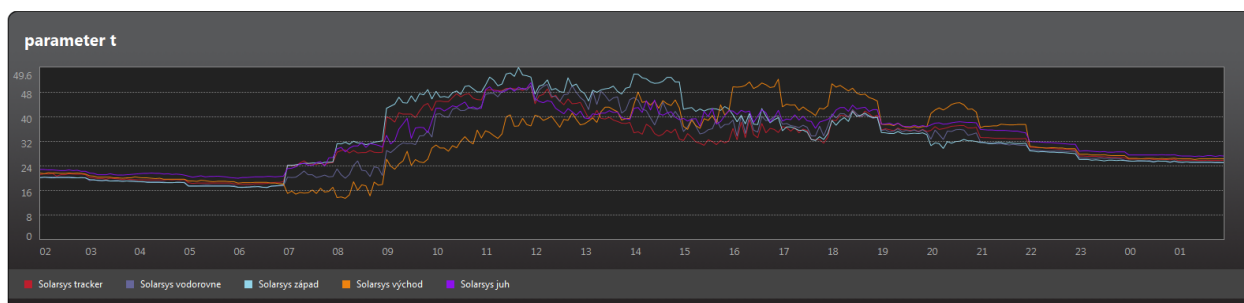
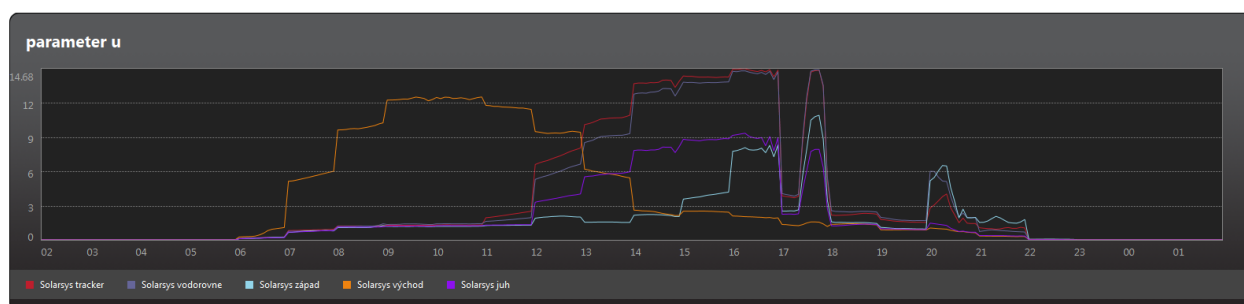
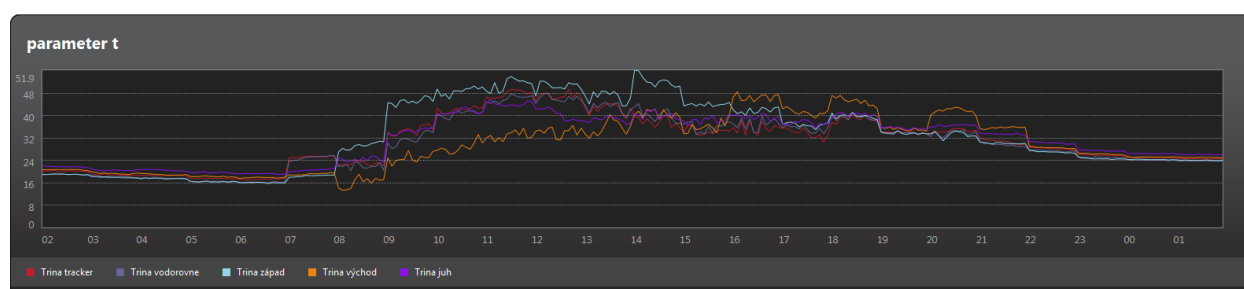


Meranie výkonu, panely Sanyo (19.06.2014), presné hodnoty

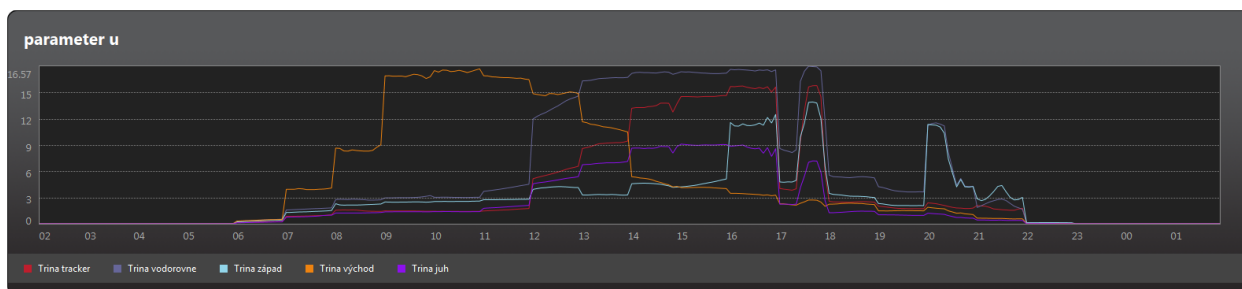


Meranie teploty, panely Solarsys (19.06.2014), presné hodnoty, 1. sada panelov

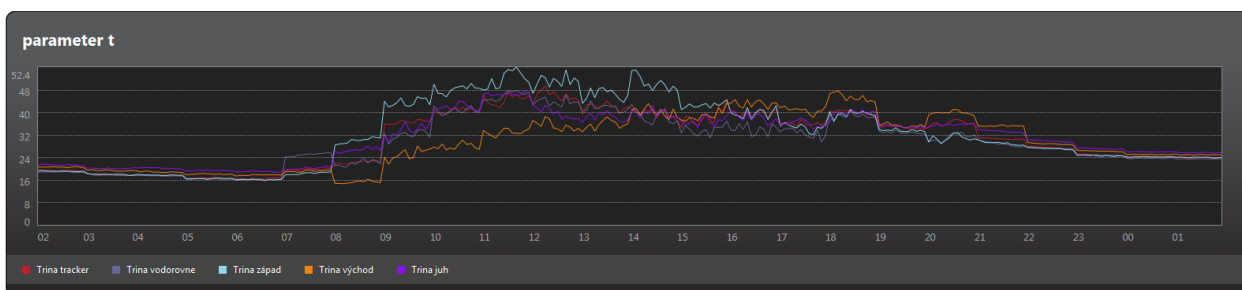


Meranie napätia, panely Solarsys (19.06.2014), presné hodnoty, 1. sada panelov**Meranie teploty, panely Solarsys (19.06.2014), presné hodnoty, 2. sada panelov****Meranie napätia, panely Solarsys (19.06.2014), presné hodnoty, 2. sada panelov****Meranie teploty, panely Trina (19.06.2014), presné hodnoty, 1. sada panelov**

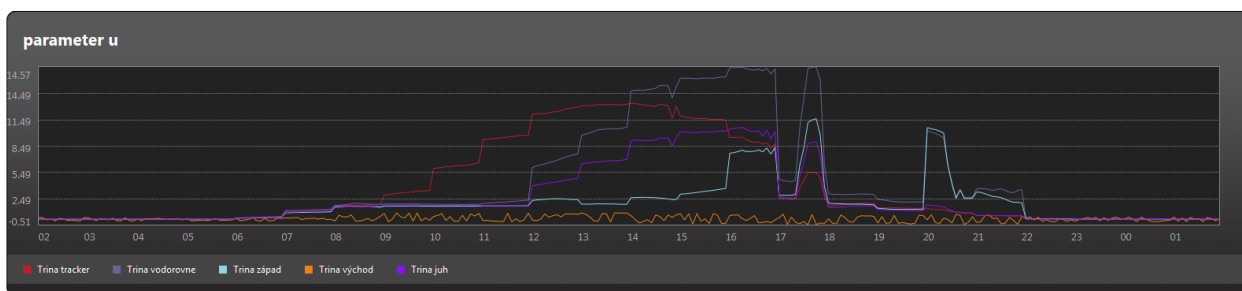
Meranie napätia, panely Solarsys (19.06.2014), presné hodnoty, 1. sada panelov



Meranie teploty, panely Trina (19.06.2014), presné hodnoty, 2. sada panelov



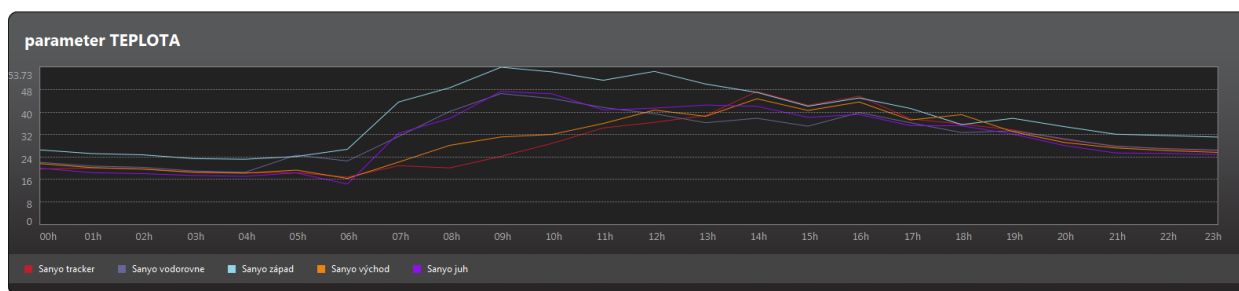
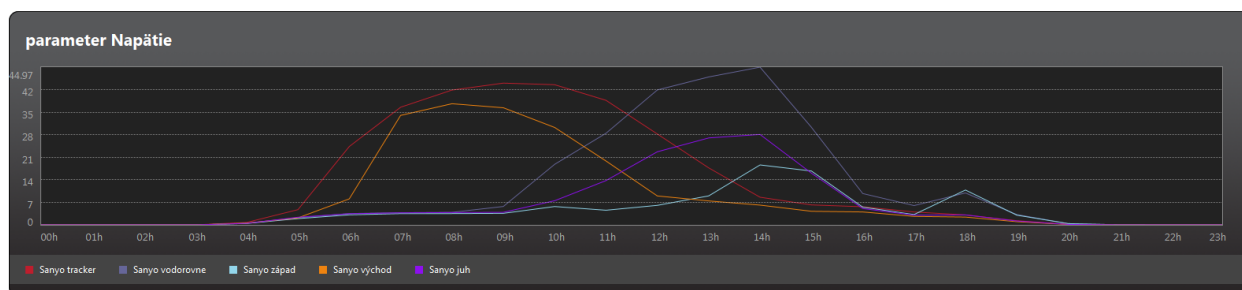
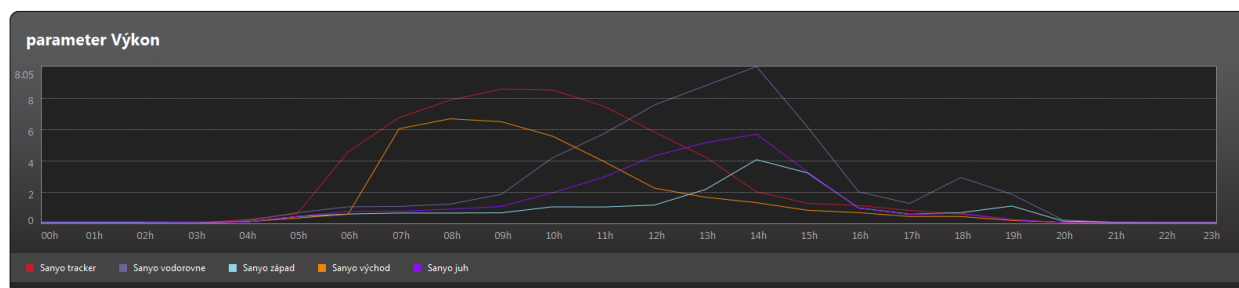
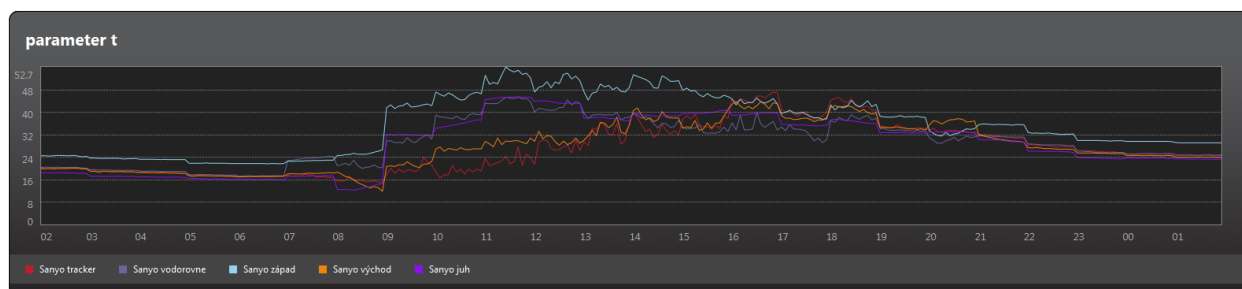
Meranie napätia, panely Solarsys (19.06.2014), presné hodnoty, 2. sada panelov



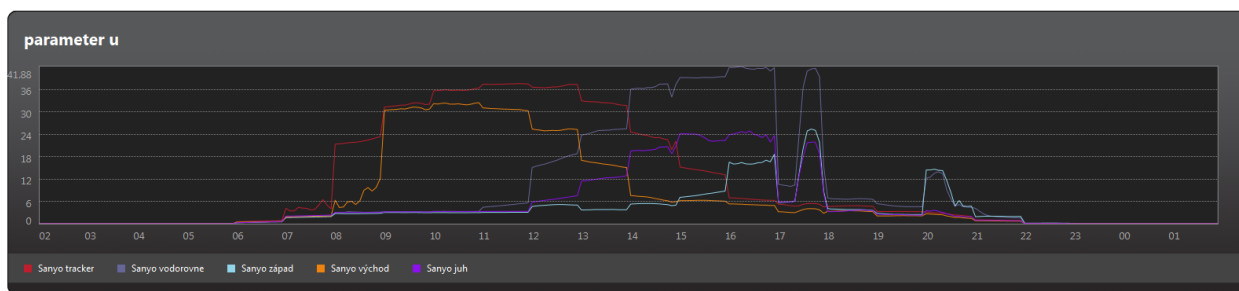
4.3.6 Porovnanie spôsobu spracovania dát

Merané údaje boli vzhľadom na ich malé časové rozlíšenie spracované tak, aby výpočty neboli náročné na dostupné výpočtové zdroje. Boli použité dva spôsoby spracovania: vytvorenie priemeru počas určitého časového úseku a časové podvzorkovanie.

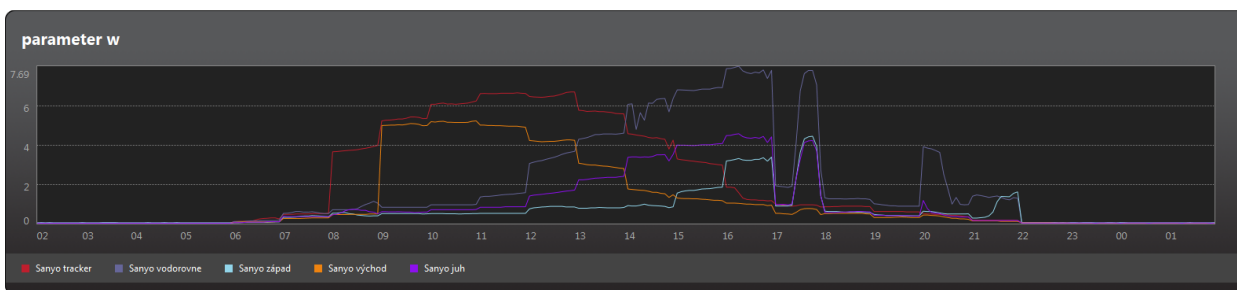
Časové podvzorkovanie je ponechanie iba každej n -tej vzorky z časového radu nameraných údajov, pričom n je celé číslo z intervalu 1 až 15.

Meranie teploty, panely Sanyo (19.06.2014), metóda priemeru***Meranie napätia, panely Sanyo (19.06.2014), metóda priemeru******Meranie výkonu, panely Sanyo (19.06.2014), metóda priemeru******Meranie teploty, panely Sanyo (19.06.2014), metóda podvzorkovania, n = 1***

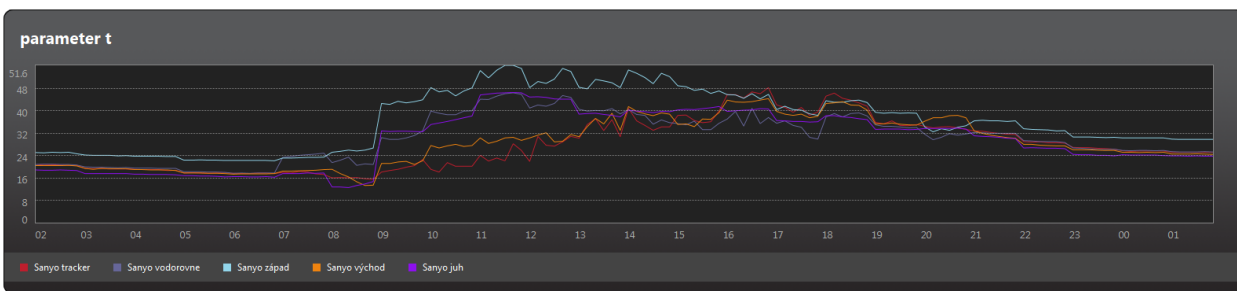
Meranie napätia, panely Sanyo (19.06.2014), metóda podvzorkovania, $n = 1$



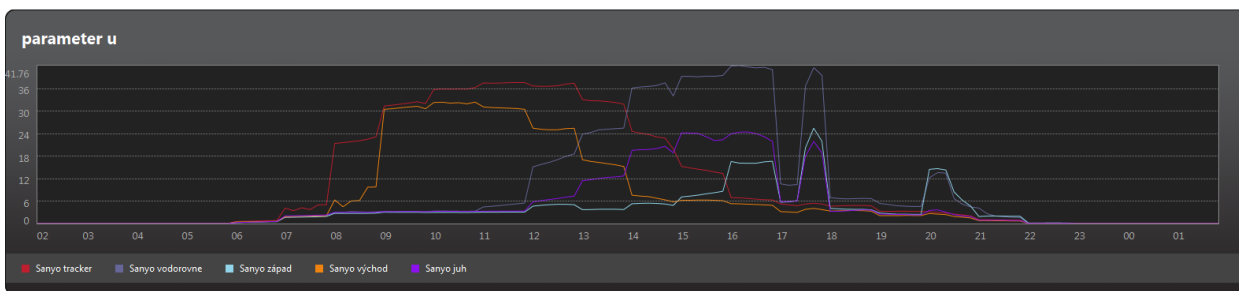
Meranie výkonu, panely Sanyo (19.06.2014), metóda podvzorkovania, $n = 1$

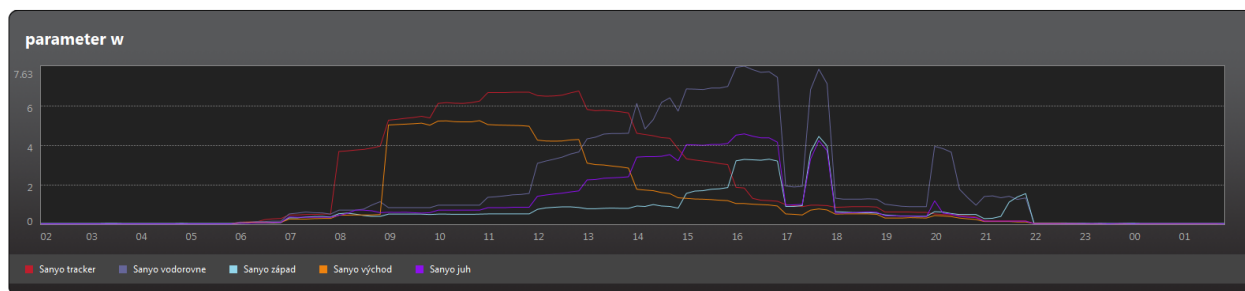


Meranie teploty, panely Sanyo (19.06.2014), metóda podvzorkovania, $n = 2$



Meranie napätia, panely Sanyo (19.06.2014), metóda podvzorkovania, $n = 2$



Meranie výkonu, panely Sanyo (19.06.2014), metóda podvzorkovania, $n = 2$ 

5 ZÁVER

V rámci projektu „Výskum charakteristík fotovoltických komponentov pre efektívne projektovanie solárnych systémov“ bolo vybudované a vybavené laboratórium, kde sú k dispozícii vzorky fotovoltických panelov od rôznych výrobcov a tieto sú umiestnené a orientované v rôznych smeroch.

Jedna časť spoločného laboratória sa nachádza v Prešove a je vybavená 30 fotovoltickými panelmi rôznej konštrukcie, vyhotovenia a orientácie rôznym smerom. Pre jednotlivé panely sú kontinuálne merané parametre ako sú teplota, elektrické napätie a výkon. Tieto parametre sú koncentrátorom sústreďované do jedného súboru uloženého na serveri umiestnenom v tejto časti laboratória.

V druhej časti laboratória, lokalizovanej v Košiciach na Katedre elektroenergetiky FEI Technickej univerzity v Košiciach, je umiestnený databázový a web server, ktorý v pravidelných intervaloch 60 minút pristupuje cez FTP protokol na server umiestnený pri fotovoltických paneloch, nahráva súbor s dátami nameranými za poslednú hodinu zo všetkých snímačov na jednotlivých fotovoltických paneloch a ukladá ich pre ďalšiu analýzu, zobrazenie a archiváciu.

V súčasnosti najviac používané technológie výroby fotovoltických panelov sú monokryštalická, polykryštalická, thinfilm alebo amorfná technológia a hybridná technológia výroby. Jednotlivé modely fotovoltických komponentov v našom laboratóriu zahŕňujú panel **PV Solarsys PM245-BB** s monokryštalickou technológiou, **Thinfilm Nova T-series 80W** s technológiou výroby fotovoltických buniek thinfilm, **Sanyo HIT214** s hybridnou technológiou výroby a **Trina TSM-PC05 235W** s polykryštalickou technológiou výroby.

Panely boli osadené tak, aby aspoň jeden modul bol orientovaný v danom smere na juh, západ, východ, vodorovná orientácia a osadenie s polohovacím zariadením – trackerom.

Zobrazovacie rozhranie systému pre analýzu nameraných dát poskytuje grafické rozhranie systému, v ktorom sa nachádzajú voľby pre zobrazenie, vybrané údaje fotovoltických parametrov v tabuľkovej forme a graf časového priebehu vybraných parametrov. Je možné zvoliť deň, pre ktorý sa majú vybrané údaje zobraziť, parameter, ktorý sa má zobraziť (teplota t , napätie u alebo výkon w), spôsob zobrazenia grafu časového priebehu – priemerné hodnoty alebo hodnoty získané metódou podvzorkovania. Rovnako systém poskytuje možnosť voľby konkrétneho panelu, ktorého údaje sa majú zobraziť. Samotná aplikácia pre vyhodnocovanie údajov je vytvorená ako web aplikácia. Je napísaná

v serverovom skriptovacom jazyku PHP v kombinácii s klientským skriptovacím jazykom Javascript a využitím technológií AJAX, JQuery, CSS a HTML.

Na fotovoltaických paneloch boli vykonané porovnávacie merania z pohľadu rôznych kritérií ako napr. typ fotovoltaických panelov (výrobca, výrobný typ, výrobná technológia), rôzna smerová orientácia panelov (tracker, juh, západ, východ, vodorovne), meteorologický priebeh meraného časového úseku (zamračený, slnečný deň), ako aj výber meraného intervalu z hľadiska ročného obdobia a rôznych meraných parametrov panelov.

Pri meraní podľa typu fotovoltaického panelu najvyššie hodnoty dosahovali panely Nova vyrobené amorfnou technológiou a Sanyo. Pri meraní v závislosti od aktuálneho počasia počas daného dňa v danej lokalite (Prešov) najvyššie hodnoty dosahovali panely vybavené systémom tracker, ktorý umožňuje zmenu polohy a orientácie panelu v závislosti od polohy slnka a orientácia vodorovne a na východ. V rámci meraní sledovania podľa ročného obdobia vybraného meraného časového intervalu – porovnanie zima a leto s premenlivou intenzitou dopadajúceho slnečného žiarenia vyplynulo, že okrem vyšších nameraných teplôt má ročné obdobie vplyv na dĺžku časového intervalu, kedy je fotovoltaický panel účinný. Pri porovnaní extrémnych hodnôt je denný rozdiel až 6 ÷ 7 hodín dopadajúceho slnečného žiarenia. Rovnako aj maximálne zaznamenané hodnoty napätí a výkonu sú v zimných mesiacoch nižšie ako v letných mesiacoch.

POUŽITÁ A ODPORÚČANÁ LITERATÚRA

- [1] *Fotovoltaika pro každého*. Czech RE Agency. [online]. 2003 – 2009 [cit. 2014-10-10]. Dostupné na internete: < <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika> >.
- [2] *Fotovoltaičné články – historie a současné trendy vývoje*. ASB. [online]. [cit. 2014-10-10]. Dostupné na internete: < <http://www.asb-portal.cz/tzb/fotovoltaika/fotovoltaicke-clanky-historie-a-soucasne-trendy-vyvoje-2262.html> >.
- [3] *Characterization of Photovoltaic Devices by Spectroscopic Ellipsometry Using Equipment From Horiba Scientific*. AZoM. [online]. [cit. 2014-10-10]. Dostupné na internete: < <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=3744> >.
- [4] *Pružné fotovoltaičné moduly ano či ne?*. TZB-info. [online]. [cit. 2014-10-10]. Dostupné na internete: < <http://www.tzb-info.cz/4251-pruzne-fotovoltaicke-moduly-ano-ci-ne> >.
- [5] *Přeměna sluneční energie v energii elektrickou*. Fyzikální ústav Akademie věd ČR. [online]. [cit. 2014-10-10]. Dostupné na internete: < <https://www.fzu.cz/popularizace/premena-slunecni-energie-v-energii-elektrickou> >.
- [6] *Mikromorph Technologie*. VOTUM s.r.o.. [online]. [cit. 2014-10-10]. Dostupné na internete: < <http://www.votum.cz/technologie-mikro/> >.
- [7] *Polycrystalline Thin-Film Materials and Devices R&D*. NREL: Photovoltaics Research. [online]. [cit. 2014-10-10]. Dostupné na internete: < <http://www.nrel.gov/pv/thinfilm.html> >.
- [8] *Technický popis panelů – Fotovoltaičné panely SOLYNDRA – elektrotechnika, průmyslová železniční doprava*. SYSTEMIS czech, s.r.o. [online]. [cit. 2014-10-10]. Dostupné na internete: < <http://www.systemis.cz/www/cz/fotovoltaicke-panely-solyndra/technicky-popis-panelu/> >.
- [9] *Tenkovrstvé FV technologie*. VOTUM s.r.o.. [online]. [cit. 2014-10-10]. Dostupné na internete: < <http://www.votum.cz/Thin-film/> >.
- [10] *Intersolar 2011: Nové technologie ve fotovoltaičce*. xBizon, s. r. o.. [online]. [cit. 2014-10-10]. Dostupné na internete: < <http://www.nazeleno.cz/energie/fotovoltaika/intersolar-2011-nove-technologie-ve-fotovoltaice.aspx> >.

- [11] *Silicon*. Encyclopedia of Alternative Energy and Sustainable Living. [online]. [cit. 2014-10-10]. Dostupné na internete: < http://www.daviddarling.info/encyclopedia/S/AE_silicon.html >.
- [12] Benda V., Staněk K., Wolf P.: *Fotovoltaické systémy*. Brno: 15.4.2011. 60 s. Učební texty k semináři. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky.
- [13] *Pružné fotovoltaické moduly ano či ne?*. TZB-info. [online]. [cit. 2014-10-10]. Dostupné na internete: < <http://www.tzb-info.cz/4251-pruzne-fotovoltaicke-moduly-ano-ci-ne> >.
- [14] STN EN 60904-9. *Fotovoltické súčiastky. Časť 9: Požiadavky na funkčné vlastnosti slnečných simulátorov*. Máj 2008.
- [15] Gostein M., Dunn L.: *Light Soaking Effects on PV Modules: Overview and Literature Review*. [online], [cit. 2014-10-10]. Dostupné na internete: < http://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/pvmrw2011_p25_tf_dunn.pdf >.
- [16] Válek, Jan: *Studium degradace tenkých vrstev*: diplomová práce. Brno : Masarykova univerzita, Fakulta pedagogická, Katedra fyziky, 2009. 84 s., Vedoucí diplomové práce doc. RNDr. Petr Sládek, CSc.
- [17] STN EN 61646. *Tenkovrstvové fotovoltické (PV) moduly na pozemské použitie*. Posúdenie návrhu a typové schválenie. Február 2009.
- [18] *Physical Characterization*. Kamatlab.com. [online]. [cit. 2014-10-10]. Dostupné na internete: < http://www3.nd.edu/~kamatlab/facilities_physchar.html >.
- [19] G24 Power Limited: *Dye Sensitized Solar Cells*. [online] [cit. 2014-10-10] Dostupné na internete: < <http://gcell.com/dye-sensitized-solar-cells> >
- [20] Czech RE Agency: *Fotovoltaika pro každého*. [online]. [cit. 2014-10-10]. Dostupné na internete: < <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika> >
- [21] Isolar: *Stručný generačný vývoj*. [online]. [cit. 2014-10-10]. Dostupný na internete: < http://www.isolar.cz/?p=p_3&sName=technologie >
- [22] *Fullerene*. [online]. [cit. 2014-10-10]. Dostupný na internete: < <http://en.wikipedia.org/wiki/Fullerene> >

Michal Kolcun, Dušan Medveď, Jaroslav Petráš, Rastislav Stolárik, Štefan Vaško

**VÝSKUM CHARAKTERISTÍK FOTOVOLTAICKÝCH KOMPONENTOV PRE
EFEKTÍVNE PROJEKTOVANIE SOLÁRNYCH SYSTÉMOV**

Spoločná odborná publikácia

Vydal: Technická univerzita v Košiciach v r. 2014

Náklad: 200 ks

ISBN 978-80-553-1961-2