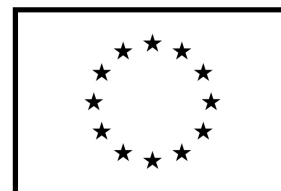




mpc
METODICKO-PEDAGOGICKÉ CENTRUM

PROFESIJNÝ A KARIÉROVÝ RAST
pkrmpc
METODICKO-PEDAGOGICKÉ CENTRUM



Európska únia
Európsky sociálny fond

Moderné vzdelávanie pre vedomostnú spoločnosť / Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ

Ing. Zuzana Tkáčová

Objavovanie tajomstiev solárnych článkov

Osvedčená pedagogická skúsenosť edukačnej praxe

Košice

2012

Vydavateľ: Metodicko-pedagogické centrum, Ševčenkova 11,
850 01 Bratislava

Autor OPS/OSO: Ing. Zuzana Tkáčová

Kontakt na autora: Súkromné gymnázium, Starozagorská 8, Košice
tkacovaz@gmail.com

Názov OPS/OSO: Objavovanie tajomstiev solárnych článkov

Rok vytvorenia OPS/OSO: 2012

Odborné stanovisko vypracoval: Ing. Ján Kontuľ

Za obsah a pôvodnosť rukopisu zodpovedá autor. Text neprešiel jazykovou úpravou.

Táto osvedčená pedagogická skúsenosť edukačnej praxe bola vytvorená z prostriedkov projektu Profesionálny a kariérový rast pedagogických zamestnancov. Projekt je financovaný zo zdrojov Európskej únie.

Kľúčové slová

solárna energia, solárne články

Anotácia

OPS vychádza z pedagogickej praxe zameranej na výučbu fyziky, elektrotechniky a technicky zameraných predmetov na stredných, ale aj základných školách (ISCED 2, ISCED 3). Predstavuje ucelený učebný blok venovaný problematike solárnych článkov. Obsahuje dostupné video, prezentácie, pracovné listy pre experimenty so solárnymi článkami, testy na overenie miery osvojenia učiva, ako aj návod na konštrukciu najnovších druhov solárnych článkov na princípe tzv. umelej fotosyntézy, ktoré je možné pripraviť v podmienkach bežných školských laboratórií.

OBSAH

Úvod	4
1 TEORETICKÉ ZÁKLADY	5
1.1 Solárna energia a jej premena na elektrickú energiu	5
1.2 Solárne články	6
2 PREDSTAVENIE UČEBNÉHO MODULU	9
2.1 Špecifikácia cieľovej skupiny	9
2.2 Prehľad cieľov	9
2.3 Štruktúra učebného modulu	9
3 OBJAVOVANIE TAJOMSTIEV SOLÁRNYCH ČLÁNKOV.....	11
3.1 Multimediálna prezentácia – CD Encyklopédia energie.....	11
3.2 Výučbová prezentácia	12
3.3 Priebežný test	14
3.4 Výroba Grätzelových článkov	14
3.5 Meranie výkonnosti solárnych článkov	15
3.6 Záverečné zhodnotenie.....	17
Záver	18
Zoznam bibliografických zdrojov	19
Zoznam príloh	20

ÚVOD

Osvedčená pedagogická skúsenosť vychádza z pedagogickej praxe zameranej na výučbu fyziky, elektrotechniky a technicky zameraných predmetov na stredných, ale aj základných školách (ISCED 2, ISCED 3). Predstavuje ucelený učebný blok venovaný problematike solárnych článkov ako zaujímavej a v laboratórnych podmienkach škôl ľahko využiteľnej ukážke obnoviteľných zdrojov energie. Učebný blok obsahuje dostupné video, prezentácie, pracovné listy pre experimenty so solárnymi článkami, testy na overenie miery osvojenia učiva. Súčasťou učebného bloku je taktiež návod na konštrukciu najnovších druhov solárnych článkov na princípe tzv. umelej fotosyntézy, ktoré je možné pripraviť v podmienkach bežných školských laboratórií.

Hlavnou motiváciou pre vznik prezentovanej OPS bol nedostatok prakticky a bádateľsky zameraných učebných materiálov pre podporu vlastnej aktívnej práce žiakov na hodinách, ktoré by boli zároveň aktuálne s ohľadom na moderné technológie a trendy. Materiály boli pôvodne vytvorené a niekoľko rokov využívané pri výučbe v podmienkach Strednej priemyselnej školy dopravnej na Hlavnej 113 v Košiciach, ako aj pri žiackych bádateľských projektoch v rámci mimoškolských aktivít.

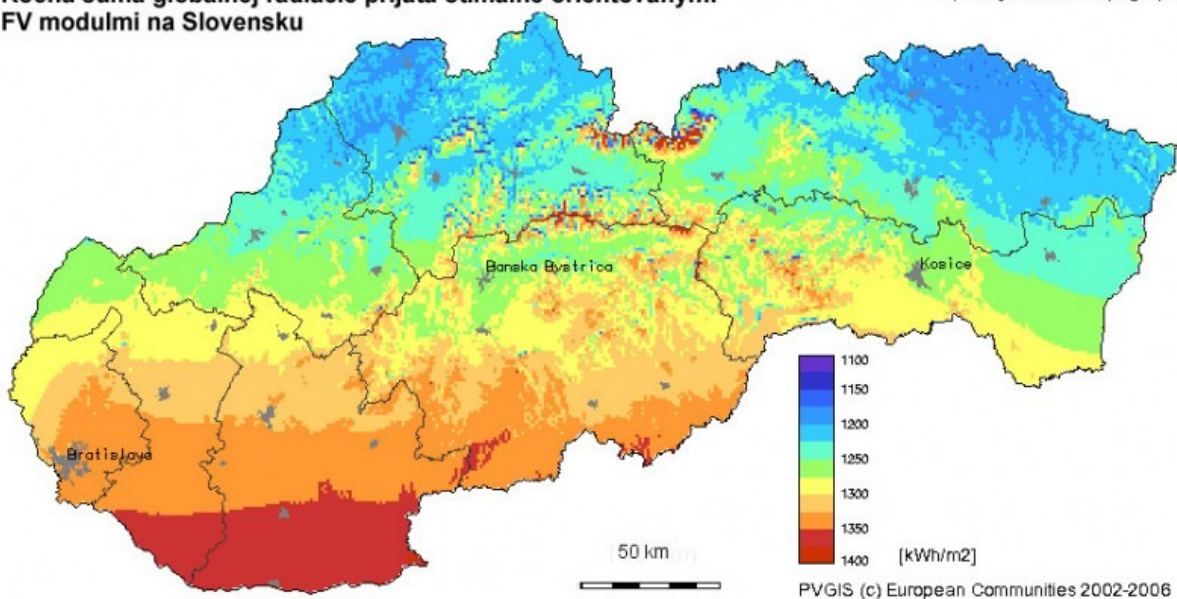
Dôležitým znakom OPS je orientácia na rôzne aktivizujúce techniky pri výučbe (konštrukčné úlohy a experimenty) a využitie moderných IKT technológií pre zlepšenie názornosti problematiky (prezentácia, video, simulácie). OPS je využiteľná jednak ako celok alebo podľa uváženia učiteľa je možné použiť len niektoré z jej častí v rámci iných hodín. V neposlednom rade je potrebné spomenúť, že ponúkaná OPS predstavuje okrem tradičných kremíkových článkov aj najnovšie typy solárnych článkov, ktoré sa v súčasnosti ešte len dostávajú na trh.

1 TEORETICKÉ ZÁKLADY

Počas dňa za bezoblačného počasia dopadne zo Slnka na zemský povrch v priemere 1000W/m^2 , čo na území Slovenska predstavuje ročne energiu 950 až 1200 kWh/m^2 (obr. 1). Množstvo dopadajúcej solárnej energie je približne 200-krát väčšie ako súčasná spotreba všetkých primárnych zdrojov obyvateľstvom krajiny. Solárna energia tak predstavuje najdostupnejšiu a najčistejšiu formu obnoviteľnej energie. Solárna energia má bohaté možnosti využitia - na výrobu tepla a teplej vody, na výrobu elektrickej energie, na chladenie, pre uplatnenie solárnej architektúry alebo v skleníkoch.

Ročná suma globálnej radiácie prijatá optimálne orientovanými FV modulmi na Slovensku

<http://re.jrc.cec.eu.int/pvgis/pv/>



Obrázok 1 Ročná suma globálnej iradiácie prijatá optimálne orientovanými fotovoltaickými modulmi na Slovensku

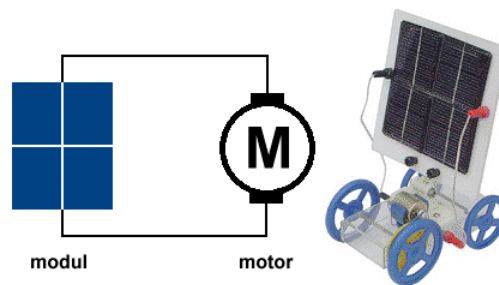
Prameň: <http://re.jrc.cec.eu.int/pvgis/pv/>

1.1 Solárna energia a jej premena na elektrickú energiu

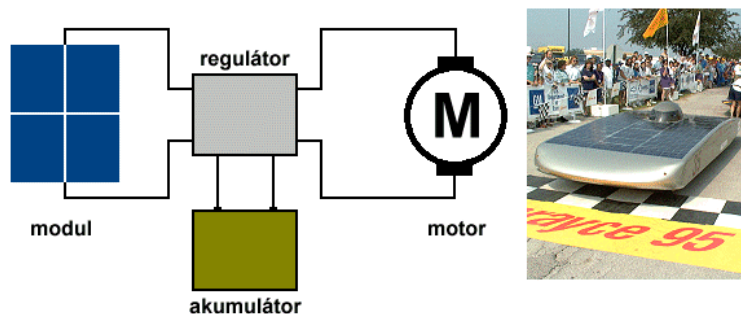
Pri premene solárnej energie na elektrickú rozlišujeme priamu a nepriamu premenu:

- Princíp nepriamej premeny spočíva v premene energie Slnka na tepelnú energiu a následnej premene pomocou vhodných zariadení na elektrickú energiu. Na koncentráciu slnečného žiarenia sa používajú parabolické zrkadlá, termálne solárne veže alebo komínové slnečné elektrárne [1]. Účinnosť nepriamej premeny solárnej energie je vyššia ako pri fotovoltaických systémoch a je teda možné dosahovať vyššie výkony na jednotku plochy slnečnej elektrárne.
- Pri priamej premene slnečnej energie na elektrickú sa využívajú solárne články. Najčastejšie sa jedná o veľkoplošné polovodičové súčiastky na báze kremíka pracujúce na princípe fotoelektrického javu, ktoré nachádzajú svoje uplatnenie hlavne pri napájaní malých zariadení (napr. kalkulačky, solárne hračky), v kozmickom priemysle, ale aj v energetickom priemysle. Jednotlivé solárne články sa spájajú do série alebo paralelne, čím vytvárajú solárne panely poskytujúce vyššie napätie alebo väčší výstupný prúd. Solárne panely môžu byť pripojené priamo k spotrebiču (obr. 2),

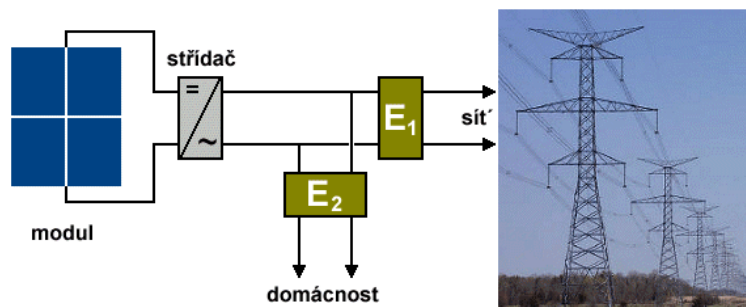
môžu tvoriť autonómny systém nezávislý na rozvodnej sieti s možnosťou uskladnenia elektrickej energie v akumulátore na čas, kedy nesvieti Slnko (obr. 3), prípadne časť alebo celú vyrobenú elektrickú energiu dodávajú do verejnej rozvodnej siete (obr. 4).



Obrázok 2 Najjednoduchší fotovoltaický systém
Prameň: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/obr/k32-2.gif>



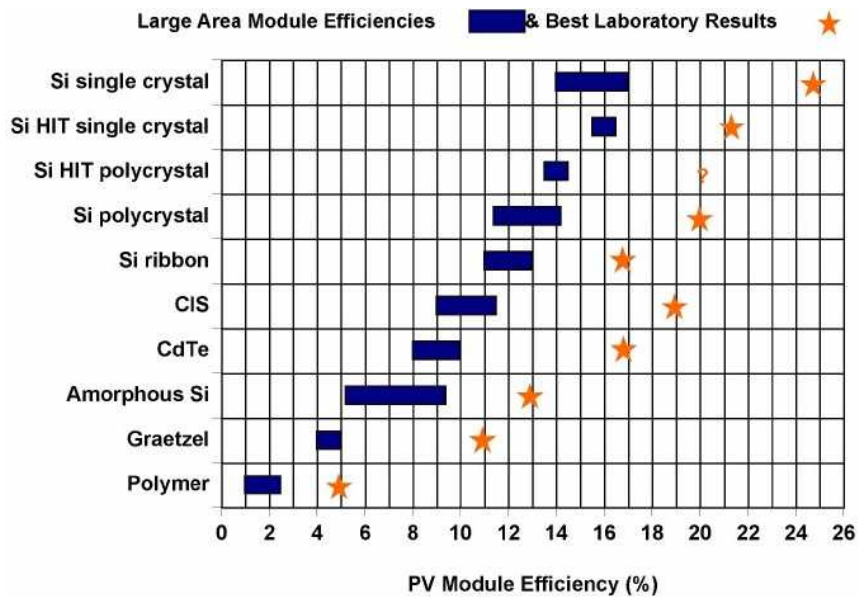
Obrázok 3 Autonómny fotovoltaický systém
Prameň: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/obr/k32-3.gif>



Obrázok 4 Fotovoltaický systém spojený so sieťou
Prameň: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/obr/k32-4.gif>

1.2 Solárne články

Za posledné desaťročia sa ponuka solárnych článkov značne obohatila využívaním nových technológií a materiálov. Okrem monokryštalického kremíka sa začali využívať aj jeho polykryštalické, multikryštalické a amorfné formy, ale aj ďalšie chemické prvky a zlúčeniny, napr. arzenid gália, telurid kademnatý, sulfid kademnatý, či v poslednej dobe sa rýchlo rozvíjajúce organické zlúčeniny. Na trhu sa objavili flexibilné, či dokonca aj transparentné solárne články na báze polymérov (obr. 5).



Obrázok 5 Porovnanie účinnosti rôznych druhov solárnych článkov (veľkoplošných modulov aj najlepších dosiahnutých laboratórnych výsledkov)

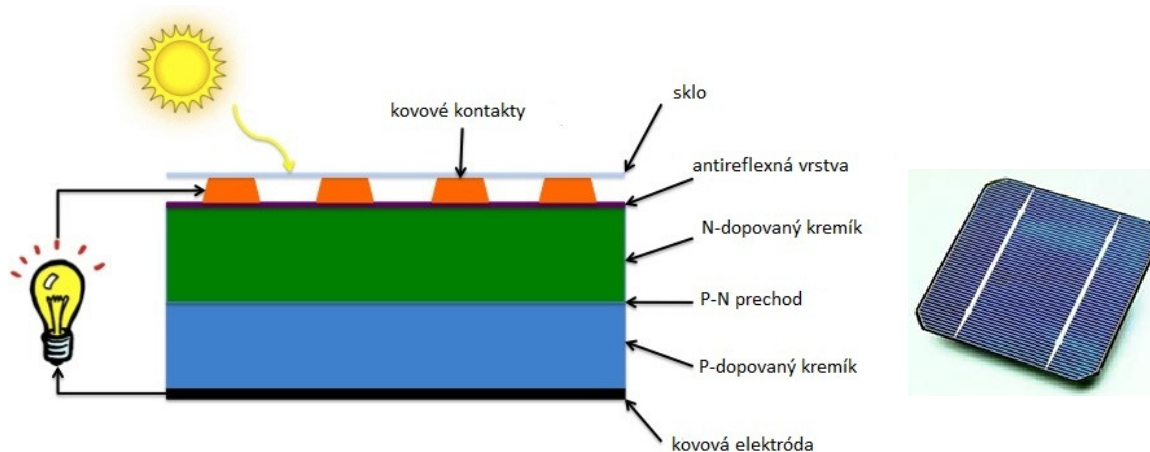
Prameň: http://www.solarnavigator.net/images/pv_solar_module_efficiency_chart.jpg

Solárne články pracujú v troch krokoch:

1. Fotóny slnečného žiarenia dopadnú na solárny článok a sú absorbované vhodným materiálom (napr. kremíkom).
2. Elektróny sa uvoľnia z atómov a spôsobia potenciálový rozdiel. Obvodom začne pretekať elektrický prúd, ktorý sa snaží vyrovnat' vzniknutý potenciálový rozdiel. V dôsledku špecifického zloženia článkov môže prúd pretekať len jedným smerom.
3. Vzniknuté napätie a prúd predstavujú výstup solárneho článku ako zdroja elektrickej energie.

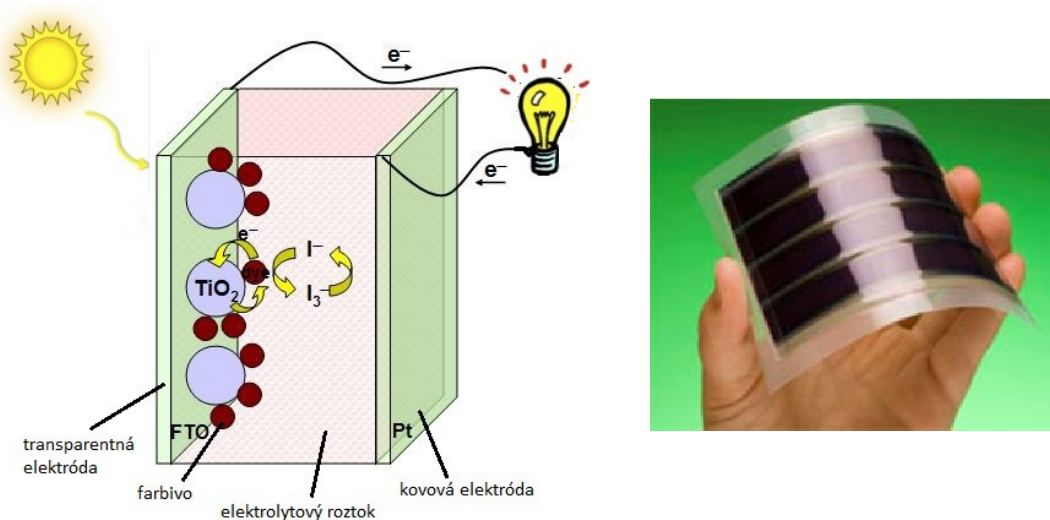
Najrozšírenejším typom solárnych článkov sú články na báze kremíka, prípadne iného anorganického polovodiča, ktoré využívajú rovnaký fyzikálny princíp – fotoelektrický jav. Žiarenie s energiou väčšou ako je šírka zakázaného pásma kremíka je zachytené v kremíkovej vrstve, kde je energia dodaná elektrónom v kryštalickej mriežke a spôsobí ich excitáciu a uvoľnenie z atómov. Po uvoľnení elektrónu zostáva na jeho mieste kladná diera. Oddelenie kladných dier a záporných elektrónov spôsobí vznik napätia a prúdu. Konštrukcia je postavená na kombinácii vrstiev z polovodičov typu P a typu N (obr.6).

Relatívne novými alternatívami ku kremíkovým článkom sú články na princípe tzv. „umelej fotosyntézy“, ktoré využívajú rôzne prírodné farbivá podobne ako u rastlín. Prvýkrát tento princíp využil Michael Grätzel v roku 1988 a podľa neho sa tieto články zvyknú označovať ako Grätzelove články [11]. Žiarenie s dostatočnou energiou excituje elektróny v molekulách farbiva, ktoré prechádzajú do polovodičovej vrstvy (najčastejšie TiO_2) a ďalej do obvodu v podobe elektrického prúdu. V molekulách farbiva zostávajú voľné diery. Oddelením elektrónov a dier vzniká potenciálový rozdiel. Po prechode obvodom sú elektróny transportované iónmi v jódovom elektrolyte naspäť do molekúl farbiva, kde dôjde k rekombinácii s dierami a celý proces môže začať odznova. Grätzelove články teda obsahujú polovodičovú vrstvu TiO_2 s molekulami prírodného farbiva a elektrolytový roztok (obr. 7).



Obrázok 6 Štruktúra solárneho článku na báze kremíka

Prameň: vlastný návrh, <http://www.reuk.co.uk/OtherImages/solar-cell-in-panel-kit.jpg>



Obrázok 7 Štruktúra Grätzelovho článku

Prameň: vlastný návrh, http://www.azooptics.com/images/news/NewsImage_2835.jpg

Tabuľka 1 Porovnanie výhod a nevýhod solárnych článkov

Vlastnosti kremíkových článkov	Vlastnosti Grätzelových článkov
Vyššia účinnosť	Nižšia účinnosť
Dlhšia životnosť	Kratšia životnosť
Drahé - vyrábané vo vákuu pri vysokých teplotách s vysokými výrobnými nákladmi	Relatívne lacné - vyrábané pri izbovej teplote bez potreby vákuu relatívne jednoduchým výrobným postupom
Rozbitné, neohybné, hrubé	Tenké, ľahké, flexibilné
Dlhá návratnosť investícií (4 roky)	Krátka návratnosť investícií (3 mesiace)

Prameň: http://www.nanosense.org/activities/cleanenergy/solarenergy/CE_SolarSlides.ppt

2 PREDSTAVENIE UČEBNÉHO MODULU

Učebný modul „Objavovanie tajomstiev solárnych článkov“ predstavuje ucelený metodický materiál pre prácu učiteľa a žiakov. Primárne je plánovaný na dve vyučovacie hodiny, no podľa zručností žiakov a podmienok školy je možné časovú dotáciu zvýšiť, prípadne je možné z modulu vybrať len niektoré časti. Realizácia aktivít zahrnutých v učebnom module predpokladá, že žiaci z predošlého učiva ovládajú nasledovné vedomosti a zručnosti:

- základné pravidlá bezpečnosti pri práci s elektrickými obvodmi v laboratóriu,
- základné prvky elektrických obvodov (vodiče, potenciometer, digitálny multimeter),
- základné elektrotechnické pojmy (prúd, prúd nakrátko, napätie, napätie naprázdno, odpor, výkon) a základné techniky ich merania využitím digitálneho multimetra,
- kreslenie grafov,
- konštrukcia ampérvoltovej charakteristiky.

Pokiaľ tieto predpoklady nie sú splnené, je možné v rámci učebného modulu objasniť nové pojmy a nacvičiť potrebné zručnosti priamo pri praktických úlohách v module, je však nevyhnutné rátať s navýšením časovej dotácie potrebnej k realizácii celého modulu.

Pre úvodné aktivity postačí počítač s prístupom na internet a dataprojektor. Experimentálna časť vyžaduje bežné laboratórne pomôcky pre realizáciu základných elektrotechnických meraní (uvedené v inštrukčnom liste k meraniu). V prípade, ak sa učiteľ rozhodne zrealizovať aj experimenty s Grätzelovými článkami, je potrebné zakúpiť jednu experimentálnu sadu¹ v sume 50 až 100€ (podľa druhu a veľkosti).

2.1 Špecifikácia cieľovej skupiny

Modul je určený pre žiakov 1. až 4. ročníka strednej školy s využitím v predmetoch fyzika alebo elektrotechnika (ISCED 3), prípadne iných technických predmetoch v tematických celkoch venovaných problematike (obnoviteľných) zdrojov energie. Po drobných úpravách a prispôbení náročnosti učiva je možné modul alebo jeho časti využiť aj u žiakov 7. až 9. ročníka základnej školy v predmetoch fyzika alebo technika (ISCED 2).

U učiteľa sa predpokladá aprobácia pre výučbu predmetu fyzika alebo odborných technických predmetov a základné IKT kompetencie.

2.2 Prehľad cieľov

Žiaci po absolvovaní modulu vedia

- objasniť princíp a štruktúru kremíkových solárnych článkov,
- objasniť princíp a štruktúru Grätzelových solárnych článkov,
- porovnať hlavné výhody a nevýhody kremíkových a Grätzelových solárnych článkov,
- experimentálne overiť základné charakteristiky solárnych článkov.

2.3 Štruktúra učebného modulu

Učebný modul je plánovaný na dve vyučovacie hodiny (90 min.). V optimálnom prípade je modul možné zrealizovať formou dvojhodinovky, ale je možné aj jeho rozdelenie na dve samostatné jednododinovky – prvú teoretickú a druhú experimentálnu.

¹ <http://www.mansolar.nl/>

Tabuľka 2 Prehľad aktivít učebného modulu „Objavovanie tajomstiev solárnych článkov“

Aktivita	Trvanie	Podporný materiál
Úvod	10 min.	CD Encyklopédia energie ²
Základné fakty o solárnej energii a solárnych článkoch	5 min.	Prezentácia Solárne články (Príloha 1) – snímky 1,2,3,4
Kremíkové a Grätzelove články	20 min.	Prezentácia Solárne články (Príloha 1) – snímky 5, 6, 7, 8, 9 http://nanosense.org/activities/cleanenergy/solarcellanimation.html
Čo už vieme?	10 min.	Solárny test – zadanie (Príloha 2) Solárny test – riešenie (Príloha 3)
Príprava Grätzelových článkov	20 min.	Inštrukčný list – Grätzelove články (Príloha 4) Pomôcky uvedené v inštrukčnom liste
Meranie výkonnosti solárnych článkov	20 min.	Inštrukčný list – Merania na článkoch (Príloha 5) Pomôcky uvedené v inštrukčnom liste
Záverečné zhodnotenie	5 min.	Dva papiere formátu A3 umiestnené na stene (jeden s nápisom „Čo som sa naučil“ a druhý s nápisom „Čo sa chcem k téme opýtať“) Post-It farebné papieriky

Prameň: vlastný návrh

² voľne stiahnuteľné cez <http://media.cez.cz/webdav/encyklopedie-energie.zip>

3 OBJAVOVANIE TAJOMSTIEV SOLÁRNYCH ČLÁNKOV

Ako motivačný úvod do preberanej problematiky môže žiakom poslúžiť článok [7], ktorý im dáme prečítať formou domácej prípravy pred začiatkom realizácie aktivít z modulu. Článok v krátkosti približuje východiská pre využívanie solárnej energie, predstavuje základné solárne články, ako aj ich výhody a nevýhody, či perspektívy ďalšieho vývoja. Aby sme naučili žiakov pracovať so súvislým textom, môžeme pridať k prečítaniu úlohu navyše – nájsť v texte odpovede na nami určené otázky, napr.:

- Kde sa v súčasnosti využívajú fotočlánky?
- Ktoré materiály sa v súčasnosti využívajú na výrobu fotočlánkov?
- Aké sú výhody používania fotočlánkov?
- Aké sú nevýhody používania fotočlánkov?
- Aká je v súčasnosti účinnosť fotočlánkov?

Žiaci si môžu odpovede vypísať do zošita formou mikroreferátu alebo rôznymi farbami vyznačiť tie časti textu, v ktorých sa nachádzajú hľadané odpovede.

3.1 Multimediálna prezentácia – CD Encyklopédia energie

Ako motivácia a zhrnutie základných poznatkov z preberanej problematiky nám poslúži multimediálna prezentácia z výučbového CD Encyklopédia energie – z úvodného menu zvolíme Energia z obnoviteľných zdrojov, podkapitola Slnko a Zem (obr. 8). Prezentácia poskytne základné informácie o slnečnom žiarení, jeho premene na elektrinu a teplo, ako aj možné výhľady do budúcnosti, na ktoré budeme nadväzovať v ďalších aktivitách.



Obrázok 8 Ukážka z výučbového CD Encyklopédia energie

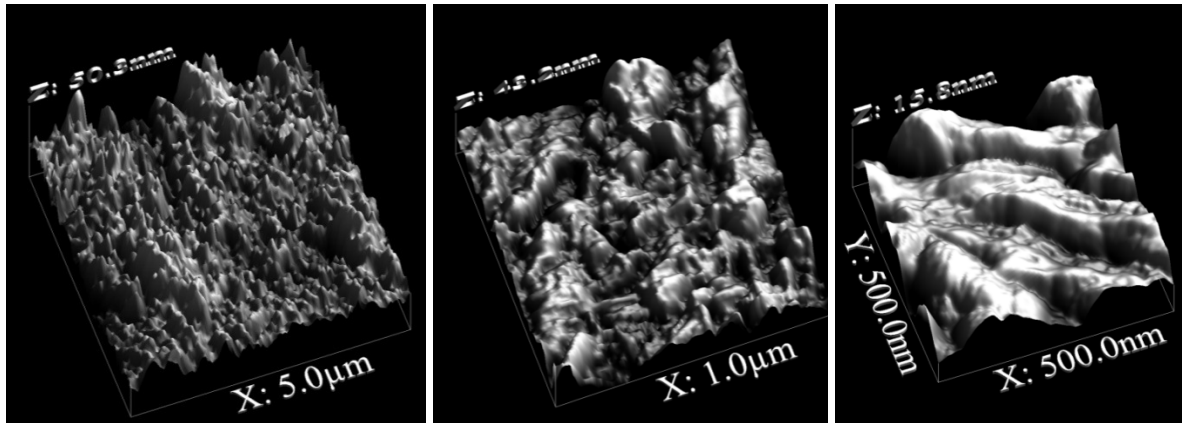
Prameň: CD Encyklopédia energie

3.2 Výučbová prezentácia

Pri práci s výučbovou powerpointovou prezentáciou Solárne články (Príloha 1) môžeme využiť nasledovný postup:

1. Na základe prečítaného článku z domácej prípravy a z úvodnej multimediálnej prezentácie z CD Encyklopédia energie zhrnieme potrebné poznatky týkajúce sa slnečnej energie a solárnych článkoch (snímky 1, 2, 3 a 4).
2. Vysvetlíme v stručnosti štruktúru kremíkového článku a princíp jeho činnosti (snímka 5). Pomocou animácie ukážeme fungovanie článku a požiadame jedného žiaka, aby vlastnými slovami vysvetlil, čo sa dialo na animácii.
3. Vysvetlíme v stručnosti štruktúru Grätzelovho článku a princíp jeho činnosti (snímka 6). Pomocou animácie ukážeme fungovanie článku a požiadame jedného žiaka, aby vlastnými slovami vysvetlil, čo sa dialo na animácii.
4. Zhrnieme základné vlastnosti kremíkových a Grätzelových článkov (snímka 7).

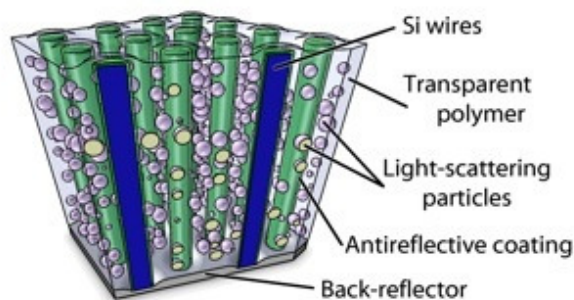
Snímky 8 a 9 v powerpointovej prezentácii predstavujú rozšírenie preberanej problematiky o najnovšie postupy vylepšovania solárnych článkov využívaním nanotechnológií, teda technológií a častíc s rozmermi 1 až 100 nanometrov. Samotné Grätzelove články sú praktickou ukážkou aplikácie nanotechnologického prístupu – polovodičová vrstva je vytvorená z nanokryštalického TiO_2 . Veľké množstvo nanokryštálov vytvorí dostatočne „zvrásnený“ povrch s obrovskou aktívnou plochou, na ktorej je možné uchýtiť oveľa väčšie množstvo molekúl farbiva ako by tomu bolo v prípade kryštalického TiO_2 . Zároveň nerovnosti v povrchu umožnia lepšie zachytávanie dopadajúcich fotónov zo slnečného žiarenia pod rôznymi uhlami, čo v konečnom dôsledku vedie k zvýšeniu efektivity článku.



Obrázok 9 Vrstva nanokryštalického TiO_2 pri zväčšení $5\mu\text{m}$, $1\mu\text{m}$ a $0,5\mu\text{m}$

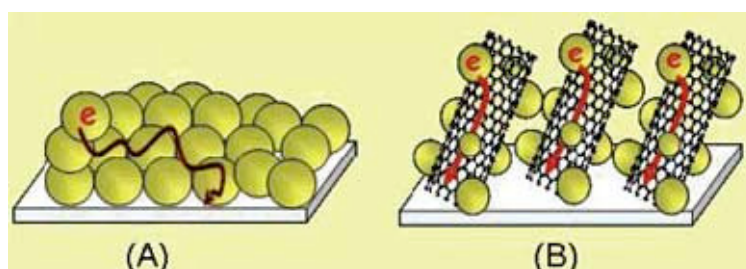
Prameň: vlastný návrh

Ďalším nanotechnologickým vylepšením solárnych článkov je použitie nanorúrok z rôznych materiálov (uhlík, kremík, oxid zinočnatý a pod.), ktoré jednak samotné zväčšujú aktívnu plochu na pohlcovanie dopadajúcich fotónov (obr. 10), zároveň slúžia na uľahčenie a usmernenie pohybu uvoľnených elektrónov priamo k elektróde (obr. 11) a výsledkom je zvýšenie účinnosti solárnych článkov.



Obrázok 10 Použitie kremíkových nanovlákien vedie k zväčšeniu aktívnej plochy na zachytávanie dopadajúcich fotónov

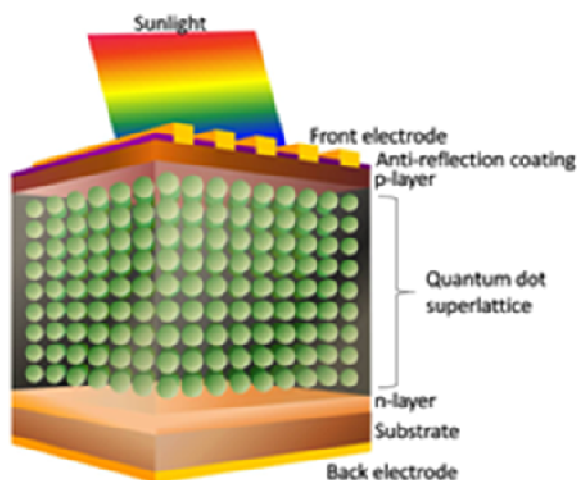
Prameň: <http://www.understandingnano.com/silicon%20nanowire%20solar%20cell.jpg>



Obrázok 11 Porovnanie transportu elektrónov v neštruktúrovanom materiáli (A) a pri použití uhlíkových nanorúrok (B)

Prameň: <http://www.nanowerk.com/spotlight/id1535.jpg>

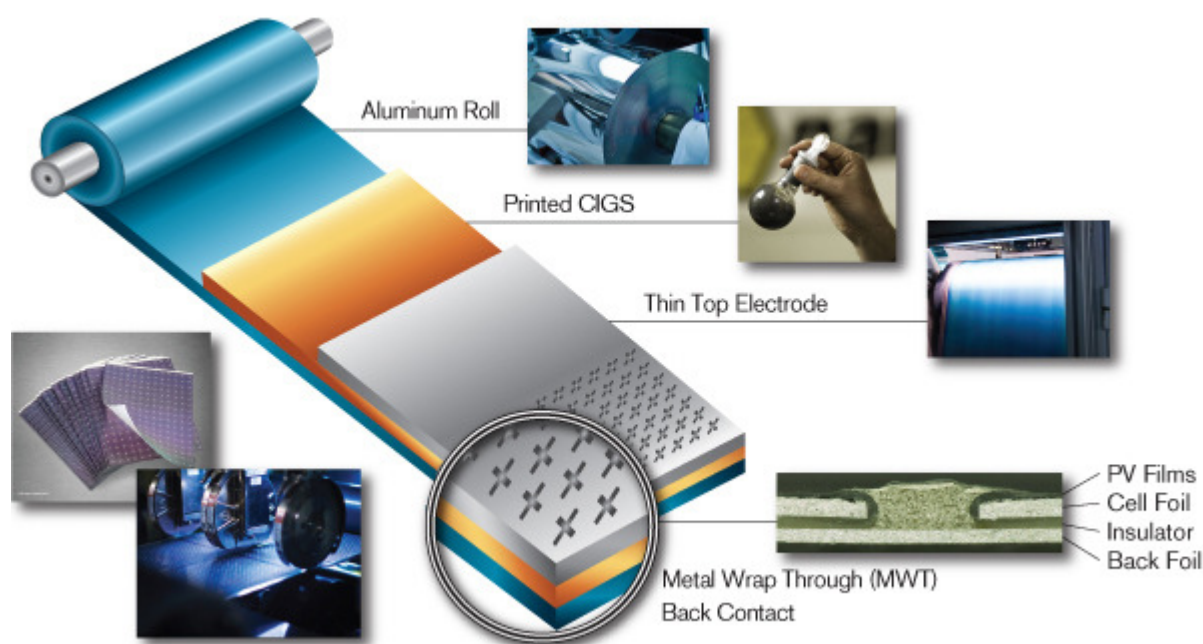
Okrem molekúl prírodných farbív sa testujú aj kvantové bodky (quantum dots), niekedy nazývané aj nanokryštály alebo umelé atómy, ktorých elektrické a optické vlastnosti je možné jednoducho upraviť zmenou ich veľkosti. Pri spoločnom použití v pásoch s polovodičmi (obr. 12) sú kvantové bodky schopné lepšie viazať elektróny, nakoľko predstavujú miesta s vyššou vodivosťou.



Obrázok 12 Solárny článok využívajúci kvantové bodky

Prameň: <http://mbe.rcast.u-tokyo.ac.jp/picture/img/QDSC.png>

Využitím polovodičových nanočastíc CIGS (Cu-In-Ga-Se) v podobe nanoatramentu bolo možné pozmeniť technológiu výroby tradičných článkov a tlačou na tenkú hliníkovú fóliu vyrábať tenké a flexibilné solárne články s účinnosťou až 17% (obr. 13).



Obrázok 13 Solárny článok využívajúci nanoatrament

Prameň: <http://www.nanosolar.com/wp-content/uploads/Tech-Overview-Image1.jpg>

3.3 Priebežný test

Na rýchlu kontrolu miery pochopenia a osvojenia učiva slúži krátky priebežný test (Príloha 2 a 3). Podľa uváženia učiteľa je možné riešiť priebežný test samostatne alebo vo dvojiciach, prípadne ho využiť ako východisko pre spracovanie poznámok žiakmi.

3.4 Výroba Grätzelových článkov

Grätzelove články nie sú na Slovensku bežne dostupné, avšak je možné ich zakúpiť priamo od výrobcu zo zahraničia pre potreby laboratórnych experimentov (viď kapitolu 2 Predstavenie učebného modulu) za pomerne prijateľnú cenu. Okrem samotného zostavenia a overenia ich funkčnosti (aktivity v rámci učebného modulu), poslúžia články ako vhodný objekt pre ďalšie bádateľské aktivity a projekty žiakov, napr. v mimoškolskej činnosti (viď Prílohu 6).

Výroba článkov nie je zložitá, dá sa uskutočniť v bežných podmienkach v triede alebo školskom laboratóriu a všetky potrebné pomôcky sú súčasťou balenia experimentálnej sady dodávanej výrobcom. Pokiaľ učiteľ ešte s Grätzelovými článkami nepracoval, je vhodné si pozrieť niektoré z inštruktážnych videí na internete (obr. 14), aby získal predstavu o jednotlivých krokoch postupu. Najviac času zaberie nanosenie a tepelné vytvrdenie pasty nanokryštalického TiO_2 na vodivé sklá (elektrody). Nakoľko je učebný modul naplánovaný len na dve vyučovacie hodiny, jednoduchým riešením je príprava TiO_2 vrstvy na elektrodách ešte pred vyučovaním, resp. zakúpiť od výrobcu elektrody s už nanosenou vrstvou.



Obrázok 14 Videonávod na výrobu Grätzelových článkov

Prameň: <http://www.youtube.com/watch?v=17SsOKEN5dE>

Odporúčaný postup prípravy Grätzelových článkov (kompletný postup – vid' Príloha 4):

1. Príprava elektród – anóda je elektróda s nanosenou vrstvou TiO_2 , katóda je elektróda s nanosenou vrstvou grafitu.
2. Absorpcia molekúl prírodného farbiva na anóde – použiť môžeme ibištekový čaj, brusnicovú alebo čučoriedkovú šľavu, kurkumu a pod.
3. Zloženie Grätzelovho článku spojením elektród a vkvapnutím jódového elektrolytu.

Pripravené články môžeme opätovne používať pri viacerých experimentoch; pokiaľ poklesne výkonnosť článkov, obnovíme ich opätovným vkvapnutím jódového elektrolytu medzi elektródy.

Žiakom na hodine najprv v krátkosti popíšeme postup prípravy článkov, potom rozdáme inštrukčné listy (Príloha 4) a necháme žiakov pracovať v skupinkách podľa návodu z inštrukčných listov.

3.5 Meranie výkonnosti solárnych článkov

Najdôležitejšou praktickou časťou učebného modulu sú laboratórne experimenty so solárnymi článkami. Merania je možné zrealizovať:

1. len na kremíkových článkoch (pokiaľ sa učiteľ rozhodne vypustiť aktivitu zameranú na stavbu Grätzelových článkov),
2. na kremíkových a Grätzelových článkoch (s porovnaním dosiahnutých výsledkov),
3. len na Grätzelových článkoch (aj s možnosťou využitia rôznych druhov prírodných farbív a následným porovnaním výsledkov).

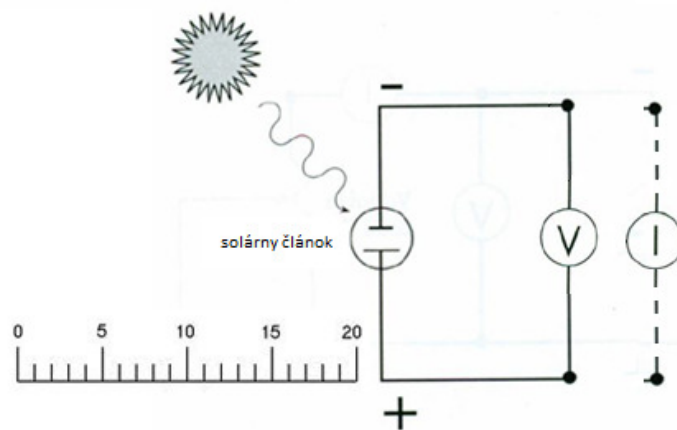
Medzi základné merania na článkoch patrí meranie osvetľovacej charakteristiky a meranie zaťažovacej charakteristiky článku. Detailný postup merania oboch charakteristík poskytneme žiakom formou inštrukčného listu (Príloha 5).

Osvetľovacia charakteristika popisuje závislosť výstupného napätia od intenzity osvetlenia článku. Na jej odmeranie potrebujeme dostatočný (100W) svetelný zdroj. V optimálnom prípade meranie uskutočňujeme v zatemnenej miestnosti. Na stole si vyznačíme (napr. pomocou farebných nálepiek) miesta vo vzdialenosti 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm atď. od svetelného zdroja. Pokiaľ máme k dispozícii luxmeter, môžeme premerať aj intezitu osvetlenia na týchto miestach. Pokiaľ luxmeter nebudeme používať, osvetľovacia charakteristika bude len popisovať zmeny výstupného napätia článku pri postupne zvrastajúcej vzdialenosti článku od zdroja. Článok postupne presúvame po jednotlivých vyznačených miestach a meriame výstupné napätie, tzv. napätie naprázdno (obr. 15). Výsledné hodnoty žiaci zapisujú do tabuľky v inštrukčnom liste a zostroja z nich osvetľovaciu charakteristiku daného článku.

Meranie pozmeníme tak, že k článku projíme ampérmeter a budeme merať na jednotlivých miestach tzv. prúd nakrátko a žiaci zostroja graf závislosti výstupného prúdu od intenzity osvetlenia, resp. pri zmene zdialenosti článku od svetelného zdroja. Po skončení experimentu určíme maximálnu hodnotu napätia naprázdno a maximálnu hodnotu prúdu nakrátko a ich vynásobením získame maximálny teoretický možný výkon článku (teoretický preto, lebo článok de facto nikdy nebude pracovať v podmienkach, kedy poskytuje napätie naprázdno a zároveň prúd nakrátko):

$$P_{\max} = U_{0\max} \cdot I_{K\max}$$

Pokiaľ budeme chcieť porovnať výkonnosť rôznych článkov, je vhodné vypočítať maximálny jednotkový výkon, teda výkon, ktorý zodpovedá jednotkovej ploche článku, teda P_{\max} predelíme aktívnou plochou článku (odmeriame rozmery plochy článku, ktorá je osvetľovaná).



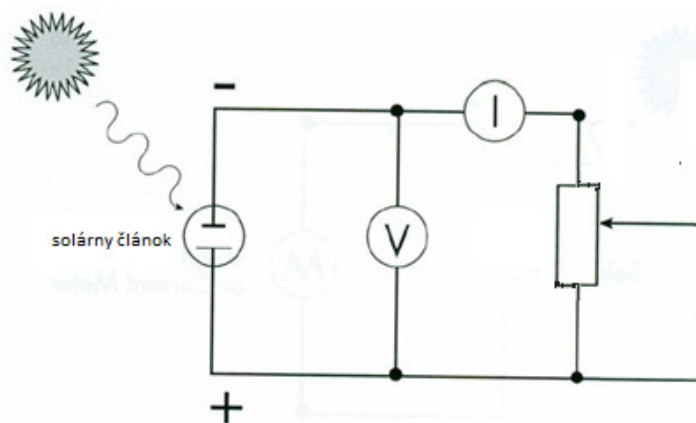
Obrázok 15 Meranie osvetľovacej charakteristiky

Prameň: vlastný návrh

Zostrojenie zaťažovacej charakteristiky predstavuje náročnejšie meranie. Meranie robíme pri konštantnom osvetlení článku. K článku pripojíme zaťažový rezistor (500 Ω potenciometer, ktorý si vopred upravíme tak, aby sme na dráhe bežca vyznačili miesta zodpovedajúce hodnote 50 Ω, 100Ω, 150 Ω, atď.). K článku pripojíme aj ampérmeter a voltmeter (obr. 16). Začneme hodnotou 450 Ω, postupne znižujeme hodnotu záťaže a pre každú záťaž odmeriame zodpovedajúce napätie a prúd na výstupe článku. Hodnoty žiaci zapisujú do pripravenej

tabuľky. Z nameraných hodnôt zostroja najprv ampérvoltovú charakteristiku článku. Potom pre každú dvojicu napätia a prúdu vypočítajú hodnotu elektrického výkonu. Zaťažovacia charakteristika je vlastne grafická závislosť výkonu článku (ako zdroja elektrickej energie) od hodnoty záťaže. Určením maxima na zaťažovacej charakteristike a jemu prislúchajúcej hodnoty odporu získame tzv. vnútorný odpor zdroja, teda vnútorný odpor solárneho článku. Experimentálne sa môžeme presvedčiť, že rôzne články majú rôzne hodnoty vnútorného odporu.

Nakoľko namerané hodnoty napätia a prúdov získaných z jedného článku sú pomerne malé, na záver experimentálnej časti sa žiakov spýtame, ako by bolo možné zvýšiť výstupné napätie, resp. výstupný prúd článkov. Využitím poznatkov o sériovom a paralelnom zapojení elektrických zdrojov uzavrieme problematiku poukázaním na konštrukciu a význam solárnych panelov ako sériovo a paralelne spojených solárnych článkov.



Obrázok 16 Meranie zaťažovacej charakteristiky

Prameň: vlastný návrh

3.6 Záverečné zhodnotenie

Pripravíme si dva papiere formátu A3 - jeden s nápisom „Čo som sa naučil“ a druhý s nápisom „Čo sa chcem k téme opýtať“ a umiestnime ich v učebni na stenu alebo na nástenku. Každý žiak dostane niekoľko Post-It farebných papierikov, na ktoré napíše v krátkosti, čo sa naučil a prípadné otázky, ktoré by sa chcel k téme spýtať. Nie je potrebné písať celé vety alebo definície, postačí uvádzať len nové pojmy alebo postupy, ktoré si žiaci z hodiny zapamätali. Papieriky potom žiaci nalepia na postery v učebni – takouto formou si opätovne vybavujú preberané učivo a realizované aktivity a učiteľ získa rýchlo spätnú väzbu. K prípadným žiackym otázkam je možné sa vrátiť na ďalšej hodine.

ZÁVER

Prebiehajúca reforma vzdelávania na základných a stredných školách umožňuje školám a učiteľom upravovať a prispôbovať vzdelávací obsah aj formy jeho sprístupňovania. Problematika solárnej energie, ako súčasť environmentálnej výchovy a vzdelávania, má medzipredmetový charakter a je možné sa jej venovať v prírodovedných aj technických predmetoch. Je na nás, učiteľoch, aby sme zabezpečili žiakom podľa možnosti čo najaktuálnejšie poznatky s ohľadom na neustále sa vyvíjajúce nové technológie prichádzajúce na trh. Táto OPS má za cieľ pomôcť učiteľom rozšíriť ich odborné vedomosti a ukázať niekoľko jednoduchých experimentálnych aktivít, ktoré môžu v rámci vyučovania so svojimi žiakmi zrealizovať. Využitie moderných digitálnych technológií, bádateľských postupov a striedanie frontálnych, skupinových a samostatných žiackych aktivít umožňuje pripraviť zaujímavé vyučovacie hodiny.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ZDROJOV

1. <http://www.oze.stuba.sk/oze/slnečna-energia/>
2. <http://www.mojeslnko.sk/fotovoltaika/slnečna-energia/>
3. <http://www.solarenergia.sk/slnečna-energia/>
4. <http://www.platforma.ekofond.sk/moderne-vyučovanie/teoria/54-slnečna-energia>
5. <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/solar.htm>
6. http://www.nanosense.org/activities/cleanenergy/solarenergy/CE_SolarSlides.ppt
7. <http://www.itnews.sk/tituly/bz/free-clanky/2010-06-30/c134509-bz-fotovoltaika-ma-buducnost>
8. http://sdsu-physics.org/physics_lab/p182B_labs/indi_labs/solarcells2.pdf
9. http://www.solarbc.ca/sites/default/files/pdf/how_a_solar_cell_works_dec_9.pdf
10. http://teachers.usd497.org/agleue/Gratzel_solar_cell%20assets/other%20instructions%20for%20building%20the%20Gratzel%20cell%20assets/kit%20manual%20pdf.pdf
11. http://www.iuventa.sk/files/documents/2_olympiady/import/Dokumenty%20pre%20stranu/BiO/42_rocnik/EUSO/EUSO08ul2.pdf

ZOZNAM PRÍLOH

Príloha 1 Výučbová prezentácia Solárne články

Príloha 2 Solárny test – zadanie

Príloha 3 Solárny test – riešenie

Príloha 4 Inštrukčný list – Grätzelove články

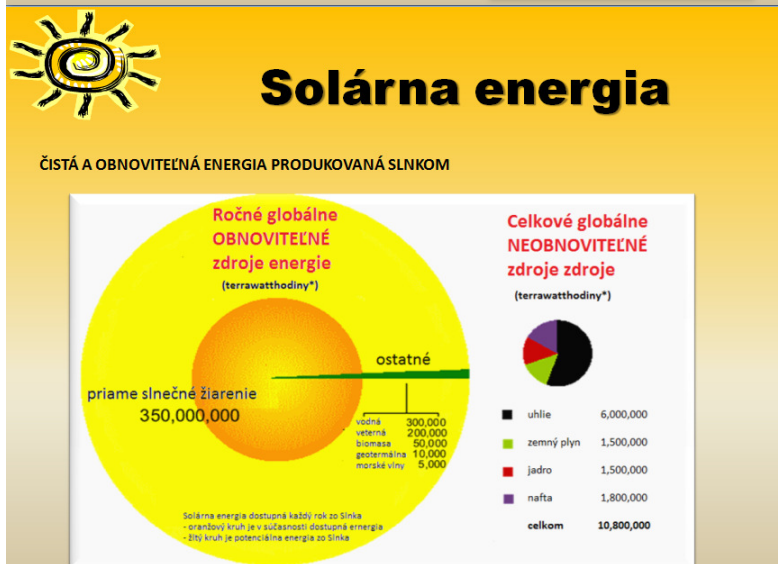
Príloha 5 Inštrukčný list – Merania na článkoch

Príloha 6 Žiacky bádatel'ský projekt

Príloha 1 Výučbová prezentácia Solárne články



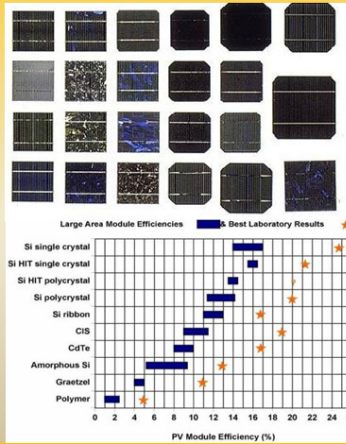
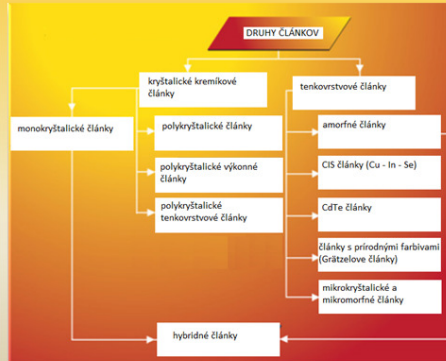
Solárne články



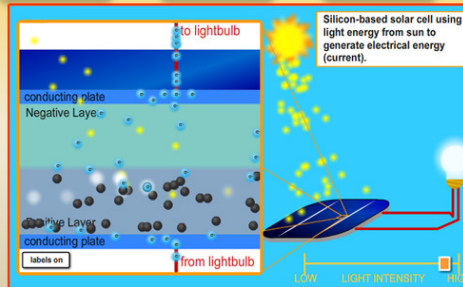
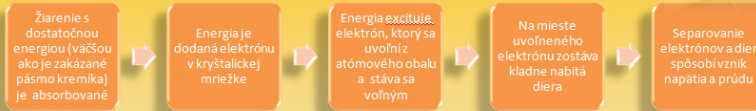


Solárne články

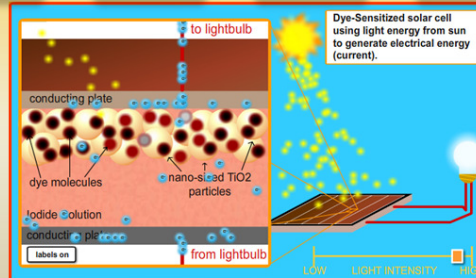
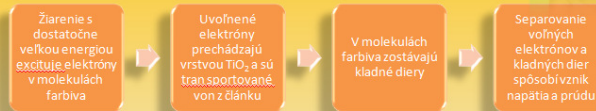
ELEKTRICKÉ ZARIADENIA, KTORÉ PREMIEŇAJÚ SLNEČNÉ ŽIARENIE PRIAMO NA ELEKTRICKÚ ENERGIU



Kremíkové solárne články



Grätzelove solárne články





Porovnanie solárnych článkov

KREMÍKOVÉ ČLÁNKY

- Vyššia účinnosť
- Dlhšia životnosť
- Drahé
 - Vyrábané vo vysokom vákuu pri vysokých teplotách s vysokými výrobnými nákladmi
- Rozbitné, tuhé, hrubé
- Dlhá návratnosť investícií
 - 4 roky

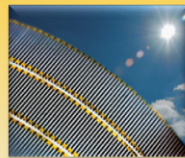
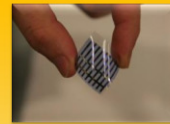


GRÄTZELOVE ČLÁNKY

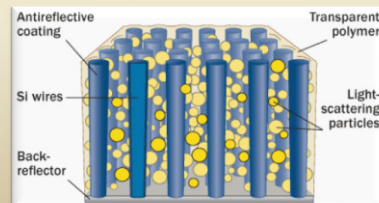
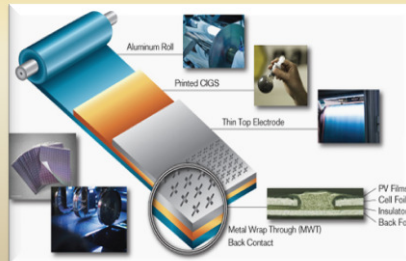
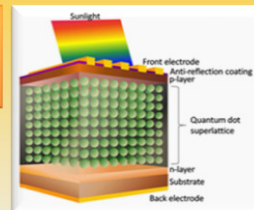
- Nižšia účinnosť
- Kratšia životnosť
- Relatívne lacné
 - Vyrábané pomerne jednoduchým výrobným postupom pri izbovej teplote bez potreby vákuu
- Tenké, ľahké, flexibilné
- Krátka návratnosť investícií
 - 3 mesiace



Využitie nanotechnológií v solárnych článkoch



Organické, polymérne a hybridné články
Grätzelove články s nanokryštalickým TiO₂
Solárne články s kvantovými bodkami
Solárne články s nanovláknami



Solárna budúcnosť?

Slnko predstavuje unikátne riešenie našich energetických potrieb do budúcnosti:

- kapacitne prevyšuje možnosti fosílnych zdrojov, jadrovej, či veternej energie
- slnečné žiarenie dodá za hodinu viac elektrickej energie než je ročná spotreba na celej Zemi
- bez emisií, skleníkových plynov a znečisťujúcich látok
- nezávislé od geo-politických obmedzení

Obrovský rozdiel medzi malým využívaním slnečnej energie a jej skutočným potenciálom:

- ani pokroky v súčasnej technológii nedokážu preklenúť túto medzeru
- potrebné sú nové prístupy a koncepcie

Potreba interdisciplinárneho výskumu:

- fyzika, chémia, biológia, materiálová veda, nanoveda



„SOLÁRNA ENERGIA JE INTERDISCIPLINÁRNA
NANOVEDA“



SOLÁRNY TEST

MENO: _____

1. Doplňte názvy chýbajúcich častí kremíkoveho solárneho článku:

	<p>1</p> <hr/> <p>2</p> <hr/> <p>3</p> <hr/> <p>4</p>
--	---

2. Vysvetlite, ako pracuje kremíkový solárny článok:

3. Doplňte názvy chýbajúcich častí Grätzelovho článku:

	<p>1</p> <hr/> <p>2</p> <hr/> <p>3</p> <hr/> <p>4</p>
--	---

4. Vysvetlite, ako pracuje Grätzelov článok:

5. Uvedte výhody/nevýhody oboch druhov solárnych článkov:

	Kremíkový solárny článok	Grätzelov článok
Výhody		
Nevýhody		



SOLÁRNY TEST

MENO: _____

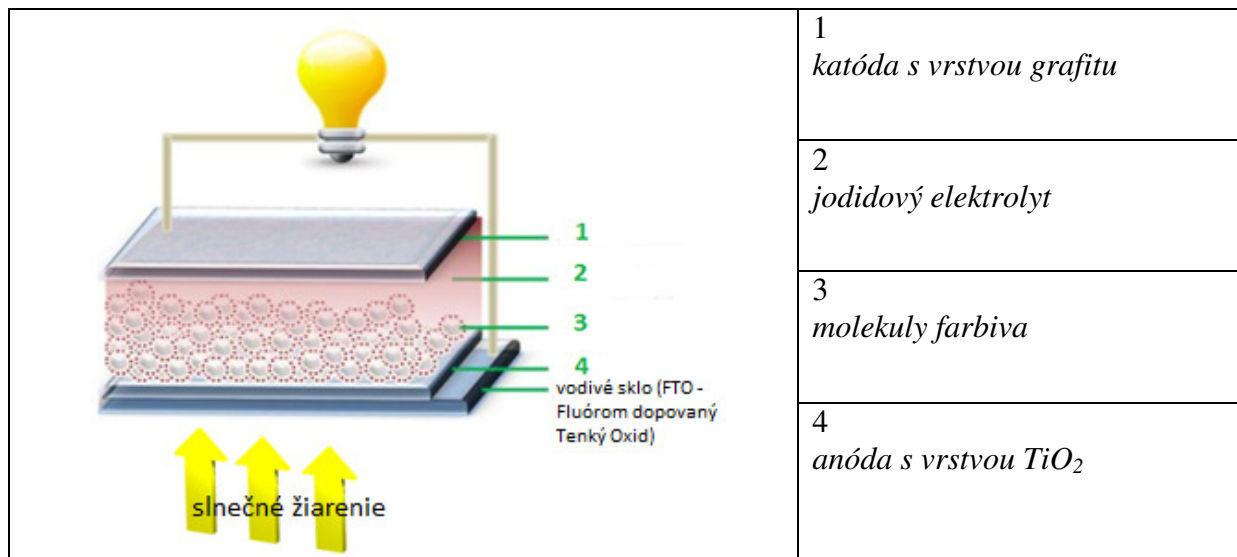
1. Doplňte názvy chýbajúcich častí kremíkového solárneho článku:

	<p>1 <i>katóda</i></p> <p>2 <i>polovodič typu n</i></p> <p>3 <i>polovodič typu p</i></p> <p>4 <i>anóda</i></p>
--	--

2. Vysvetlite, ako pracuje kremíkový solárny článok:

Žiarenie je absorbované a energia je dodaná elektrónom, ktoré sa uvoľnia a na ich miestach
ostanú kladné diery. Oddelením elektrónov a dier vznikne napätie a prúd.

3. Doplňte názvy chýbajúcich častí Grätzelovho článku:



4. Vysvetlite, ako pracuje Grätzelov článok:

Žiarenie dodá energiu elektrónom vo farbive. Uvoľnené elektróny prechádzajú polovodičovou vrstvou TiO_2 . Na ich miestach v molekulách farbiva ostávajú kladné diery. Oddelením elektrónov a dier vzniká napätie a prúd.

5. Uved'te výhody/nevýhody oboch druhov solárnych článkov:

	Kremíkový solárny článok	Grätzelov článok
Výhody	<i>Vyššia výkonnosť Dlhšia životnosť</i>	<i>Relatívne lacné Tenké, ľahké, flexibilné Krátka návratnosť investícií</i>
Nevýhody	<i>Drahé Rozbitné, tuhé, hrubé Dlhá návratnosť investícií</i>	<i>Nižšia výkonnosť Kratšia životnosť</i>



ZHOTOVENIE GRÄTZELOVHO ČLÁNKU

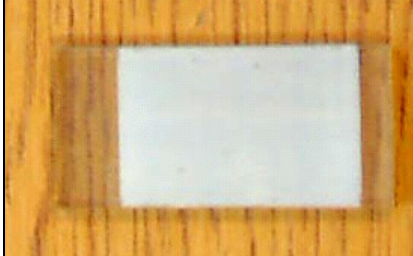

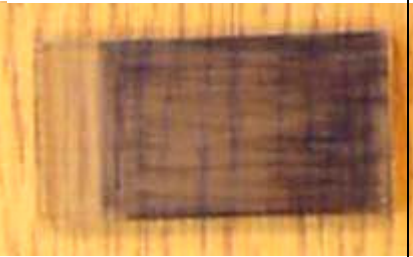
POMÔCKY A MATERIÁL:

- ✓ 1 priehľadné sklíčko, z jednej strany vodivé (bude na ňu nanosená vrstva grafitu)
- ✓ 1 sklíčko s nanosenou vrstvou TiO_2
- ✓ 1 ceruzka s mäkkou tuhou
- ✓ 1 kancelárska spinka
- ✓ 1 Petriho miska
- ✓ Jemná utierka
- ✓ Nožnice
- ✓ Deionizovaná voda
- ✓ Etanol
- ✓ Ibištekový čaj (vopred pripravený)
- ✓ Roztok jodidového elektrolytu
- ✓ Digitálny multimeter s meracími sondami

KROK 1: PRÍPRAVA ELEKTRÓD

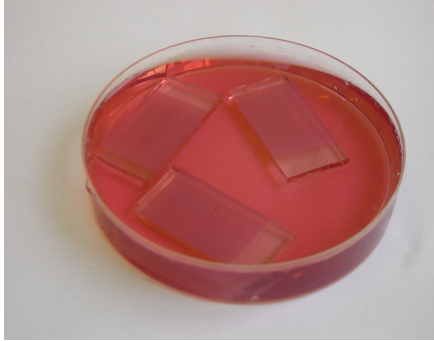
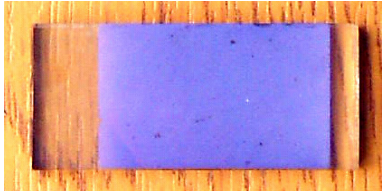
Anóda je už potiahnutá vrstvou TiO_2 (biely povlak na jednej strane sklíčka).

Katóda bude vyrobená nanosením vrstvy grafitu na vodivú stranu priehľadného sklíčka. Použitím multimetra určte vodivú stranu sklíčka – vodivá strana bude mať odpor 20-30 Ohmov a nevodivá strana bude mať odpor nekonečný. Použite mäkkú ceruzku a naneste z jej tuhy vrstvu grafitu na vodivú stranu sklíčka. Nechajte na okraji malý kúsok sklíčka nezafarbený, aby bolo neskôr kam uchytiť meracie sondy.

		
Anóda s vrstvou TiO_2	Priehľadné vodivé sklíčko	Katóda s vrstvou grafitu

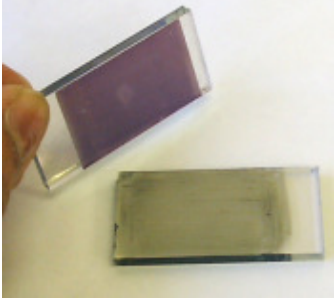
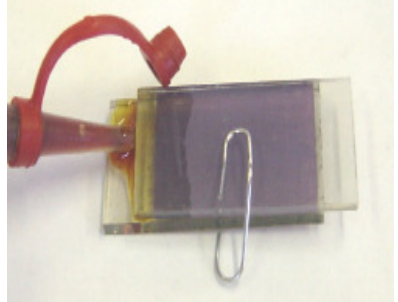
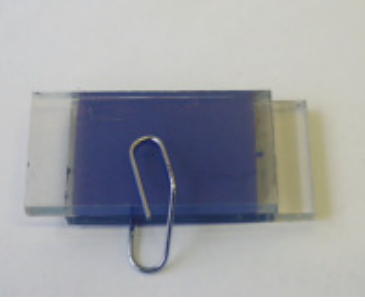
KROK 2: ABSORPCIA FARBIVA NA VRSTVE TiO_2

Do Petriho misky nalejte ibištekový čaj. Anódy ponorte do čaju (nanesenou vrstvou TiO_2 smerom nadol) na približne 10 minút až pokiaľ biela farba TiO_2 nebude viditeľná a bude mať farbu ibištekového roztoku. Opláchnite sklíčko pod vodou, potom v etanole a opatrne osušte jemnou utierkou .

	
Anódy ponorené vrstvou TiO_2 do roztoku s farbivom	Opláchnuté a osušené anódy po vybratí z roztoku s farbivom

KROK 3: ZOSTAVENIE SOLÁRNEHO ČLÁNKU

Grafitom potiahnutú časť katódy položte na farbivom nasiaknutú vrstvu TiO_2 na anóde. Obe sklíčka by mali byť umiestnené voľnými koncami od seba, aby na nich bolo možné prichytiť meracie svorky. Pomocou kancelárskej spinky spojte obe elektródy. Medzi elektródy kvapkajte niekoľko kvapiek jodidového elektrolytu. Kapilárne javy zabezpečia, aby sa elektrolytový roztok dostal rovnomerne na celú plochu medzi sklíčkami.

		
Spojenie elektród	Pridanie jodidového elektrolytu	Grätzelov článok je hotový!



MERANIA NA SOLÁRNYCH ČLÁNKOCH

MENO: _____

POMÔCKY:

- ✓ 1 solárny článok
- ✓ 2 digitálne multimetre s meracími sondami
- ✓ 100W svetelný zdroj
- ✓ 500 Ω potenciometer
- ✓ svorky (“aligátorky”) k meracím sondám
- ✓ pravítko

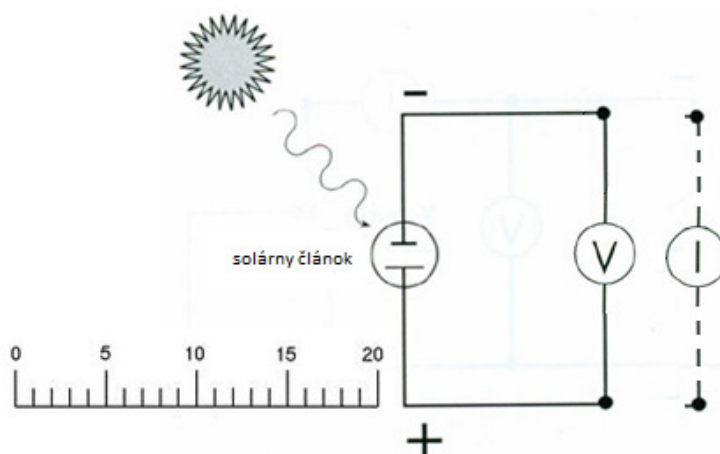
EXPERIMENT 1:

OSVETĽOVACIA CHARAKTERISTIKA

Cieľ:

Meranie elektrických výstupných charakteristík solárneho článku.

Schéma zapojenia:



Postup:

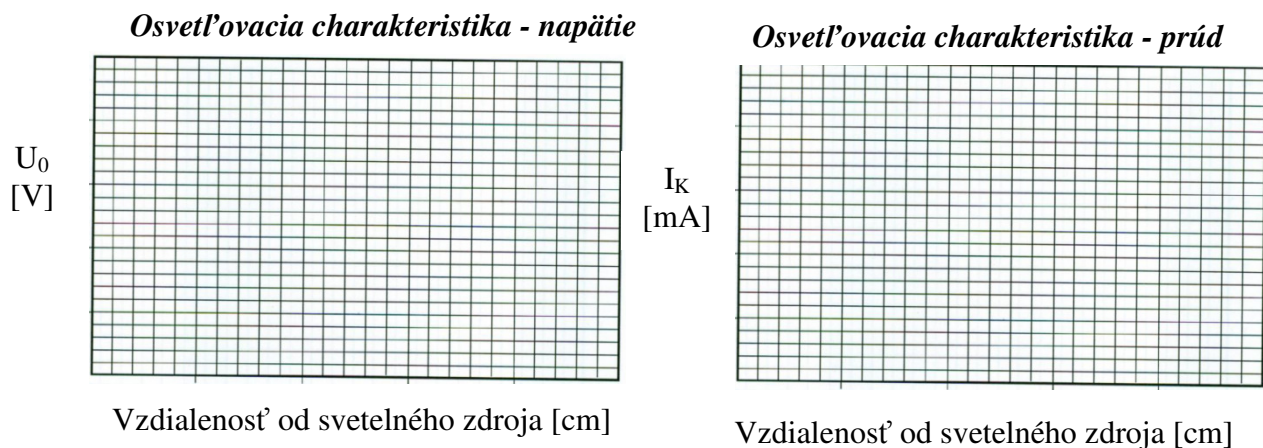
1. Multimeter nastavte do funkcie voltmetra. Solárny článok umiestnite do vzdialenosti 5 cm od svetelného zdroja a odmerajte napätie naprázdno. Hodnotu zapíšte do tabuľky.

- Multimeter prestavte do funkcie ampérmetra a odmerajte prúd nakrátko. Hodnotu zapíšte do tabuľky.
- Opakujte merania (kroky 1 a 2) postupne pre vzdialenosti od 10 cm do 40 cm.
- Zakreslite osvetľovacie charakteristiky pre namerané hodnoty napätia a prúdu..

Tabuľka:

Vzdialenosť [cm]	5	10	15	20	25	30	35	40
Napätie naprázdno [V]								
Prúd nakrátko [mA]								

Grafy:



Úlohy:

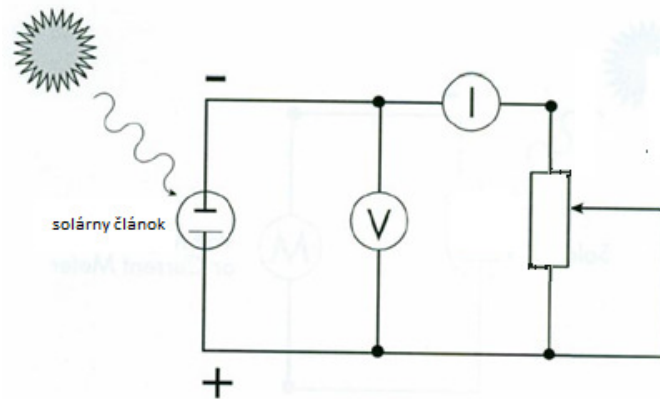
- Viete predpovedať, ako budú charakteristiky pokračovať pri zväčšovaní vzdialenosti článku od svetelného zdroja? Načrtnite pokračovanie do grafov.
- Určte maximálne napätie naprázdno U_{0max} a maximálny prúd nakrátko I_{Kmax} . Vypočítajte maximálny výkon P_{max} – aký vzorec ste použili?
- Odmerajte a vypočítajte aktívnu (osvetľovanú) plochu solárneho článku a výkon z predošlej úlohy predeľte veľkosťou tejto plochy. Aký výkon na jednotku plochy je schopný dodať solárny článok?

EXPERIMENT 2: ZAŤAŽOVACIA CHARAKTERISTIKA

Cieľ:

Meranie ampérvoltovej a zaťažovacej charakteristiky solárneho článku.

Schéma zapojenia:



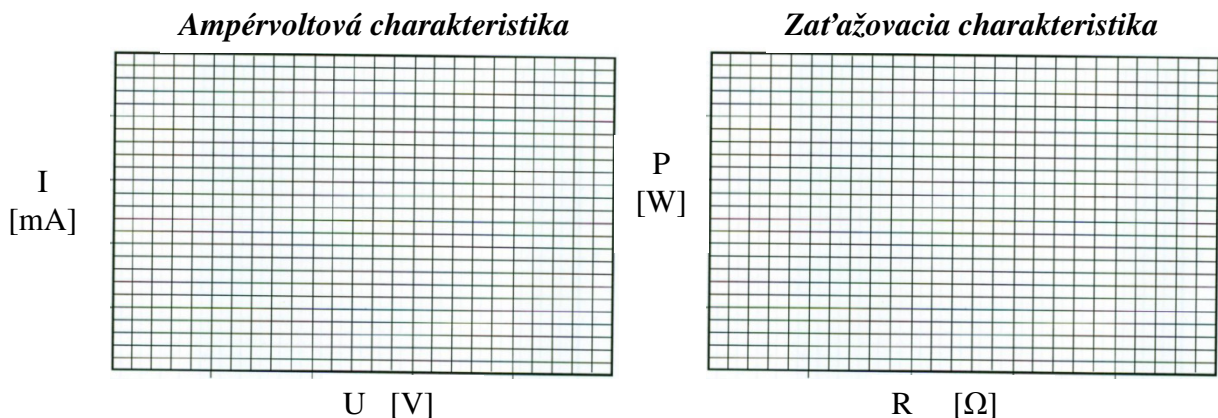
Postup:

1. Jeden multimeter nastavte do funkcie voltmetra a druhý do funkcie ampérmetra. Pripojte ampérmetre, voltmeter aj zaťažovací rezistor k solárnemu článku podľa schémy zapojenia. Potenciometer nastavte na hodnotu 450 Ω . Odmerajte napätie a prúd a hodnoty zapíšte do tabuľky.
2. Vypočítajte výkon solárneho článku a hodnotu zapíšte do tabuľky.
3. Postupne meňte hodnoty potenciometra od 400 Ω do 50 Ω a opakujte merania (kroky 1 a 2).
4. Zakreslite ampérvoltovú charakteristiku na základe získaných hodnôt napätia a prúdu.
5. Zakreslite zaťažovaciu charakteristiku ako závislosť výkonu od odporu.

Tabuľka:

Zaťaž [Ω]	450	400	350	300	250	200	150	100	50
Napätie [V]									
Prúd [mA]									
Výkon [W]									

Grafy:



Úlohy:

1. Na zaťažovacej charakteristike určte maximum a odčítajte zodpovedajúcu hodnotu odporu, čo zodpovedá hodnote tzv. vnútorného odporu zdroja. Aký vnútorný odpor má solárny článok?
2. Načrtnite, ako by ste zapojili solárne články, pokiaľ by ste chceli získať:
 - a) väčší prúd
 - b) vyššie napätie

Experimentálne overovanie charakteristík Grätzelových článkov pre rôzne farbivá

Experimental verification of Graetzel cells characteristics for different dyes

Marek Žúdel

Stredná priemyselná škola dopravná, Hlavná 113, Košice

Grätzelove články patria medzi organické solárne články pracujúce na princípe umelej fotosyntézy. V projekte boli experimentálne overované elektrické vlastnosti Grätzelových článkov pri použití štyroch druhov organických farbív – ibišteka, čierneho čaju, brusnicovej šťavy a kurkumy. Na základe meraní boli preukázané najlepšie výsledky pri použití červených farbív. Taktiež bolo poukázané na schopnosť produkovať napätie aj pri zmenách uhla dopadajúceho osvetlenia, pri výraznej zmene intenzity osvetlenia, ako aj pri použití rôznych farieb osvetlenia.



http://img.mbacuhozeofskrajgacskrtka_imgpac80110202046-122

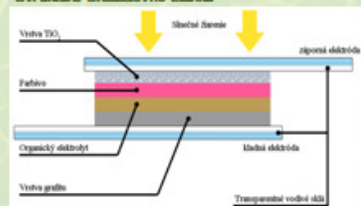
Úvod

Rozmach využívania nanotechnológií v posledných rokoch ovplyvnil aj oblasť energetiky. Nové prístupy a materiály umožnili efektívnejšie využívanie obnoviteľných zdrojov energie. Solárne články v súčasnosti tvoria súčasť mnohých zariadení, energetická politika mnohých štátov sa obracia ku využívaniu zelenej energie a finančným dotáciám do tejto oblasti. V rámci projektu **NANOYOU**, do ktorého bola naša škola zapojená ako pilotná škola, sme mali možnosť dozvedieť sa o organických solárnych článkoch a experimentálne overiť ich vlastnosti. Tento projekt poskytuje základný prehľad o štruktúre a princípe činnosti Grätzelových článkov a výsledkoch experimentálneho overovania ich vlastností pri použití rôznych druhov organických farbív.

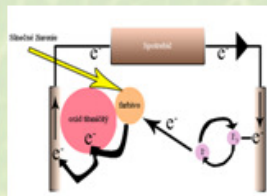
Materiály a metodika

Grätzelov článok (nazývaný aj **Dye-Sensitized Solar Cell** DSSC) bol vynájdený skupinou profesora Michaela Grätzela vo Švajčiarsku v roku 1991. Ide o kombináciu molekúl farbív slúžiacich na zachytávanie svetla a nanočastíc oxidu titaničitého v úlohe polovodiča. Jav, ktorý sa v ňom odohráva, bol pomenovaný **„umeľá fotosyntéza“**. Tento termín je akýmsi synonymom pre technológiu na základe DSSC, teda organického článku. Prírodný list je nahradený pórovitou vrstvou oxidu titaničitého a chlorofyl vrstvou farbiva.

Štruktúra Grätzelovho článku



Princíp činnosti



Molekula farbiva absorbuje časť svetla (fotón). Energia obsiahnutá v tomto fotóne je prenesená na jeden elektrón v molekule farbiva. Na základe tohto prenosu sa elektrón stane mobilným a má dostatok energie, aby opustil svoje pevné väzby. Elektrón disponuje takou energiou, že je schopný prejsť vrstvou TiO_2 až k spotrebiču.

Článok je vlastne zdroj jednosmerného prúdu a rovnako ako pri akumulátore sa pri ňom vyžaduje uzavretý okruh. To znamená že sa elektróny po odozdaní svojej energie spotrebiču musia vrátiť späť na miesto, kde boli uvoľnené. Na to slúži kladná elektróda, ktorá absorbuje elektróny zo spotrebiča. Tie sa následne vrátia na pôvodné miesto cez vrstvu elektrolytu do molekúl farbiva, ktorým chýba elektrón. Kladná elektróda absorbuje elektróny a presúva ich do iónov v elektrolyte. Na účinnejší prenos elektrónov sa používa katalyzátor. Katalyzátor je vrstva grafitu, napríklad z ceruzky nanesená na vodivej vrstve kladnej elektródy. Nabité ióny prenesú elektróny cez elektrolyt až kým sa nestretnú s molekulami farbiva, ktorým chýba elektrón. Elektrón je potom prenesený z iónu do molekuly farbiva. Týmto sa uzavrie okruh a farbivo je schopné zopakovať proces výroby energie.

Nanovrstva TiO_2

Charakterizácia vrstvy TiO_2 bola vykonaná pomocou STM v nanolaboratóriu UEF SAV v Košiciach pri rozlíšení 600nm, 1µm a 5µm:



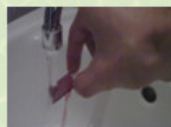
Výroba článkov



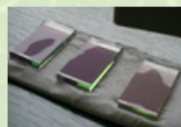
Negatívne elektródy (pokryté nanovrstvou TiO_2) sa ponoria do organického farbiva. Pre experimenty boli použité farbivá získané z ibišteka, čierneho čaju (I), brusnicovej šťavy (II) a kurkumy (IV).



Elektródy sa vyberú po 10 minútach z roztokov.



Elektródy sa opláchnu pod prúdom studenej vody.



Následne sa elektródy nechajú vyschnúť, majú sa nechať buď voľne alebo sa použije fén so studeným vzduchom.



Nanesie sa vrstva grafitu na kladnú elektródu mäkkou ceruzkou.



Obidve elektródy sa spoja jodidovým elektrolytom. Články sú pripravené na použitie.

Výsledky

Na overenie funkčnosti článkov bolo použité meranie výstupného napätia článkov v stave naprázdno pri osvetlení 50000 luxov. V rámci experimentov boli zvolené porovnávacie merania štyroch Grätzelových článkov s rôznymi organickými farbivami: **ibištekový čaj (I)**, **čierny čaj (II)**, **brusnicová šťava (III)**, **kurkuma (IV)**.

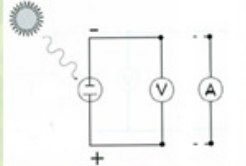
Maximálny výkon na jednotku plochy

Maximálny výkon na jednotku plochy P_{MAXIS} bol určený podľa vzťahu

$$P_{MAXIS} = \frac{U_0 \cdot I_K}{S}$$

kože

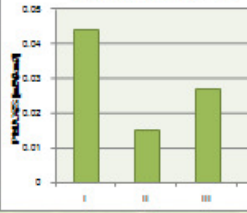
U_0 je výstupné napätie v stave naprázdno
 I_K je výstupný prúd v stave nakrátko
 S je osvetlená plocha článku



Meraním maximálneho výkonu na jednotku plochy P_{MAXIS} boli získané hodnoty uvedené v tabuľke. Porovnaním získaných hodnôt bolo zistené, že najlepšie výsledky dávajú články s obsahom červeného farbiva – ibištekový (I) a brusnicový (III).

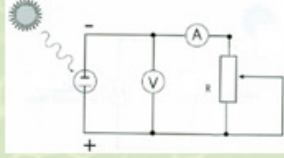
Článok	I	II	III	IV
U_0 [V]	0,432	0,492	0,354	0,49
I_K [mA]	0,81	0,2	0,46	0,12
P_{MAXIS} [mW]	0,28772	0,0916	0,16234	0,0588
S [cm ²]	6	6	6	6
P_{MAXIS} [mW/cm ²]	0,047952	0,0152	0,02714	0,0098

Jednotkový výkon na plochu

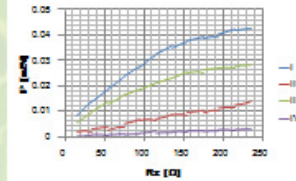


Zaťažovacie charakteristiky článkov

Zaťažovacie charakteristiky $P - R_L$ článkov boli získané meraním napätia a prúdu pri postupnom zaťažovaní odporom 16 až 236Ω pri osvetlení 60000 lx.



Zaťažovacie charakteristiky

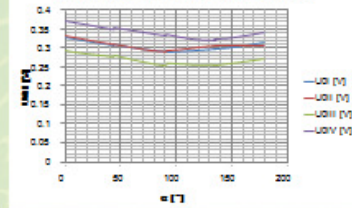


Závislosť výstupného napätia článkov od uhla natočenia

Pri meraní výstupného napätia v závislosti od uhla dopadajúceho osvetlenia bolo sledované správanie listov rastlín pri ich nastáčení v procese rastu. Výsledky poukazujú na pokles napätia v závislosti od natočenia článku v priemere o 11,8%. Zároveň bola preukázaná schopnosť produkovať výstupné napätie aj pri úplnom otočení článku o 180° s poklesom napätia max. o 9%.

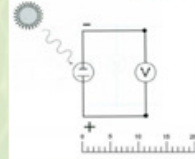
uhel dopadajúceho svetla α [°]	0	45	90	135	180	max. pokles napätia	max. pokles napätia pri úplnom otočení
U_0 [V]	0,33	0,308	0,294	0,285	0,318	10,9%	4%
U_{90} [V]	0,335	0,312	0,297	0,308	0,31	11,3%	7%
U_{45} [V]	0,381	0,379	0,363	0,357	0,372	11,7%	7%
U_{135} [V]	0,375	0,368	0,336	0,324	0,342	13,6%	9%

Závislosť napätia od uhla dopadajúceho svetla

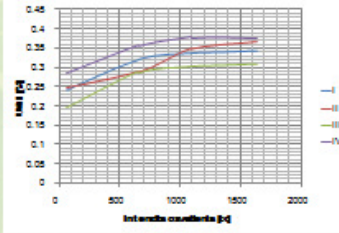


Závislosť výstupného napätia článkov od rôznej intenzity osvetlenia

Závislosť výstupného napätia článkov od rôznej intenzity osvetlenia bola zistená meraniami pri postupnom vyzlevení článku od zdroja osvetlenia. Získané osvetľovacie charakteristiky poukazujú na schopnosť článkov produkovať výstupné napätie aj pri výrazne nižšom osvetlení, pričom najlepšie výsledky boli získané pri použití kurkumy (IV), pričom už pri osvetlení 600 lx dosahuje výstupné napätie viac ako 76% hodnoty napätia získaného pri osvetlení 60000 lx.



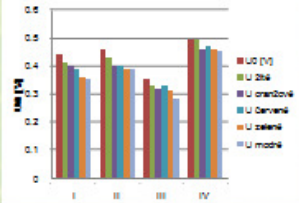
Závislosť napätia na intenzite osvetlenia



Vplyv farby osvetlenia na výstupné napätie článku

Vplyv farby osvetlenia na výstupné napätie článku bol zistený pri použití červeného, zeleného, žltého, oranžového a modrého filtra pri osvetlení 50000 lx. Pri použití rôznych farieb svetla bolo zistené, že najlepšie výsledky dávajú články pri žltom, oranžovom a červenom svetle, čo má súvisieť s použitými farbivami (s prevahou červenej a žltej farby). Najmenšiu citlivosť na zmenu farby osvetlenia vyznačovali články s kurkumou (IV), kde došlo k poklesu výstupného napätia len v priemere o 6%.

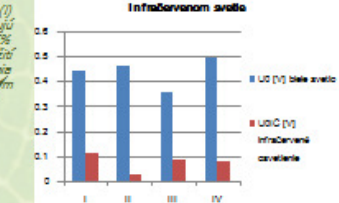
Citlivosť na farebné osvetlenie



Vplyv infračerveného žiarenia na výstupné napätie článku

Meranie pri infračervenom svetle preukázalo, že články s prevahou červeného farbiva – ibištekový (I) a brusnicový (III) – vyznačujú schopnosť produkovať 26% výstupného napätia aj pri použití len infračerveného osvetlenia v porovnaní s osvetlením bielym svetlom (60000lx).

Pokles výstupného napätia pri infračervenom svetle



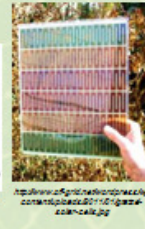
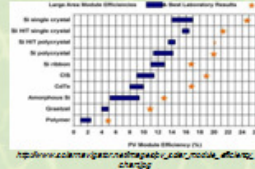
Záver

Experimentálne zistené výsledky poukazujú na vplyv použitej farby na správanie a charakteristiky Grätzelových článkov, pričom najlepšie výsledky boli zistené pri použití červených farbív, aj keď najvyššie napätie bolo získané pri použití kurkumy, avšak s nízkym výkonom. V rámci meraní neboli ešte posúdené ďalšie možnosti, napr. použitie kombinácie farieb s možnosťou získania článku s kombináciou výhodných vlastností zistených pri použití jednotlivých farieb alebo nebola vyšetrovaná celá spektrálna citlivosť článkov. Na základe získaných informácií možno zhrnúť, že Grätzelove články, resp. ďalšie organické solárne články, napriek svojej nižšej výkonnosti predstavujú do budúcnosti potenciálnu alternatívu k tradičným kremíkovým článkom, najmä kvôli ich jednoduchej výrobe, ekologickej odbúrateľnosti, možnosti použitia priehľadných materiálov a nízkym nákladom.

Použitá literatúra

<http://www.researchgate.net/publication/272610493>
<http://www.researchgate.net/publication/272610493>
<http://www.researchgate.net/publication/272610493>
<http://www.researchgate.net/publication/272610493>
<http://www.researchgate.net/publication/272610493>
<http://www.researchgate.net/publication/272610493>
<http://www.researchgate.net/publication/272610493>
<http://www.researchgate.net/publication/272610493>
<http://www.researchgate.net/publication/272610493>
<http://www.researchgate.net/publication/272610493>

Výkonnosť solárnych článkov



Práca vznikla s finančným príspevkom T. Máčového programu EÚ v rámci plánovanej práce.

NANO ROU