
Fizika u solarnim ćelijama

Slavica Bernatović

Tehnička škola, Slavonski Brod

Sažetak. Primjena solarnih ćelija dobar je primjer kako razvoj znanosti može doprinijeti razumnom poboljšanju energetske stanja. Kroz temu Fizika u solarnim ćelijama prikazujem znanstvenu metodu kroz koju se ostvaruje nastavni proces. Nastavni sat obuhvaća nekoliko faza. Najprije se otvori problemska situacija i formulira istraživačko pitanje. Slijedi proučavanje fizikalnih zakonitosti u stvarnim uvjetima uporabom nastavnih pomagala potrebnih za mjerenje varijabilnih fizikalnih veličina. Izmjereni podaci se uspoređuju i prikazuju tablično i/ili grafički. Konačno, izvodi se zaključak, tj. daje odgovor na istraživačko pitanje. U našem slučaju mjere se vrijednosti struje i napona na dvije solarne ćelije zasebno, a potom za njihov serijski i paralelni spoj. Taj postupak se primjenjuje za različite nagibe solarnih ćelija. Iz podataka mjerenja, određuje se kut nagiba ćelije u odnosu na upadno zračenje, za koji su mjerene vrijednosti optimalne.

Gljučne riječi: svjetlosna energija, solarne ćelije, jakost i napon struje, kut upadnog zračenja.

UVOD

Solarne ćelije je moguće razmatrati sa različitih aspekata. Na primjer, moguće je govoriti o ćelijama prema vrsti materijala od kojih su načinjene, ili recimo prikazati detaljno fizikalni proces i zakonitosti koji se zbivaju pri njihovom osvjetljenju, tj. s aspekta fotoelektričnog efekta. Konačni rezultat primjene i uporabe solarnih ćelija proizlazi iz fizikalnih procesa koji se zbivaju unutar ćelije, zato za naslov ove teme stavljam "Fizika u solarnim ćelijama". Osnovni cilj ovoga rada je posredno prikazati važnost fizike pri korištenju novih tehnologija, sa svrhom efikasnije uporabe obnovljivih izvora energije, i potaknuti njihovo unaprjeđenje i efikasnost. Tijekom nastavnog sata, razvijanjem znanstvene metode kroz nastavni proces, kod učenika se, na njima zanimljiv način, uz nova znanja, razvija i potiče motivacija za STEM područje.

SUNCE, IZVOR ENERGIJE

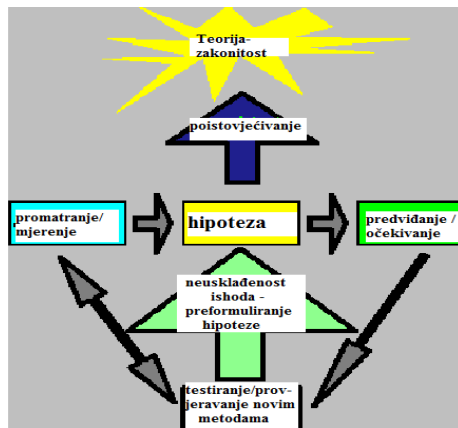
Svi možemo potvrditi ogromnu važnost energije, iz neobnovljivih i obnovljivih izvora. Naročito u današnjem svijetu. Energetski stručnjaci navode najveći doprinos i iskoristivost energije u budućnosti, od ugljena, nafte i plina. Osim neobnovljivih, i obnovljivi izvori nam pružaju svoj doprinos. Znamo, mi fizičari naročito, vrlo važan izvor energije je naše Sunce. Nuklearni procesi na Suncu su ogroman izvor energije. Znanstvenici istražuju u laboratorijima, s ciljem dobivanja takvih procesa. No, pri tim istraživanjima, za sada, uložena energija je veća od proizvedene [1].



SLIKA 1. Sunce – nuklearni procesi na Suncu kao obnovljivi izvor energije. (slika preuzeta s <https://www.google.hr/search?q=suncehubblesite>[1].).

Faze znanstvene metode

Na slici 2. prikazani su koraci razvijanja znanstvene metode, koja se sastoji od nekoliko faza. Naš rad počinje otvaranjem pitanja, dakle, stvaranjem problemske situacije za odabrani proces. Pitanje sa karakteristikama znanstvenog, počinje sa: Kako, Što, Kada, Tko, Čiji, Zašto, ili Gdje? Pitanje sadrži bar jednu varijablu koja je promjenljiva, i bar jednu varijablu koja je mjerljiva u eksperimentu. Nakon formuliranja problemske situacije i postavljanja hipoteze, izvode se opažanja i/ili mjerenja. Na postavljenu hipotezu može se postaviti predviđanje koje je moguće preispitati/testirati. Nakon što se predviđanje poistovjeti sa hipotezom, i nakon što je opažanjem potvrđeno, te ako je konzistentno i ponavlja se, imamo opće važeću zakonitost, tj. teoriju. Ako rezultati u testiranju ne pokazuju usklađenost sa hipotezom, hipoteza se mora preformulirati.



SLIKA 2. Faze znanstvene metode. (slika preuzeta s <http://physics.ucr.edu/>[2].)

SLIKA 2. Faze znanstvene metode. (slika preuzeta s <http://physics.ucr.edu/>[2].)

Formuliranje problemske situacije – Pitanje

Za odabrani primjer solarnih ćelija, prikladna i motivirajuća pitanja, jednostavno je formulirati. Polazeći kroz proces razmatranja osvijetljene solarne ćelije, problemske situacije mogu biti otvorene slijedećim upitima. Što se uočava kada osvijetlimo fotonaponsku ćeliju? Što se dogodi ako se promijeni izvor osvijetljenja? Kako utječe kut pod kojim je osvijetljena fotonaponska ćelija, na iznos napona? Kako utječu na konačni napon, dvije serijski spojene i osvijetljene fotonaponske ćelije? Kako utječu dvije paralelno spojene, osvijetljene fotonaponske ćelije, na konačni napon?

Priprema: Osmisliti pokus i razumjeti korake.

U dijelu pripreme za izvedbu mjerenja moramo znati koliko nam je vremena potrebno za pokus, imamo li potreban materijal i pribor za pokus? Važno je dogovoriti je li svaki član sudjeluje u izvedbi svakog pojedinog koraka problemske situacije, ili se koraci raspodjeljuju na članove. Na slici 3. se uočava zabilježeni trenutak u fazi pripreme (učenika). Našim učenicima je izuzetno prihvatljiv korak dogovaranja.

U fizici promatramo mjerljive veličine, stoga je značajno razmotriti je li moguće promatrati veličine i vrijednosti u pokusu u dostupnim okolnostima i okruženju? Konačno, razmisliti poštujte li se pravila i zahtjevi znanosti u pokusu?



SLIKA 3. Priprema, priprema, priprema

Definirati hipotezu – pretpostavku

Hipoteza je pokušaj davanja odgovora na postavljeno pitanje, s obrazloženjem koje može biti provjereno. I hipoteza i predviđeni rezultat(i) podliježu provjeri, ispitivanju. Sva naša predviđanja moraju biti lako mjerljiva, a što je vrlo važno u provedbi nastavnog procesa. Hipoteza vodi jednom ili više predviđanja, koje je moguće provjeriti pokusom, dakle testirati (slika 2. prikazuje povezanost hipoteze i predviđanja). Za primjer *Fizika u solarnim ćelijama*, moguće je postaviti nekoliko hipoteza.

Osvijetljena fotonaponska pločica postaje izvor napona.

S promjenom izvora osvijetljenja, mijenja se vrijednost napona.

Kut pod kojim zračenje-svjetlo upada na plohu-ćeliju utječe na vrijednost napona.

Serijski spojene solarne ćelije utječu na konačnu vrijednost napona.

Paralelno spojene solarne ćelije utječu na konačni ishod napona.

Eksperimentalno istražiti. Je li sigurno pokus izvesti - izvoditi?

“Ako se ne može promatrati ili mjeriti rezultate svoga pokusa, nema znanstvene metode!”, [5]. Moramo kontrolirati čimbenike koji utječu na pokus, tako da se može provesti prihvatljiv test. U prihvatljivom testu promjenljiva je samo jedna varijabla, a ostale uvjete držimo stalnim. Modeli solarnih ćelija su dobar primjer u kojemu se znanstvena metoda jednostavno i zanimljivo primijeni. Slike 4.- 7. jasno pokazuju mogućnosti praćenja i mjerenja promatranih i promjenljivih veličina, struje kratkog spoja i napona praznog hoda, osnovnih parametara fotonaponskih ćelija, koji su pokazatelj učinkovitosti ćelije. Napon praznog hoda je maksimalni napon (elektromotorni napon) koji se mjeri kada je strujni krug otvoren. Struja kratkog spoja je maksimalna struja, bez vanjskog otpora. [3,4].

Slika 4. prikazuje mjerenje struje kratkog spoja ćelije osvijetljene sunčevom svjetlošću. Za promatrani trenutak, izmjerena vrijednost iznosi 109,3 mA. Mjerenje struje kratkog spoja za dvije, serijski spojene ćelije, samo uz difuzno osvijetljenje, pokazuje vrijednost 4 mA, prikazano na slici 5.



SLIKA 4. Mjerenje struje kratkog spoja za pojedinačnu solarnu ćeliju, obasjanu sunčevim svjetlom.



SLIKA 5. Mjerenje struje kratkog spoja za serijski spojene solarne ćelije, bez rasvjete.



SLIKA 6. Mjerenje struje kratkog spoja za paralelno spojene solarne ćelije, bez rasvjete.



SLIKA 7. Mjerenje napona praznog hoda za serijski spojene solarne ćelije, uz sunčevo svjetlo.

Fazu izvođenja mjerenja–eksperimenta, upotpunjujemo s mjerljivim vrijednostima struje kratkog spoja i napona praznog hoda, za različite vrste osvjetljenja, i različite načine spoja ćelija. Neke od navedenih izvedbi uočavaju se na slici 6. i slici 7.

Analiziranje rezultata mjerenja

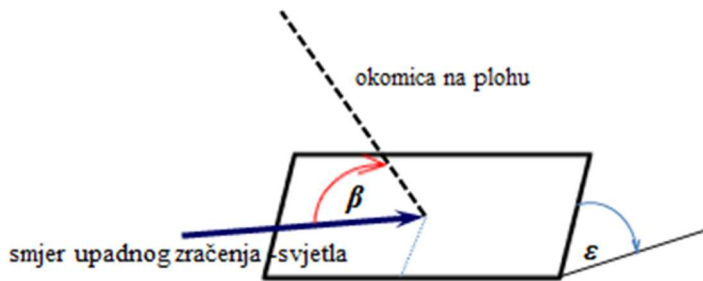
Izuzetno značajna faza znanstvene metode, analiziranje rezultata mjerenja, zahtijeva predočenje podatka mjerenja, na lako uočljiv i razumljiv način, kao npr. tablično. U tablici 1. prikazane su vrijednosti napona praznog hoda za svaku solarnu ćeliju pojedinačno, za različite vrste upadnog svjetla. Podaci prikazani u ovoj tablici su prikupljeni kako bi poslužili kao pokazatelj različitih utjecaja trenutačnog upadnog osvjetljenja. Očita je razlika utjecaja svjetlosti led i halogene žarulje, i međusobno u odnosu na sunčevu svjetlost. Za izbijanje slobodnih elektrona iz ćelija, se utroši dio energije upadnog zračenja-svjetlosti. Preostali dio predstavlja kinetičku energiju fotoelektrona. Kada je taj preostali dio energije veći, na što utječe vrsta upadnog svjetla, veća je vrijednost izmjenjenog napona.

TABLICA 1. Izmjerene vrijednosti u ovisnosti o vrsti upadnog svjetla na ćeliju horizontalno položenu.

	Ćelija 1	Ćelija 2
Sunčevo svjetlo	U = 0,51V	U = 0,49V
Halogena žarulja	U = 0,40V	U = 0,39V
Led žarulja	U = 0,32V	U = 0,29V

Energija dozračena na vrhu atmosfere, na bilo koju kosu plohu, na koju Sunčeve zrake padaju pod kutom β , računa se analogijom prema relaciji (1). U relaciji (1), i_β označava intenzitet upadnog zračenja na plohu pod kutom β , veličina i_0 označava maksimalnu vrijednost upadnog zračenja koja bi obasjavala plohu postavljenu okomito na upadne zrake. [5].

$$i_\beta = i_0 \cdot \cos \beta \tag{1}$$



SLIKA 8. Obasjavanje kose plohe Sunčevim zrakama pod upadnim kutom β .

U tablici 2. prikazane su vrijednosti napona praznog hoda i struje kratkog spoja za jednu promatrane solarnu ćeliju, za horizontalno ($\beta = 0^\circ$) položenu ćeliju i plohu pod kutom 45° .

TABLICA 2. Izmjerene vrijednosti u ovisnosti o kutu po kojim svjetlost upada, za paralelno spojene ćelije.

	$\beta = 0^\circ$	$\beta = 45^\circ$
Sunčevo svjetlo	U = 0,46V, I = 40mA	U = 0,48V, I = 55,1mA
Halogena žarulja	U = 0,41V, I = 6,1mA	U = 0,47V, I = 28,2mA
Led žarulja	U = 0,37V, I = 5,5mA	U = 0,44V, I = 13,1mA

U tablici 3. prikazane su vrijednosti napona praznog hoda i struje kratkog spoja za serijski i paralelno spojene dvije solarne ćelije.

TABLICA 3. Izmjerene vrijednosti u ovisnosti o vrsti spajanja dviju ćelija.

Za ravnu plohu	Serijski spoj	Paralelni spoj
Sunčevo svjetlo	U = 0,91V, I = 5,7mA	U = 0,46V, I = 40mA
Halogena žarulja	U = 0,81V, I = 4,0mA	U = 0,41V, I = 6,1mA
Led žarulja	U = 0,75V, I = 2,7 mA	U = 0,37V, I = 5,5mA

ZAKLJUČAK

Korisnost fizikalnih procesa i primjena fizikalnih zakonitosti, najočitija je iz stvarnih, izmjerenih podataka.

Najveće izmjerene vrijednosti napona i struje su dobivene od sunčevog svjetla, manje su od halogene, a najmanje od led žarulje. Dakle, vrsta svjetlosti kojom je obasjana ćelija, utječe na vrijednosti struje kratkog spoja i napona praznog hoda. Fizika to objašnjava kao različitost energije upadnog zračenja (svjetlosti).

Usporedbom podataka pokazuje se da je optimalni kut postavljanja plohe približno 45° , odnosno u slučaju kada svjetlost upada okomito na plohu. Za naša područja (područja Republike Hrvatske), kut nagiba plohe u odnosu na horizontalnu ravninu tla, ovisi o lokalitetu. Točnije bitan je geografski položaj lokaliteta.

Moguća usporedba, vrlo očitih razlika vrijednosti struje kratkog spoja je prikazana na slikama 4. - 6., gdje se uočava trenutno izmjerena vrijednost struje od 109,3 mA uz sunčevu svjetlost za jednu ćeliju. Ćelije bez rasvjete i djelomično zamračenom prostoru, za paralelno

spojene dvije ćelije struja iznosi 7,9 mA, dočim je pri njihovom serijskom spoju vrijednost 4,0 mA.

Prethodno prikazani podaci mjerenja, dobar su primjer velikog značaja i doprinosa ovoga znanstvenog područja za napredak i razvoj civilizacije, naročito novoga vremena. Preispitivanje vlastitih zaključaka je pokretač daljnjeg razvijanja i unaprjeđenja. Imajmo na umu da "sumnja obrazuje". "Sunce nam je dostupno, bar još nekoliko milijardi godina", [8].

Kod solarnih ćelija, sve što mi možemo poboljšati je unaprijediti materijale od kojih su one načinjene. Umjesto opširnijeg zaključka, pogledajmo video – klip, i neka nas potakne na razmišljanje.

ZAHVALA

Korišteni uređaji i nastavna pomagala pripadaju Tehničkoj školi Slavonski Brod. Najljepše i najsrdačnije zahvaljujem za dostupnost nastavnih pomagala, i kolegijalnu susretljivost. Također, najljubaznije zahvaljujem recenzentima, za njihove sugestije i adekvatno razumijevanje.

LITERATURA

1. Video isječak - www.dw.com/en/what-makes-the-sun-shine/av-37125750 (14.3.2017.)
2. What is the Scientific Method, URL: www.sciencebuddies.org/science-fair-projects/project_scientific_method.shtml (14.3.2017.)
3. LJ. Majdandžić, *Upravljanje solarnim sustavima i led rasvjetom*, Tehnička škola Sl. Brod, 2011.
4. S. Arsoski, *Upravljanje solarnim sustavima i led rasvjetom-mapa*, Tehnička škola Sl. Brod, 2011.
5. S. Bernatović, *Kratkoperiodične promjene sunčevog zračenja*, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb 1999.
6. What is the "scientific method" URL: http://physics.ucr.edu/~wudka/Physics7/Notes_node6.html (14.3.2017.)
7. Stephen E. Lucas, *Umijeće javnog govora*, MATE, Zagreb 2015.
8. Video isječak - afw20161124_solar_sd_dwdownload.mp4