



EDUKACIJSKI KIT ZA UPORABU ENERGIJE SUNCA



Društvo za oblikovanje održivog razvoja

Unska 3, 10000 Zagreb

Tel: 01/6129 986, fax: 01/6129 890

www.door.hr

info@door.hr

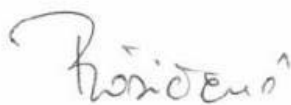
Autor: dr.sc. Maja Božičević Vrhovčak, dipl.ing.

Predgovor

Društvo za oblikovanje održivog razvoja (DOOR) je udruga čija je misija promocija održivog razvoja, prvenstveno na području energetike. Na tom području DOOR surađuje s tvrtkom Holcim Hrvatska još od 2004. godine, a ova skripta dio je projekta pod nazivom „Edukacijski kit za korištenje sunčeve energije“, prihvaćenog na Holcimovom natječaju za udruge 2007. godine. U sklopu projekta Srednjoj školi Mate Blažine u Labinu donirana je oprema za izvođenje vježbi i pokusa unutar teme „Pretvorbe energije sunčeva zračenja u električnu i toplinsku energiju“.

Skripta je namijenjena nastavnicima, kao podsjetnik na fizikalnu pozadinu pretvorbe sunčeva zračenja, upoznavanje s tehničkim karakteristikama donirane opreme i temelj za osmišljavanje vježbi i pokusa. Nadamo se da će oprema biti u redovitoj uporabi, da će učenici ovladati ovim zanimljivim područjem i da će za nekoliko godina broj osmišljenih pokusa i vježbi višestruko nadmašiti onaj na kraju skripte.

Otvoreni smo za sva pitanja, kritike i pohvale, a vaši komentari služit će nam kao smjernica u budućem radu!



Dr.sc. Maja Božičević Vrhovčak
Predsjednica DOOR-a

Sadržaj

<u>1.</u>	<u>UVOD</u>	<u>3</u>
<u>2.</u>	<u>ENERGIJA SUNČEVA ZRAČENJA</u>	<u>4</u>
<u>3.</u>	<u>DOBIVANJE ELEKTRIČNE ENERGIJE POMOĆU SUNCA</u>	<u>7</u>
<u>4.</u>	<u>UPORABA ENERGIJE SUNCA ZA GRIJANJE</u>	<u>11</u>
<u>5.</u>	<u>OPREMA U SREDNJOJ ŠKOLI MATE BLAŽINE</u>	<u>16</u>
<u>6.</u>	<u>VJEŽBE I POKUSI</u>	<u>19</u>
<u>7.</u>	<u>LITERATURA</u>	<u>40</u>

1. Uvod

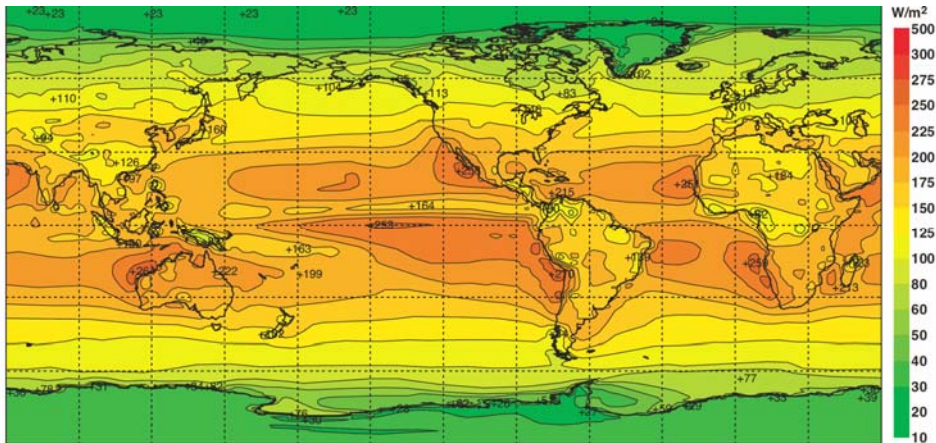
Nagli porast potreba za energijom na globalnoj razini, kao i utjecaj koji se time vrši na okoliš i društvo u cjelini, dovodi do potrebe preispitivanja uloge danas dominantnih fosilnih goriva. Zato se sve više pozornosti posvećuje obnovljivim izvorima energije – izvorima energije koji su očuvani u prirodi i obnavljaju se u cijelosti ili djelomično. To su energija vode, vjetra, biomase, sunčeva zračenja i geotermalna energija.

Energija iz obnovljivih izvora energije danas je još uvijek skuplja od energije dobivene iz tzv. konvencionalnih izvora energije – fosilnog ili nuklearnog goriva. Ipak, ona ima brojne prednosti – smanjenje utjecaja energetskega sektora na okoliš, dostupnost, otvaranje novih radnih mjesta i razvoj lokalnog gospodarstva. Zbog toga uporaba obnovljivih izvora energije predstavlja održivu energetska opciju pa je, uz energetska učinkovitost i čistiju proizvodnju, jedan od tri stupa na kojima počiva održivi razvoj energetike.

Ova skripta sastoji se od šest dijelova. U prvom dijelu dani su osnovni fizikalni pojmovi vezani uz sunčevo zračenje. Drugi dio prikazuje kako se iz energije sunca dobiva električna energija, dok se u trećem dijelu opisuje kako se energija sunčeva zračenja pretvara u toplinska energija. Četvrti dio prikazuje opremu doniranu školi Mate Blažine u sklopu projekta „Edukacijski kit za korištenje sunčeve energije“, a peti dio navodi primjere pokusa i vježbi za čija je provedba oprema namijenjena. U posljednjem – šestom – poglavlju navedena je literatura koju preporučamo za detaljnije upoznavanje sa značajkama sunčeva zračenja i načinima njegove uporabe.

2. Energija sunčeva zračenja

Sunce, odnosno sunčevo zračenje koje dopire do Zemlje, glavni je izvor energije i života na našem planetu. Jačina tog zračenja razlikuje se ovisno o zemljopisnom položaju, klimatskim uvjetima, dobu godine, dana itd. Snagu sunčeva zračenja na karti svijeta prikazuje Slika 1.



Slika 1 Insolacijska karta svijeta

Sunčevo zračenje je elektromagnetsko zračenje, a osnovni pojmovi vezani uz njega su:

- energija zračenja, koja se označava slovom Q , a izražava jedinicom (J), odnosno (Wh), a to je energija koja se zračenjem širi kroz prostor.
- tok zračenja, koji je definiran izrazom:

$$\Phi = \frac{dQ}{dt}$$

- gustoća energetskog toka (ozračenje), koje predstavlja energetski tok koji upada na određenu površinu, a definirano je izrazom:

$$G = \frac{d\Phi}{dA}$$

i izražava se jedinicom (W/m^2). Ukupno ozračenje neke plohe je zbroj direktnog, difuznog i reflektiranog ozračenja.

- ozračenost, koja predstavlja površinsku gustoću energije koja u razmatranom vremenu upada na jedinicu površine neke plohe, a dobije se integriranjem ozračenja po vremenu:

$$H = \int_{t_1}^{t_2} G dt$$

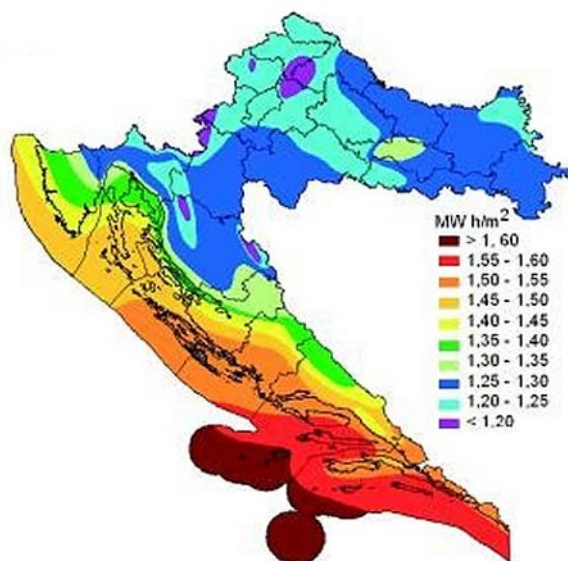
s jedinicom (J/m^2).

Jedan od bitnih parametara pri proračunu sunčeva zračenja je ekstraterestričko zračenje, a to je zračenje na ulasku u Zemljinu atmosferu. Ono se mijenja tokom godine jer se mijenja udaljenost Zemlje od Sunca, a srednja je vrijednost toga zračenja poznata pod nazivom solarna konstanta i iznosi $E_0 = 1353 \text{ W}/\text{m}^2$. Solarna se konstanta definira kao tok sunčeva zračenja kroz jediničnu površinu okomitu na smjer sunčevih zraka na srednjoj udaljenosti Zemlje od Sunca.

Ono što nas za praktičnu primjenu više zanima je prizemno sunčevo zračenje, odnosno ono koje kroz atmosferu doprije do površine Zemlje. Ono je, naravno, slabije nego ekstraterestričko, jer se na putu kroz atmosferu izgubi od 25 do čak 50% energije zbog raspršenja i apsorpcije. Ukupna ozračenost uvelike ovisi o trajanju insolacije (sijanja Sunca), koje se mjeri heliografom. Trajanje insolacije, pak, jako ovisi o

godišnjem dobu – primjerice, u Zagrebu je ukupno mjesečno trajanje insolacije u srpnju oko 5,5 puta duže nego u siječnju (270 sati u srpnju, a samo oko 50 sunčanih sati u siječnju).

Jako dobar pokazatelj gdje se uporaba energije sunca isplati su karte ozračenosti, koje pokazuju kolika je ozračenost neke površine na Zemlji. Tako se, prema karti ozračenosti Hrvatske (Slika 2), može vidjeti da je najveća ozračenost na jugu Hrvatske, odnosno u priobalnom pojasu.



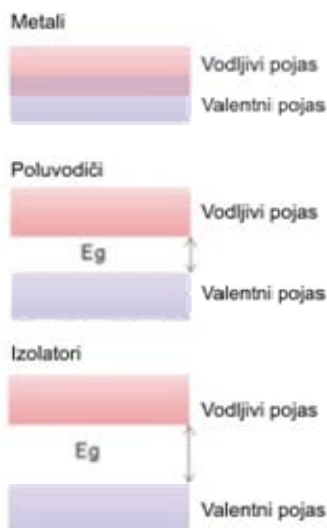
Slika 2 Karta ozračenosti Hrvatske

Osnovni problemi povezani s uporabom energije sunca su mala gustoća energetskega toka, velike oscilacije intenziteta zračenja i veliki investicijski troškovi.

3. Dobivanje električne energije pomoću sunca

Pretvorba energije sunčeva zračenja u električnu energiju može biti izravna i neizravna. Neizravna pretvorba koristi se u tzv. sunčevim termoelektranama, u kojima se energija sunčeva zračenja koristi za zagrijavanje radnog fluida, čije strujanje pokreće električni generator koji proizvodi električnu energiju. Izravna pretvorba temelji se na fotonaponskom efektu. Nas zanima izravna pretvorba sunčeve u električnu energiju koja se ostvaruje pomoću sunčevih panela. Sunčevi paneli sastavljeni su od sunčevih ćelija izrađenih od poluvodiča.

Poluvodič, kao što samo ime kaže je „nešto između“ vodiča i izolatora (ne-vodiča). Razliku između te tri vrste prikazuje Slika 3.



Slika 3 Vodiči, poluvodiči i izolatori

posebno pobuđivati, pa zato oni stalno vode.

U poluvodiču u stanju „mirovanja“ elektroni se nalaze u valentnom pojasu i neutralizirani su, tj. ne vode struju. Ako te elektrone pobudimo

Svi se materijali sastoje od valentnog pojasa i vodljivog pojasa, pa tako i vodiči, izolatori i poluvodiči. Razlika je u tome što izolatori i poluvodiči imaju i tzv. zabranjeni pojas koji se nalazi između vodljivog i valentnog pojasa. Kod izolatora zabranjeni je pojas širok pa ga elektroni ne mogu „preskočiti“ i zato izolator ne vodi struju.

Kod metala vodljivi i valentni pojas se isprepliću i ne trebamo ih

dovoljnom energijom da „preskoče“ zabranjeni pojas i dođu u vodljivi pojas, oni će početi voditi struju. To se pobuđivanje može raditi na različite načine, a jedan od njih je i pobuđivanje sunčevom svjetlošću što se koristi kod sunčevih ćelija.

Najvažniji poluvodički materijal danas je silicij. Pokazalo se da se dodavanjem (dopiranjem) malih količina primjesa siliciju njegova svojstva znatno mijenjaju, ovisno o svojstvima primjesa. Ovisno o primjesama, razlikujemo dvije vrste poluvodiča – „*p*-tip“ i „*n*-tip“.

P-tip nastaje dodavanjem malih količina primjesa niže valencije od osnovnog materijala poluvodiča. Primjerice, atom bora (B) ima 3 valentna elektrona, dok je atom silicija četverovalentan.

N-tip nastaje dodavanjem primjese veće valencije od osnovnog materijala (npr. V-valentnog fosfora, P) što ima za rezultat veću količinu slobodnih atoma koji se ne mogu vezati s ostalim elektronima u kristalnoj rešetci.

Uključivanjem atoma primjese u kristalnu rešetku osnovnog materijala dolazi do viška slobodnih elektrona (*n*-tip) ili do manjka slobodnih elektrona, odnosno viška tzv. „rupa“ ili „šupljina“ (*p*-tip).

Fotonaponske ćelije rade se tako da se *p* i *n* tipovi poluvodiča dovedu u kontakt (obično se radi o cjelovitom komadu materijala različito dopiranih dijelova). U neposrednoj blizini spoja dolazi do popunjavanja „rupa“ u *p* tipu slobodnim elektronima iz *n* tipa i stvara se električno polje u području oko spoja usmjereno od *p* prema *n* tipu. To je polje u ravnoteži s difuznim silama prisutnim uslijed različite koncentracije slobodnih elektrona i „rupa“ u *p* i *n* dijelovima.

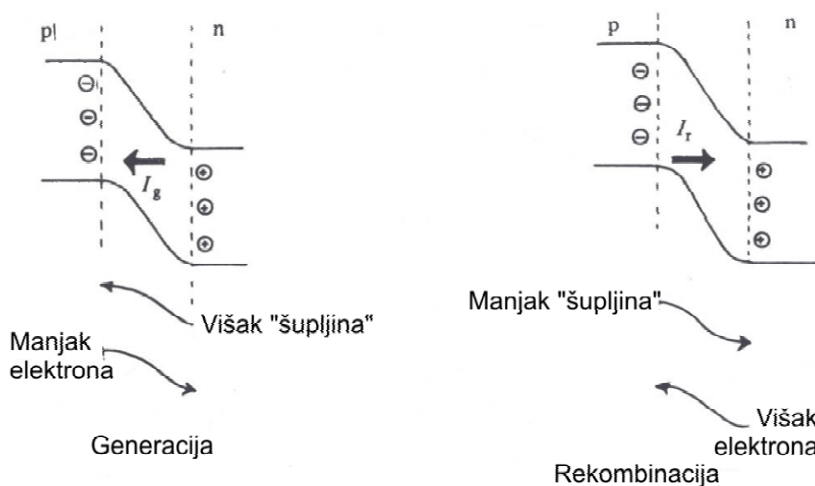
Fotonaponski efekt je fizikalni proces na kojem se zasniva pretvaranje svjetlosne energije u električnu energiju pomoću fotonaponskih ćelija. To

je pojava električnog napona na krajevima poluvodiča zbog apsorpcije svjetlosti u poluvodiču.

Svjetlost se sastoji od fotona, koji mogu sadržavati različite količine energije koje odgovaraju različitim valnim duljinama svjetlosnog spektra. Kada foton udari u fotonaponsku ćeliju on može biti apsorbiran, reflektiran ili može proći kroz ćeliju.

Za pretvorbu energije svjetlosti u električnu energiju zanimljivi su apsorbirani fotoni. Naime, apsorbirani foton svoju energiju predaje elektronu u atomu poluvodiča – materijala od kojeg je izrađena fotonaponska ćelija. Ta energija omogućava elektronu da napusti svoje mjesto i odvoji se od atoma. Pritom dobijemo jedan slobodni elektron i „šupljinu“ – mjesto na kojem se elektron nalazio.

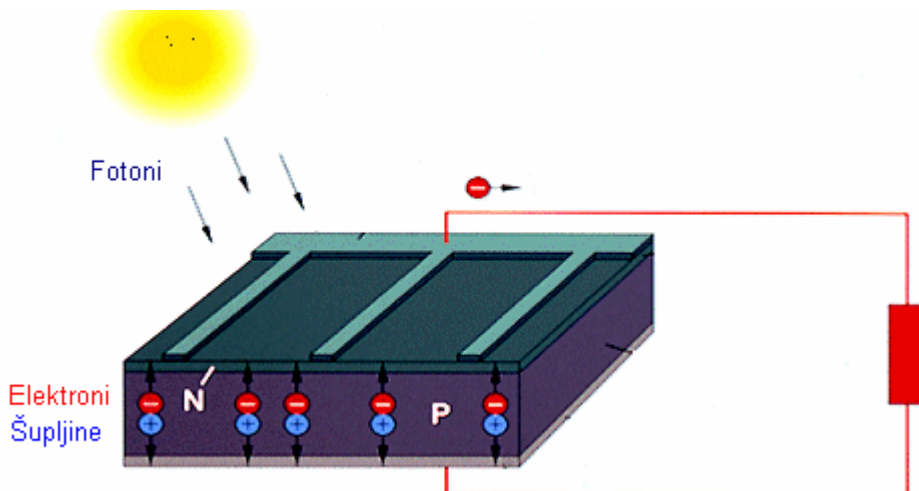
Oni se mogu razdvojiti s pomoću unutarnjeg električnog potencijala koji već egzistira u osiromašenom sloju *PN* prijelaza (Slika 4).



Slika 4 Električno polje oko *P-N* spoja

Zbog toga dolazi do umanjenja unutarnjeg potencijala što se iskazuje kao fotonapon. Taj fotonapon može kroz vanjski električni krug

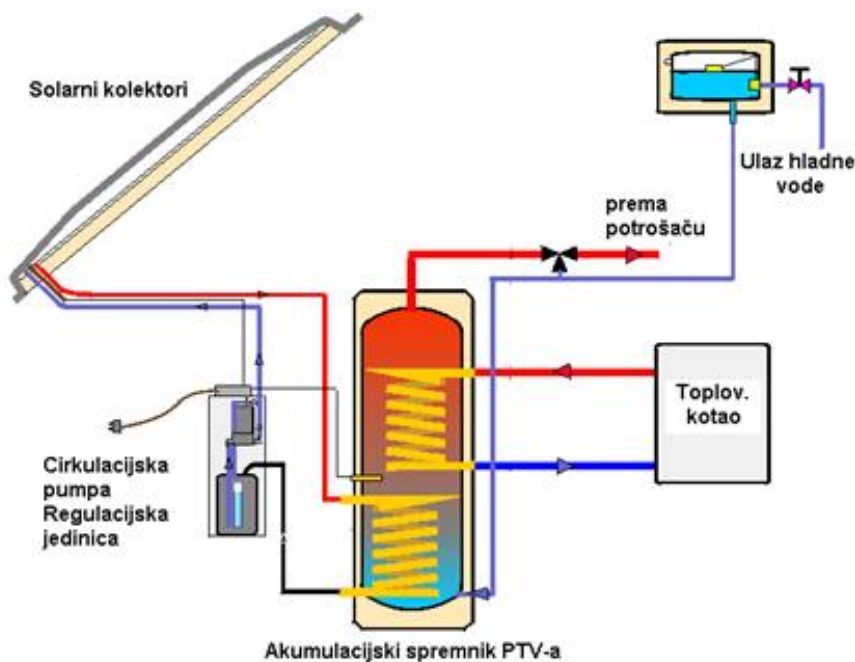
uzrokovati tok električne struje (Slika 5). Tako se dio elektromagnetske energije sunčeva zračenja pretvara u električnu energiju.



Slika 5 Fotonaponski efekt

4. Uporaba energije sunca za grijanje

Energija sučevog zračenja može se pretvoriti u toplinsku energiju pomoću kolektora sunčeve topline. Kolektor sunčevog zračenja je uređaj koji služi prijemu dozračene energije sunca te je predaje nosiocu topline, koji je potom prenosi do sustava potrošne tople vode i/ili grijanja. Shematski prikaz sunčevog toplinskog sustava prikazuje Slika 6.



Slika 6 Sunčev toplinski sustav

Danas su najrašireniji pločasti kolektori, koje prikazuje Slika 7. Oni se koriste za zagrijavanje potrošne tople vode, maksimalna temperatura iznosi do 80°C, radna temperatura od 40 do 60°C, a efikasnost od 30 do 60%.



Slika 7 Pločasti sunčev kolektor

Uz pločaste kolektore danas se na tržištu mogu pronaći i vakuumski kolektori (Slika 8). Takvi se kolektori koriste za zagrijavanje potrošne tople vode i za grijanje prostora. Maksimalna temperatura iznosi do 100°C , radna temperatura od 40 do 60°C , a efikasnost od 50 do 60% . Skuplji su od pločastih tipova i osjetljivi na gubitak vakuumu. Pogodniji su za hladne klime s manjom insolacijom.



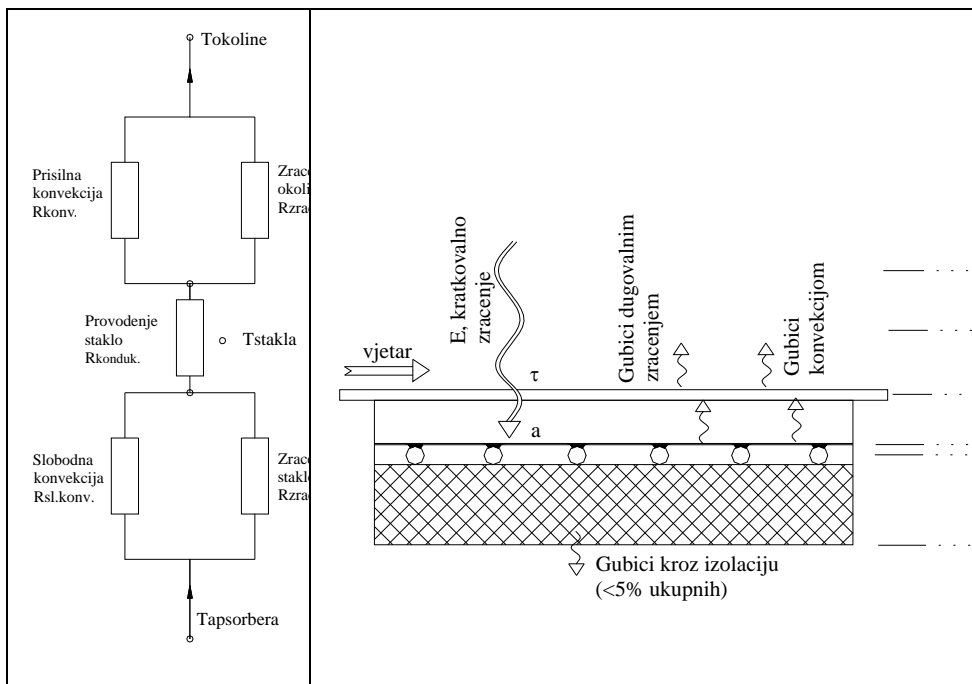
Slika 8 Vakuumski sunčev kolektor

Kod pločastih kolektora, nakon prolaska kroz pokrovno staklo, sunčevo kratkovalno zračenje se apsorbira u apsorberu – metalnoj ploči (Cu, Al) premazanoj posebnim premazom visokih apsorpcijskih svojstava.

Apsorbirana toplina se predaje nosiocu topline (voda ili smjesa vode i propilen-glikola) preko cijevnog registra koji je u dobrom toplinskom kontaktu s pločom apsorbera. Sa stražnje strane kolektor je izoliran (mineralna vuna, poliuretan, armaflex), da bi se smanjili toplinski gubici prema okolini.

Toplinski gubici prednje strane mogu se podijeliti na gubitke konvekcijom i zračenjem, te na gubitke zbog refleksije sunčevog zračenja od staklene površine i apsorbera. Ovi potonji iznose obično 20 do 30% ukupno dozračene energije, ovisno o koeficijentu propusnosti stakla ($\tau=0.85\div 0.9$), te apsorpcijskim svojstvima premaza apsorbera ($\alpha=0.85\div 0.97$).

Apsorbirana energija djelomično se predaje nosiocu topline dok se dio topline gubi zračenjem od ploče apsorbera (temperature do 200°C) na hladniju površinu stakla (temp. do 40°C) te dalje u okoliš. Tu valja pripomenuti da je staklo uglavnom nepropusno za dugovalno zračenje apsorbera (tzv. „učinak staklenika“). Konvektivni gubici su obično znatno veći od gubitaka zračenjem, te se dijele na gubitke slobodnom konvekcijom u međuprostoru između apsorbera i stakla, te na gubitke slobodnom ili prisilnom konvekcijom (vjetar) od tako zagrijanog stakla na okolišni zrak. Tome svemu treba pridodati gubitke bočnih i stražnjih stranica kućišta kolektora. Toplinske gubitke prikazuje Slika 9. Što je temperatura nosioca topline veća, to su i toplinski gubici kolektora veći.



Slika 9 Toplinski gubici kolektora, analogija s električnim strujnim krugom

Za proračun prijelaza topline služimo se analogijom s električnim strujnim krugom: razlika temperature analogna je razlici potencijala (naponu), toplinska energija analogna je električnoj struji, a toplinski otpor električnom. U skladu s Ohmovim zakonom za strujne krugove prema kojem je $I = U/R$, kod prijelaza topline vrijedi da je toplinska energija jednaka omjeru razlike temperatura i toplinskog otpora.

Toplinska energija predana nosiocu topline u kolektoru jednaka je razlici apsorbirane toplinske energije i toplinskih gubitaka prema okolini:

Apsorbirana toplina – gubici prema okolini = toplinska energija predana nosiocu topline

$$\tau \cdot a \cdot A_k \cdot E - (T_{aps} - T_{ok}) / R_{gubici} = (T_{aps} - T_{voda}) / R_{kontakt} \quad [W]$$

gdje je τ koeficijent propusnosti stakla, α koeficijent apsorpcije premaza apsorbera, E [W/m^2] dozračena sunčeva energija, A_k površina

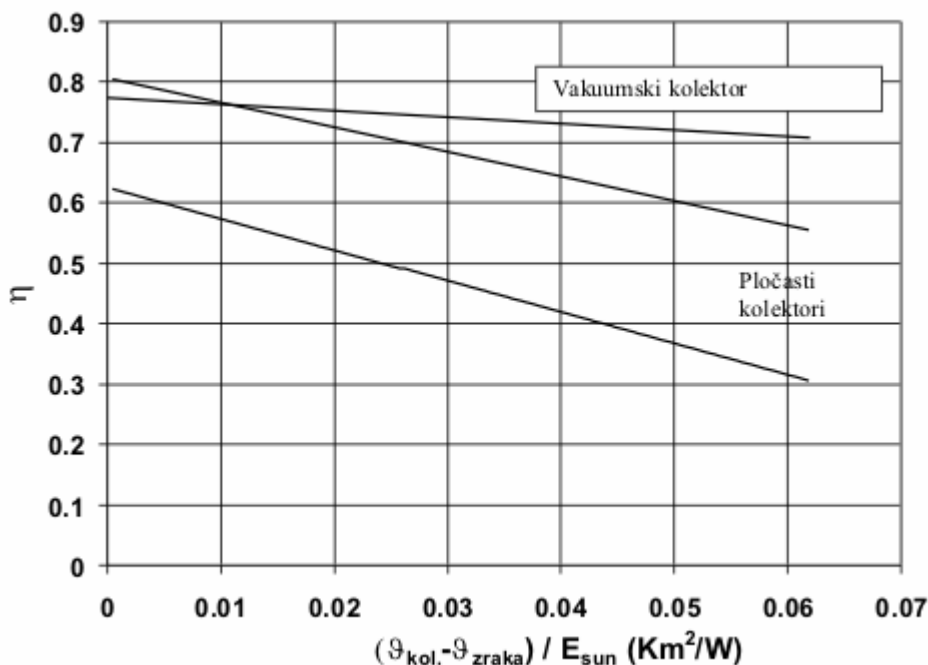
apsorbera, T_{aps} , T_{ok} i T_{vode} [K] temperature apsorbera, okolišnog zraka i nosioca topline (mješavine vode i glikola).

Toplinska snaga kolektora Φ određuje se na temelju izmjerenih veličina masenog protoka i temperatura ulazne i izlazne vode prema izrazu:

$$\Phi_k = q_m \cdot c_p \cdot (\vartheta_i - \vartheta_u), [W]$$

gdje je q_m maseni protok [kg/s], c_p specifični toplinski kapacitet nosioca topline u kolektoru određen za srednju temperaturu [J/kgK], ϑ_u i ϑ_i ulazna i izlazna temperatura nosioca topline.

Ovisnost efikasnosti kolektora (η) o temperaturi vode u kolektoru (θ_{kol}), temperaturi okoline (θ_{zrak}) i intenzitetu dozračene sunčeve energije (E_{sun}) za različite vrste kolektora prikazuje Slika 10.



Slika 10 Efikasnost kolektora u ovisnosti o intenzitetu zračenja i temperaturama

5. Oprema u Srednjoj školi Mate Blažine

Oprema za korištenje sunčeve energije sastoji se od dva dijela:

- sustav za proizvodnju električne energije,
- sustav za proizvodnju toplinske energije.

Sustav za proizvodnju električne energije sastoji se od fotonaponskog panela, regulatora punjenja, akumulatora, pretvarača i trošila, a njegov se rad zasniva na dvije energetske pretvorbe – pretvorbi elektromagnetske energije sunčeva zračenja u električnu energiju (u FN panelu) i pretvorbi električne energije u kemijsku i obratno (u akumulatoru).

Osnovni dijelovi sustava za proizvodnju električne energije su:

1. Fotonaponski panel (monokristal silicija, proizvodnja „Solaris“, Novigrad)

Tvornička oznaka:	H-245
Vršna snaga:	20 W
Struja kratkog spoja:	1,36 A
Napon praznog hoda:	20,5 V
Struja pri maksimalnoj snazi:	1,21 A
Napon pri maksimalnoj snazi:	16,5 V
Visina:	525 mm
Širina:	325 mm
Debljina:	34 mm
Masa:	2,35 kg

2. Regulator punjenja

Tvornička oznaka:	MICROLAMP 4A
Nazivni napon:	12 V
Maksimalna ulazna struja:	4 A

Maksimalna izlazna struja: 4 A

3. Akumulator

Tvornička oznaka: BAT 07 HGL

Nazivni napon: 12 V

Kapacitet: 7 Ah

4. Trošilo – štedna sijalica

Tvornička oznaka: LC 7 W

Snaga: 7 W

Nazivni napon: 12 V DC

Nazivna struja: 590 mA

Sunčev toplinski sustav za pripremu potrošne tople vode sastoji se od sunčevog toplinskog kolektora, pumpe s regulatorom protoka, solarne regulacije i spremnika tople vode. Ovdje je spremnik tople vode zamijenjen radijatorom, čime je olakšano premještanje opreme. Toplinski osjetnici postavljeni su na vrh kolektora (gdje je temperatura radnog medija najviša), na ulaz u radijator i na izlaz iz radijatora (najniža temperatura medija u solarnom krugu). Radni medij je mješavina vode i glikola, koji je dodan kao zaštita od smrzavanja (mješavina je napravljena tako da do smrzavanja ne dolazi na temperaturama višim od -20°C).

Osnovni dijelovi sustava za grijanje:

1. Pločasti kolektor

Tvornička oznaka: CPK 7210 N

Brutto površina: $2,11 \text{ m}^2$

Aktivna površina: 2 m^2

Materijal apsorbera: Cu lim sa selektivnim premazom

Apsorpcijski koeficijent: $95 \pm 2\%$

Emisijski koeficijent: $5 \pm 3\%$

Volumen apsorbera:	1,4 l
Transparentni pokrov:	4 mm kaljeno staklo
Transmisija energije u staklu:	90 ± 2%
Broj priključaka:	2
Promjer priključaka	1"
Maksimalni radni tlak:	10 bar
Temperatura mirovanja:	180°C
Visina:	2036 mm
Širina:	1035 mm
Debljina:	98 mm
Masa:	39 kg
Medij u sustavu:	voda i glikol

2. Solarna pumpa

Tvornička oznaka:	CSPG – 260
Maksimalni radni tlak:	6 bar
Radna temperatura polaza:	140°C
Radna temperatura povrata:	120°C
Medij:	voda
Promjer priključaka:	20 mm
Promjer vijaka:	¾"
Širina:	305 mm
Visina:	550 mm
Dubina:	166 mm

3. Solarna regulacija

4. Radijator Lipovica Solar 500

Preporučamo da, prije početka mjerenja i provođenja pokusa s učenicima, imenujete osobu odgovornu za opremu!

6. Vježbe i pokusi

U ovom je poglavlju navedeno osam prijedloga za izvođenje vježbi i pokusa s opremom za uporabu energije sunca. Nadamo se da će na temelju ovih prijedloga nastavnici i učenici osmisliti još niz zanimljivih pokusa. Ideje pošaljite na adresu info@mojaenergija.hr – objavit ćemo ih na portalu www.MojaEnergija.hr, informativno-edukativnom portalu namijenjenom svima zainteresiranim za energetiku!

1. Kalibracijska krivulja fotonaponskog panela

U ovoj vježbi učenici određuju vezu između struje kratkog spoja FN panela i iznosa upadnog zračenja koje dolazi na panel. Uz to, mjere jakost struje u ovisnosti o jakosti upadnog zračenja, ustanovljavaju da između tih veličina postoji linearna veza, crtaju kalibracijsku krivulju za FN panel. Tu će kalibracijsku krivulju koristiti i u drugim pokusima.

Potrebna oprema: FN panel, multimetar, sijalica od 60 W i grlo, metar, milimetarski papir

Sigurnost: Iako je jedini izvor električne energije u ovoj vježbi FN panel koji daje struju male jakosti, učenici bi trebali primjenjivati iste sigurnosne mjere kao i u radu s drugom električnom opremom. Sijalicom i grlom se također treba rukovati oprezno i ne dodirivati vruću sijalicu!

Postupak

Objasnite učenicima da FN panel mogu koristiti kao mjerač jakosti svjetla. Spojite multimetar na stezaljke panela i očitavajte različite jakosti struje na mjernom uređaju, ovisno o jakosti svjetla. Pokažite učenicima kako će na milimetarskom papiru ucrtavati jakost struje u ovisnosti o jakosti svjetla.

Idealno bi bilo da na raspolaganju imate piranometar – uređaj kojim je moguće izmjeriti snagu svjetlosnog zračenja. Izložite piranometar istom izvoru svjetlosti kao i FN panel – sunčevom zračenju ili sijalici, izmjerite snagu zračenja za nekoliko slučajeva (sunce u podne, sunce u drugo doba dana, različite udaljenosti panela od sijalice) i za svaku snagu zračenja očitajte jakost struje dobivene iz FN panela.

U slučaju da škola ne raspolaže piranometrom, pokušajte ustanoviti karakteristike nekog od postojećih rasvjetnih tijela. Naime, jakost svjetlosnog zračenja sijalice nije sasvim jednostavno izračunati zbog dva problema – učinkovitosti pretvorbe električne energije u svjetlosno zračenje (koje ovisi o tipu rasvjetnog tijela) i kutne raspodjele snage zračenja karakteristične za određenu vrstu sijalice. Takvi se podaci obično daju u katalozima gdje su dani podaci za rasvjetno tijelo.

Kako je ovisnost jakosti struje i snage zračenja linearna, karakteristiku panela možete približno ustanoviti i tako da izmjerite jakost struje u podne vedra dana i kroz tu točku na milimetarskom papiru povučete pravac koji prolazi kroz ishodište koordinatnog sustava. Mjerenje jakosti struje panela izloženog sunčevoj svjetlosti provedite za vedra dana, pri niskoj vlažnosti zraka. Ako oblaci, okolne zgrade ili magla doprinose difuznoj komponenti sunčevog zračenja, očitavanja mogu biti visoka. To možete izbjeći postavljanjem panela u „bunar“ (primjerice, u kutiju tamnih unutrašnjih stranica).

Koristite vrijednosti jakosti sunčeva zračenja dane u donjoj tablici.

Uvjeti	W/m ²
Sunce, u podne zimi (početak studenog do početka veljače)	868
Sunce, u podne u proljeće ili jesen	952
Sunce, u podne ljeti (sredina svibnja do sredine kolovoza)	1029

Kad ustanove funkcijsku ovisnost jakosti upadnog zračenja i jakosti struje, učenici će moći ustanoviti jakost svjetlosti za bilo koji iznos električne struje.

2. Učinkovitost pretvorbe energije

Svrha pokusa je upoznavanje učenika s učinkovitošću pretvorbe energije, kao posljedice zakona termodinamike. Mjeri se snaga koju zrači sijalica i uspoređuje sa snagom koja joj je potrebna za rad, na temelju čega se računa učinkovitost s kojom sijalica pretvara električnu energiju u svjetlost. To se povezuje s učinkovitošću s kojom FN panel pretvara svjetlost u električnu energiju.

Potrebna oprema

Ravnalo, sijalica sa žarnom niti snage 100 W i grlo, ampermetar, voltmetar, fotonaponska ćelija, priključne žice.

Sigurnost: Iako je jedini izvor električne energije u ovoj vježbi FN panel koji daje struju male jakosti, učenici bi trebali primjenjivati iste sigurnosne mjere kao i u radu s drugom električnom opremom. Sijalicom i grlom se također treba rukovati oprezno i ne dodirivati vruću sijalicu!

Postupak

Neka se učenici prisjete prvog i drugog stavka termodinamike. Provjerite da razumiju da se energija može pretvarati iz jednog oblika u drugi, ali da se u pretvorbama dio energije gubi. Diskutirajte o oblicima energije i načinima pretvorbe koji su predmet vježbe. Objasnite koja će se oprema koristiti.

Za različite udaljenosti panela od središta sijalice izmjerite napon i struju panela. Na temelju tih veličina možete izračunati snagu, a znajući površinu panela možete izračunati i snagu po jedinici površine, W/m^2 . Na

temelju kalibracijske krivulje dobivene u pokusu br. 1 za svaku udaljenost možete odrediti jakost svjetla sijalice koja dopire do panela [W/m^2]. Poznavajući specifičnu snagu panela i jakost upadnog svjetla, možete odrediti učinkovitost panela. Usporedite snagu panela sa snagom sijalice!

Za očitavanja koristite ovakvu tablicu.

Udaljenost od središta sijalice (m)	Napon panela (V)	Struja panela (A)	Snaga (W)	Specifična snaga panela (W/m^2)	Jakost svjetla sijalice (W/m^2)	Učinkovitost pretvorbe

Uzmite u obzir veličinu sijalice i panela – na premalim udaljenostima sijalicu ne možete smatrati točkastim izvorom!

3. Orijentacija FN panela

Svrha ove vježbe je upoznavanje učenika s optimalnim nagibom solarnog panela u odnosu na upadno sunčevo zračenje.

Potrebna oprema

Sijalica i grlo, FN panel, ampermetar, kutomjer.

Sigurnost: Iako je jedini izvor električne energije u ovoj vježbi FN panel koji daje struju male jakosti, učenici bi trebali primjenjivati iste sigurnosne mjere kao i u radu s drugom električnom opremom. Sijalicom i grlom se također treba rukovati oprezno i ne dodirivati vruću sijalicu!

Postupak

Razgovarajte s učenicima o položaju Sunca na nebu na specifične dane u godini – zimski i ljetni solsticij i proljetni i jesenski ekvinocij. Kako se Hrvatska nalazi u sjevernoj hemisferi, Sunce se u podne nalazi uvijek na jugu. Ako zemljopisna širina iznosi x , onda kut između Sunca i zenita u podne na oba solsticija iznosi x , a $x-23,5$ na ljetni ekvinocij i $x+23,5$ na zimski ekvinocij (na sjevernoj polutki). Pitajte učenike kako bi FN panel trebao biti orijentiran prema sunčevim zrakama da bi izlazna snaga bila najveća.

Izvadite opremu. Varirajte kut između zraka svjetlosti i površine panela od 0° do 90° , u koracima od 15° . Zatražite od učenika da izmjere sljedeće veličine, pri stalnoj udaljenosti sijalice od FN panela.

Za očitavanja koristite ovakvu tablicu.

Kut između zraka svjetlosti i površine panela	Jakost struje (A)	Maksimalna struja · sin (kut)

Pitanja

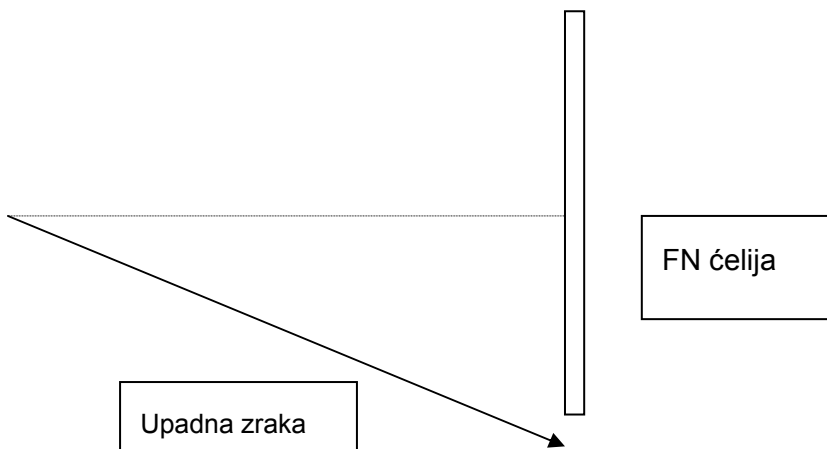
1. Što se dešava sa snagom FN panela kako se kut između upadnih zraka i površine panela povećava?

Odgovor: Kako se kut povećava, raste i izlazna snaga panela.

2. Kako se očitavanja s ampermetra odnose prema maksimalnoj očitanoj jakosti struje pomnoženoj sa sinusom kuta između upadnih zraka i površine FN panela?

Odgovor: Prema očitanim podacima, korelacija je vrlo dobra.

3. Pogledajte sljedeći prikaz upadne zrake i FN ćelije (upadna zraka prikazana je strelicom). Označite na dijagramu veličinu jednaku umnošku upadne zrake i sinusa kuta između upadne zrake i FN ćelije.



Odgovor: Upadna zraka pomnožena sa sinusom kuta između upadne zrake i FN ćelije je vodoravna linija okomita na FN ćeliju. Ona predstavlja vektorsku komponentu upadne zrake okomitu na FN ćeliju.

4. Kako se na temelju interpretacije dijagrama u prethodnom pitanju može protumačiti korelacija između izlazne snage mjerene pomoću ampermetra i maksimalne snage pomnožene sinusom kuta između upadne zrake i FN panela?

Odgovor: Dobra korelacija između očitanih vrijednosti na ampermetru i maksimalne struje (pri kutu od 90 stupnjeva) pomnožene sinusom kuta između upadne zrake i FN ćelije ukazuje na to da samo komponenta svjetlosti koja upada okomito na ćeliju može biti apsorbirana u ćeliji.

4. Energija dobivena iz FV panela

Ova vježba osposobljava učenike za razlikovanje snage i proizvedene/utrošene električne energije. Svrha vježbe je dvostruka: učenici će ustanoviti vlastitu potrošnju električne energije za kućanske aparate i usporediti ju s proizvodnjom električne energije panela snage 2 kW (za tu bi snagu bilo potrebno 100 školskih panela snage 20 W). Potom će učenici dodijeliti električnu energiju dobivenu pomoću panela pojedinim napravama, na satnoj bazi.

Postupak

Snaga predstavlja brzinu kojom se energija troši ili proizvodi. Ova vježba omogućava učenicima razlikovanje snage (brzine kojom se energija troši u kućanskim napravama ili proizvodi u FN panelu) i količine proizvedene odnosno utrošene energije.

Učenici trebaju ustanoviti snagu naprava koje koriste kod kuće i trajanje njihovog korištenja, na temelju čega će moći procijeniti koliko energije koriste za kućanske naprave.

Izmjerite količinu električne energije koju vaš FN panel proizvede u svakom satu u danu i usporedite s njegovom nazivnom snagom i energijom utrošenom u prosječnom kućanstvu. Kolika bi se energija proizvela da je na raspolaganju 100 takvih panela?

Diskutirajte načine pohrane električne energije.

5. Značajke sunčeva zračenja: refleksija, transmisija, apsorpcija

Učenici koriste FN panel da bi ustanovili koliko određeni materijali odbijaju ili propuštaju svjetlost. Po završetku vježbe, učenici mogu predvidjeti sposobnost odbijanja ili propuštanja sunčevog zračenja različitih materijala, a točnost previđanja mogu provjeriti opipom.

Potrebna oprema

FN panel na stalku, multimeter, daska crne boje, ljepljiva traka, pravokutnici veličine panela od različitih materijala (stakla, mutnog stakla, aluminijske folije, bakra, drveta, papira – crnog, žutog, crvenog, plavog, zelenog, najlonske vrećice, celofana – prozirnog, žutog, crvenog, plavog, zelenog, ogledala), Sunce ili sijalica sa žarnom niti.

Sigurnost: Iako je jedini izvor električne energije u ovoj vježbi FN panel koji daje struju male jakosti, učenici bi trebali primjenjivati iste sigurnosne mjere kao i u radu s drugom električnom opremom. Sijalicom i grlom se također treba rukovati oprezno i ne dodirivati vruću sijalicu! Recite učenicima da ne gledaju izravno u Sunce. Omotajte trakom predmete oštrih rubova (staklo, ogledalo, tanke metalne ploče).

Priprema: pripremite FN panel i izrežite materijale pravokutnike od navedenih materijala, dimenzija jednakih dimenzijama panela.

Postupak

Objasnite učenicima odbijanje, propuštanje i upijanje sunčevog zračenja u materijalima. Prodiskutirajte činjenicu da upadno sunčevo zračenje mora biti jednako zbroju reflektiranog (odbijenog), transmitiranog (propuštenog) i apsorbiranog (upijenog) sunčevog zračenja u tom materijalu:

$$I = R + T + A.$$

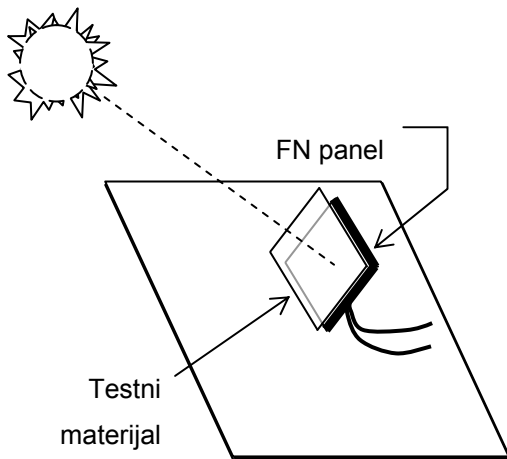
Zračenje koje upada na plohu s njom reagira na jedan ili više od tri navedena načina: bit će apsorbirano u materijalu, transmitirano kroz materijal ili reflektirano s materijala. Udjeli svake od tri komponente zračenja nastalih nakon interakcije s materijalom ovise o valnoj duljini upadnog zračenja, kemijskim i fizikalnim svojstvima materijala i upadnom kutu svjetlosti na površinu materijala. Zračenje se može reflektirati u snopu ili u svim smjerovima (difuzno). Materijali koji apsorbiraju svjetlost više različitih valnih duljina izgledaju tamni.

Podsjetite učenike kako pomoću ampermetra i kalibracijske krivulje FN panela možete iz A dobiti W/m^2 (pokus 1). Postavite panel tako da ga obasjava Sunce ili ga izložite svjetlosti sijalice.

Korisno je znati kako pojedini materijali transmitiraju, reflektiraju i apsorbiraju sunčevo zračenje. Primjerice, površina FN panela treba biti izrađena od materijala koji transmitira najviše zračenja, jer želimo da što više svjetlosti dopre do poluvodiča. Poznavanje svojstava različitih materijala važno je i pri projektiranju kuća, škola i ureda. Isto znanje nam je korisno i pri izboru odjeće za različita godišnja doba.

U vježbi će se mjeriti koliko neki materijal reflektira ili transmitira vidljivi dio spektra sunčeva zračenja. Na temelju izmjerenih podataka, izračunat će se koliko pojedini materijal apsorbira tog zračenja.

Spojite ampermetar na FN panel. Okrenite panel tako da je jakost struje maksimalna.



Transmisija

Mijenjajte pokrov na panelu i za svaki testni materijal zapišite jakost struje.

Kad ste izmjerili jakost struje uz panel pokriven svim priređenim materijalima, izračunajte jakost svjetla (W/m^2) propuštenog kroz svaki materijal koristeći kalibracijsku krivulju panela.

Refleksija

Postavite FN panel paralelno sa sunčevim zrakama, tako da ne baca sjenu i sigurno ga učvrstite u tom položaju. Postavite ogledalo pod 45° u odnosu na sunčeve zrake, tako da se zrake s njegove površine reflektiraju na panel. Zapišite jakost struje očitane na ampermetru.

Maknite zrcalo i svaki od pripremljenih testnih materijala stavite u isti položaj koje je zauzimalo zrcalo. Za svaki materijal očitajte jakost struje. Pomoću kalibracijske krivulje odredite jakost reflektirane svjetlosti koja upada na panel.

Apsorpcija

Na temelju ispitivanja sposobnosti transmisije i refleksije pojedinih materijala, procijenite njihovu sposobnost apsorpcije svjetlosti.

Izložite analizirane materijale Sunčevom zračenju i opipajte ih. Usporedite osjet s procjenom sposobnosti apsorpcije pojedinih materijala.

Pitanja

1. Čime ste se rukovodili u predviđanju koji će materijali biti najbolji, a koji najlošiji apsorberi svjetlosti?
2. Kako je hrapavost materijala utjecala na njegovu sposobnost reflektiranja i apsorpcije svjetlosti?
3. Kako je boja materijala utjecala na njegovu sposobnost transmisije i apsorpcije svjetlosti?
4. Na temelju provedenih pokusa, za koje biste se vanjske i unutrašnje boje i materijale automobila odlučili da živite na sunčanom i vrućem mjestu? A da živite na hladnom i sunčanom mjestu?
5. Kakva svojstva transmisije, refleksije i apsorpcije svjetlosti bi trebao imati materijal kojim se pokriva FN panel? Kako biste ga opisali – blještav, taman, svijetao, hrapav...?

Provjera rezultata mjerenja: ogledalo i aluminijska folija imaju najviši stupanj refleksije. Staklo i prozirna plastika imaju najviši stupanj transmisije. Ogledalo, aluminijska folija, drvo ne propuštaju svjetlosti. Tamni papir, drvo, bakreni pokrov crne boje upit će najviše svjetlosne energije.

6. FN panel kao kontrolni uređaj (može se pretvoriti u maturalni rad!)

Učenici istražuju, konstruiraju, ispituju i ocjenjuju napravu čija je svrha da na neki način odgovori na promjene u snazi ili smjeru sunčeva zračenja.

Potrebna oprema: električni ventilator, FN panel

Postupak

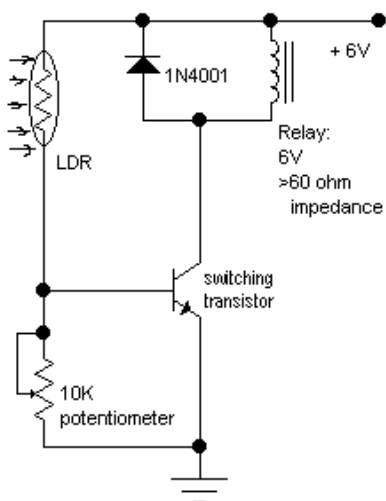
Spojite ventilator na FN panel.

Objasnite učenicima da se ventilator koristi za hlađenje za sunčanih ljetnih dana. Pokažite učenicima da se FN panel može koristiti kao prekidač koji pali i gasi ventilator, u ovisnosti o uvjetima.

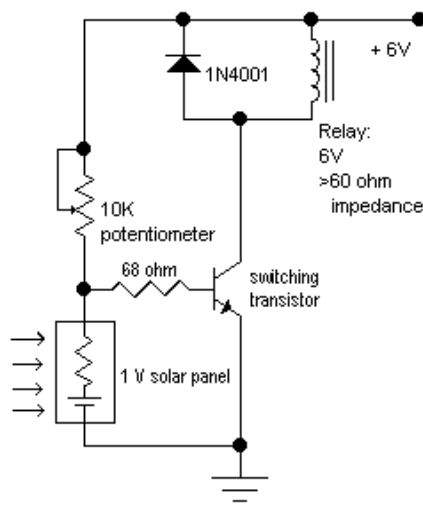
Učenici neka dizajniraju uređaj koji bi bio primjenjiv u svakodnevnom životu. Mogu osmisliti vlastiti uređaj ili sklopiti neki od opisanih u nastavku. Pregledajte svaki projekt prije nego dozvolite izradu uređaja!

Dodatne informacije

Fotodiode, fototranzistori i fotootpornici su optoelektronički uređaji koji se obično koriste u strujnim krugovima u kojima je potreban svjetlosni senzor. Prilikom samostalnog istraživanja, učenici će najvjerojatnije naći primjere ovakvih krugova, koje će morati modificirati (ili dizajnirati vlastiti krug) da se umjesto optoelektroničkih uređaja koristi FN panel (primjer je na donjoj slici).



Light detector switching circuit that uses a light detecting resistor (LDR)



Light detector switching circuit modified to use a 1 V solar panel

Optoelektronički uređaji izloženi svjetlosti mijenjaju unutrašnji električni otpor, dok FN ćelija izložena svjetlosti predstavlja izvor električne energije. U primjeru na gornjoj slici, otpor FN panela u mraku je nizak pa je baza tranzistora kratko spojena na zemlju, a relej je iskopčan. Kad svjetlost padne na panel, on proizvodi dovoljan napon za zasićenje tranzistora, što stavlja relej u pogon. Na bazu tranzistora spojen je omski otpor za ograničenje jakosti struje!

Primjeri projekata koji mogu koristiti FN panel za upravljanje procesom:

- ugaziti svjetiljku kad postoji vanjsko osvjetljenje, a upaliti je po mraku (automatsko upravljanje uličnom rasvjetom),
- smanjiti intenzitet umjetne rasvjete pri jačoj prirodnoj rasvjeti, pojačati kad prirodna rasvjeta slabi (automatsko prilagođavanje sobne rasvjete),

- praćenje pomičnog izvora svjetlosti, primjerice sunca (FN panel prati prividno kretanje Sunca),
- objekt zauzima jedan položaj pri jakom osvjetljenju, a drugi pri slabom (otvoreni prozori za vedrog dana).

7. Grijanje u kućanstvu

Ova vježba ukazuje učenicima na potrebu za učinkovitim korištenjem energije. Zadatak može uključiti i smanjenje toplinskih gubitaka u vlastitom domu.

Prijelaz topline

Prijelaz topline odvija se na tri načina – vođenjem, konvekcijom i zračenjem. Vođenje je prijelaz topline uzrokovan sudarima molekula. Toplije molekule imaju veću brzinu, a sudaraju se s hladnijim molekulama; na taj način brzina toplijih molekula pada – one se hlade, a sporijih molekula raste – griju se. U kući se tako toplina prenosi najprije s molekula toplog zraka na molekule zidova, između molekula zidova i konačno između molekula zidova i molekula vanjskog zraka. Prijelaz topline vođenjem između zraka u kući i okoliša smanjuje se izoliranjem zidova.

Do konvekcije dolazi prilikom dizanja toplijeg zraka. Malo se može učiniti da bi se spriječili gubici energije uslijed konvekcije, ali se izolacijom pukotina između zidova i prozora ili vrata može smanjiti gubitak toplinske energije.

Do trećeg načina prijelaza topline, zračenja, dolazi uvijek kad se topliji objekt nalazi u hladnijoj okolini – on zrači energiju proporcionalno s četvrtom potencijom apsolutne temperature (temperature iskazane u Kelvinima). Tako nastali gubici u kućanstvu se mogu smanjiti tako da se smanji temperatura vanjskog ruba objekta, izoliranjem zidova.

Postupak

Razlog zbog kojeg nam je energija neprekidno potrebna za zagrijavanje domova je taj što su toplinski gubici stalno prisutni, pa je toplinsku

energiju koja je napustila sustav (kuću) potrebno nadomjestiti (da nema toplinskih gubitaka, kuću bismo jednokratno zagrijali i njena bi unutrašnjost trajno bila na istoj temperaturi).

a) Da bismo pronašli načine za smanjenje potreba za energijom za grijanje, razmatramo „prosječnu“ kuću iz koje se, uz vanjsku temperaturu od 3°C, energija gubi sljedećom brzinom:

- 2,1 kW kroz zidove i krov, vođenjem
- 0,3 kW kroz pod, vođenjem i
- 1,9 kW kroz prozore, vođenjem.

Uz to, potrebno je i 2,3 kW da bi se ugrijao hladan zrak koji ulazi kroz pukotine.

Koja je ukupna brzina gubitka toplinske energije iz kuće?

Odgovor: : (2.1 + 0.3 + 1.9 + 2.3) kW = 6.6 kW

b) Istog tog zimskog dana, određena količina topline dobiva se na sljedeće načine:

- 0,5 kW zbog ulaska sunčeva zračenja kroz prozore,
- 0,2 kW zahvaljujući toplini ljudi (toplinska snaga čovjeka iznosi oko 100 W),
- 1,2 kW zbog rada različitih uređaja.

Koliku toplinsku snagu mora osigurati sustav za grijanje?

Odgovor: 6.6 – (0.5 + 0.2 + 1.2) kW = 6.6 – 1.9 kW = 4.7 kW

c) Sad pretpostavimo da izolacija zidova, krova i poda smanjuje gubitke vođenjem za 60%, da dvostruki prozori sa selektivnim premazom smanjuju gubitke kroz prozore za 70% i da brtvljenje spojeva prozora i vrata sa zidovima smanjuje gubitke zbog dotoka hladnog zraka za 70%.

Koja je u ovom slučaju brzina kojom se toplinska energija gubi iz kuće?

Odgovor: $(2.1 + 0.3) \cdot (1 - 0.6) \text{ kW} + (1.9 + 2.3) \cdot (1 - 0.7) \text{ kW} =$

$$2.4 \cdot 0.4 \text{ kW} + 4.2 \cdot 0.3 \text{ kW} =$$

$$0.96 \text{ kW} + 1.26 \text{ kW} = 2.22 \text{ kW}$$

Ako tome pribrojimo 1,9 kW koji su posljedica procesa opisanih u (b), neto gubici iznose

$$3.32 \text{ kW} - 1.9 \text{ kW} = 1.42 \text{ kW}$$

d) Pretpostavimo da je temperatura u kući 21°C. Polovica toplinske energije potrebne za održavanje temperature od 21°C mogla bi se uštedjeti tako da se razlika temperature između unutrašnje i vanjske temperature prepolovi. Koja bi u tom slučaju bila unutrašnja temperatura? Usporedite ovaj način štednje toplinske energije i onaj opisan u točki c).

Odgovor: Početna temperaturna razlika iznosi $(21-3) = 18^\circ\text{C}$, a polovica početne toplinske razlike 9°C . Polovica toplinske energije bi se, dakle, uštedjela tako da unutrašnju temperaturu kuće postavimo na neugodno hladnih 12°C . Kad usporedimo smanjenje toplinskih gubitaka koje omogućava bolja izolacija stambenog prostora uz zadržavanje iste unutrašnje temperature, vidimo da mjere energetske učinkovitosti omogućavaju veće uštede uz istu kvalitetu življenja.

8. Određivanje toplinskih karakteristika kolektora sunčevog zračenja¹

Ova vježba omogućava učenicima uočavanje ovisnosti učinkovitosti kolektora o temperaturi nosioca topline (u ovom slučaju, mješavine vode i glikola), okoliša i jakosti sunčevog zračenja.

Oprema

Sunčev kolektor, toplinski osjetnici, regulator protoka, FN panel, multimeter, živin termometar

Sigurnost: Iako je jedini izvor električne energije u ovoj vježbi FN panel koji daje struju male jakosti, učenici bi trebali primjenjivati iste sigurnosne mjere kao i u radu s drugom električnom opremom.

Postupak

Prilikom mjerenja vodite računa o tome da insolacija i temperatura okoliša ne smiju znatnije varirati – najbolje je pokus provoditi za vedra dana oko podneva.

FN panel mora biti postavljen pod istim kutem kao i kolektor sunčeve topline. Na stezaljke panela priključite multimeter i ustanovite jakost sunčeva zračenja (prema kalibracijskoj krivulji iz pokusa 1).

Prije početka mjerenja, opremu za uporabu toplinske energije sunca ostavite izloženu sunčevom zračenju barem 15 minuta, koliko je potrebno da mjerene veličine dosegnu stacionarno stanje.

¹ Vježba je osmišljena na temelju laboratorijske vježbe „Određivanje toplinskih karakteristika kolektora sunčevog zračenja“ Laboratorija za toplinu i toplinske uređaje Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu te prilagođena raspoloživoj opremi.

Nakon 15 minuta, zabilježite temperaturu fluida koji ulazi u kolektor (osjetnik temperature na izlazu iz radijatora) i temperaturu fluida koji izlazi iz kolektora (osjetnik temperature na vrhu kolektora).

Očitajte protok fluida pomoću regulatora protoka na pumpi.

Očitajte jakost struje FN panela na multimeru.

Očitajte temperaturu okoline pomoću živinog termometra. Termometar nemojte izlagati sunčevim zrakama.

Toplinska snaga kolektora određuje se pomoću izraza:

$$\Phi_k = q_m \cdot c_p \cdot (\mathcal{G}_i - \mathcal{G}_u), [W],$$

pri čemu koristite c_p pri srednjoj temperaturi vode (udio glikola je nizak pa ga možemo zanemariti).

Učinkovitost kolektora definirana je kao odnos toplinske snage kolektora i ukupno dozračene energije sunca, a računa se prema izrazu:

$$\eta = \frac{\Phi_k}{\Phi_{sun}} = \frac{\Phi_k}{E \cdot A_k}$$

gdje je Φ_{sun} [W] ukupno dozračena energija sunca na cijelu plohu kolektora, E [W/m²] ukupno dozračena energija sunca na 1m² površine plohe kolektora i A_k [m²] površina apsorbera kolektora (pokrovnog stakla).

Sad znamo učinkovitost kolektora, temperaturu u kolektoru, temperaturu okolnog zraka i energiju upadnog sunčeva zračenja. Usporedite vaš kolektor s kolektorima čije karakteristike prikazuje Slika 10. Komentirajte razlike!

7. Literatura

Za daljnje čitanje i istraživanje značajki energije sunca i njezinih primjena preporučamo:

1. Kulišić, P.: Novi izvori energije, Školska knjiga, Zagreb, 1991
2. Požar, H., Osnove energetike 1, Školska knjiga, Zagreb, 1992
3. Twidell J., Weir T., Renewable energy resources, E&FN Spon, London, 1997
4. Boyle G., Renewable energy-power for sustainable future, Oxford University Press, Oxford, 1998
5. Duffie J.A., Beckman W.A., Solar engineering of thermal processes, John Wiley&Sons, New York, 1991

Zanimljive ideje za provođenje pokusa možete pronaći na Internetu, na stranici *Watts on Schools*, www.wattsonschoools.com.

Vaše prijedloge literature i ideje za provođenje pokusa na području energije sunca pošaljite na adresu **info@mojaenergija.hr**!

Ova skripta nastala je u okviru projekta „Edukacijski kit za uporabu energije sunca“ provedenog 2007. godine pod sponzorstvom tvrtke Holcim.



cement ■ beton ■ agregat