

TERMOFOTOVOLTAICI

Besten, Neven

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of Physics / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za fiziku**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:160:397843>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-02**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Department of Physics in Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
ODJEL ZA FIZIKU



NEVEN BESTEN

TERMOFOTOVOLTAICI

Završni rad

Osijek, 2020.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
ODJEL ZA FIZIKU



NEVEN BESTEN

TERMOFOTOVOLTAICI

Završni rad

Predložen Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
radi stjecanja zvanja prvostupnika fizike

Osijek, 2020.

Ovaj završni rad je izrađen u Osijeku pod vodstvom izv.prof.dr.sc. Branka Vukovića u sklopu Sveučilišnog preddiplomskog studija fizike na Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.

SADRŽAJ

| | |
|--|----|
| 1. UVOD | 1 |
| 2. POVIJEST KORIŠTENJA FOTOVOLTAIKA | 3 |
| 3. ENERGIJSKI ASPEKT | 4 |
| 4. TPV TEHNOLOGIJA | 5 |
| 4.1. USPOREDBA PRETVROBE FOTOVOLTAIKA (PV) I TERMOFOTOVOLTAIKA (TPV) | 7 |
| 4.1.1. SOLARNI FOTOVOLTAICI | 7 |
| 4.1.2. TERMOFOTOVOLTAICI | 8 |
| 4.2. FOTONAPONSKE ČELIJE | 12 |
| 4.3. OSTALE TEHNOLOGIJE PROIZVODNJE FOTONAPONSKIH ČELIJA | 14 |
| 5. FOTONAPONSKI MODULI | 14 |
| 6. VRSTE TERMOFOTOVOLTAIKA | 15 |
| 6.1. TPV SUSTAVI SA SAKUPLJAČEM ZRAKA | 16 |
| 6.2. TPV SUSTAVI SA SAKUPLJAČEM VODE | 18 |
| 7. PRIMJENA TERMOFOTOVOLTAIKA | 19 |
| 8. TRŽIŠTE | 21 |
| 9. ZAKLJUČAK | 23 |
| 10. LITERATURA | 24 |
| 11. ŽIVOTOPIS | 25 |

TERMOFOTOVOLTAICI

NEVEN BESTEN

Sažetak

Reprezentativni i glavni dio fotonaponskih sustava je fotonaponska ćelija. Ona se može definirati kao poluvodič pomoću kojeg se svjetlost Sunčevog zračenja izravno pretvara u električnu energiju, odnosno dolazi do pojave kod koje se na krajevima prikladno oblikovanog poluvodičkog elementa, kod izloženja svjetlosti, inducira elektromotorna sila, čime fotonaponska ćelija postaje izvor istosmjerne električne struje. Uz objašnjene vrste termovotovoltaika, u radu su objašnjene primjene te princip rada.

(25 stranica, 9 slika, 8 literaturnih navoda)

Rad je pohranjen u knjižnici Odjela za fiziku

Ključne riječi: termofotonaponski sustavi, fotonaponski moduli, energija, energetska postrojenja, fosilna goriva

Mentor: izv.prof.dr.sc. Branko Vuković

Ocjenjivači:

Rad prihvaćen:

TERMOFOTOVOLTAICI

NEVEN BESTEN

Abstract

Representative and main part of photovoltaic systems is photovoltaic cell. It can be defined as a semiconductor by which the light of solar radiation is directly converted into electricity, or there is a phenomenon in which an electromotive force is generated at the ends of suitably shaped semiconductor element during light exposure, and photovoltaic cells becomes the source of direct electric current. In addition to the types of thermovoltaics, the thesis explains the applications and the principle of operation.

(25 pages, 9 figures, 8 references)

Thesis deposited in Department of Physics library

Keywords: termofotovoltaiic systems, fotovoltaiic modules, energy, power plant, fossil fuels

Supervisor: Branko Vuković, Ph.D.

Reviewers:

Thesis accepted:

1. UVOD

Energija je ključna za naš život, a upotreba energije se povećava s napretkom čovjeka i industrijskim razvojem. Snažan rast bruto domaćeg proizvoda i industrijalizacija na tržištima u nastajanju, posebno u Kini i Indiji, ubrzava rast potrošnje energije. Ukupna potražnja za energijom na tržištima u nastajanju iznosi 73% u usporedbi s porastom od 15% u industrijaliziranim zemljama kao što su SAD i Europa. U današnje vrijeme gotovo sva proizvodnja energije dolazi iz sagorijevanja fosilnih goriva, uključujući naftu, ugljen i zemni plin. Sa trenutnim stanjem potrošnje energije, oko 17 000 milijuna tona nafte uz 24 400 milijuna tona ugljena moglo bi biti potrošeno za podmirivanje zahtjeva potražnje za energijom do 2030. godine. Ovi sve veći zahtjevi za energijom i dalje guraju cijenu nafte sve više. Povećanje potražnje za energijom širom svijeta vrši sve veći pritisak na utvrđivanje i provedbu načina za uštedu energije.

Obnovljiva energija je vrsta energije dobivene iz prirodnih resursa, uključujući sunčevu svjetlost, vjetar, kišu, vodu i geotermalnu toplinu, koji se mogu brzo i konstantno nadopunjavati. Ubiranje sunčeve energije atraktivna je opcija među alternativama i predstavlja najveću priliku za smanjenje potražnje za energijom na čist i obnovljiv način. Kontinuirani porast globalne potražnje za energijom snažno je povezan s rastom stanovništva i poboljšanim ekonomskim i tehnološkim napretkom u većini dijelova svijeta.

Izraz "fosilna" odnosi se na goriva koja se stvaraju iz ostataka živih organizama tijekom milijuna godina, dok je izraz "goriva" opis njihove prirode jer tokom izgaranja proizvode toplinsku energiju. Sunčevo zračenje je obnovljivi izvor koji potiče od Sunca, a ako se to zračenje koristi za stvaranje toplotne ili električne energije, naziva se "solarnom energijom". Ova se energija koristi s dvije glavne tehnologije, a to su solarni fotonaponski sustavi (PV) te termalni solarni fotonaponski sustavi (TPV). Glavna prednost ove tehnologije je u tome što je njezin izvor, Sunce, beskrajan i ne može se iscrpiti. Štoviše, Sunce sja posvuda, što znači da je tehnologija solarne energije održiva opcija za svakoga. Važan element koji ove tehnologije unose je njihova relativno lagana održivost te mogućnost za instalaciju u stambenim objektima [1].

Prije pola stoljeća samo je nekoliko ljudi shvatilo da se sunčevo svjetlo može pretvoriti izravno u električnu energiju. Čak i prvi znanstvenici koji su radili na istraživanjima fotonaponskih sustava teško su mogli pretpostaviti da će njihova istraživanja dovesti do svjetske industrije koja električnom energijom osigurava milijune ljudi. Kod instalacije u kućanstvima postavlja se pitanje korištenja zemljišta: PV sustav zauzima puno prostora u usporedbi s konvencionalnom elektranom za istu količinu proizvodnje električne energije. Solarna ćelija pretvara sunčevu svjetlost izravno u električnu energiju bez goriva, pokretnih dijelova ili otpadnih proizvoda. Sustav je napravljen od tanih kriška, tj. slojeva poluvodičkog materijala. Nasuprot tome, fosilna goriva ili nuklearna elektrana koja radi na klasičnom termodinamičkom ciklusu pretvara toplinu od izgaranja goriva ili nuklearne reakcije u paru visokog tlaka, a zatim pomoću pare pokreće turbinu spojenu na električni generator. Ovaj složeni lanac događaja stvara nepoželjne nusproizvode, uključujući istrošeno gorivo i veliku količinu otpadne topline, a u slučaju fosilnih goriva i puno ugljičnog dioksida. Visoki tlakovi i temperature koji su uobičajena pojava kod modernijih energetske postrojenja, stvaraju velike pritiske na materijalima i komponentama. Manja proizvodnja električne energije pomoću dizelskih generatora ima slične nedostatke. S druge strane solarna ćelija radi tiho bez „naprezanja motora“, ona predstavlja model operativne jednostavnosti.

Solarne ćelije su visokotehnološki proizvodi temeljeni na impresivnim istraživanjima na sveučilištima, kampanjama i vladinim institutima širom svijeta više od pola stoljeća. Njihova proizvodnja zahtjeva vrlo visoke standarde preciznosti i čistoće. Model solarnih ćelija je snažno povezan s drugim modernim tehnologijama koje imaju visoku važnost za mnoge ljude, a to su poluvodička elektronika i računala. Tehnologija solarne energije proizvodi manje emisija i u slučaju fotonaponskih materijala, ne sadrži mehanička kretanja ni buku. Uvjeti okoliša poput temperature okoline, sunčevog zračenja, vlage i prašine utječu na PV sustave. Provođenje istraživanja PV sustava na određenom mjestu pomaže u razumijevanju održivosti tih sustava na tom mjestu, a također priprema istraživače da pronađu rješenja ili alternativne sustave obnovljivih izvora energije u slučaju da je problematično implementirati PV sustave. Razumijevanje ponašanja PV sustava u specifičnim uvjetima omogućava znanstvenicima nametnuti prednosti i nastojati otkloniti nedostatke ili ih u najmanju ruku objasniti [1,6].

2. POVIJEST KORIŠTENJA FOTOVOLTAIKA

Najraniji počeci fotonaponskih sustava datiraju iz 1839. godine kada je mladi fizičar Edmond Becquerel, radeći u laboratoriji svog oca u Francuskoj, otkrio fotonaponski efekt dok je svjetlucao na elektrodi u otopini elektrolita. Do 1877. godine prve polimerne PV stanice izrađene su od selenija, a kasnije su razvijene kao svjetlosni mjerači za fotografiranje. Iako je pravilno tumačenje fenomena objašnjeno kvantnom teorijom praktična primjena PV uređaja za korištenje morala je čekati dolazak poluvodičke elektronike 1950-ih. Tako je nastao dugačak period od preko sto godina između Becquerelovog početnog otkrića i razvoja PV-a kakav danas poznajemo.

Može se reći da je moderno PV doba započelo 1954. godine sa istraživačima laboratorija Bell Telephone i RCA, koji su izvijestili postojanje novih tipova poluvodiča, zasnovanih na siliciju i germaniju, koji su bili red veličine efikasniji od prethodnih spojeva pri pretvaranju zračenja izravno u električnu energiju. Grupa znanstvenika koji su u to vrijeme radili na istraživanju PV sustava nadala se da će to dovesti do novih primjena kroz solarne ćelije, uključujući proizvodnju električne energije. Međutim, njihova nada nije ostvarena dijelom i zbog toga što je to desetljeće bilo vrijeme velikih očekivanja i ulaganja u nuklearnu energiju. Skeptici su vjerovali da je solarna energija previše difuzna i isprekidana, a novi uređaji previše skupi. Situaciju je gotovo preko noći promijenilo pokretanje prvog zemaljskog satelita, SSSR-ovog Sputnika, 1957. godine. Rani su sateliti trebali vrlo skromnu količinu električne energije, a težina i površina solarnih panela potrebnih za proizvodnju bili su prihvatljivi za dizajnere satelita. Također, vrste ćelija izrađene 1954. godine pokazale su se pouzdanima i činilo se da mogu djelovati u svemirskom okruženju dugi niz godina bez značajnog propadanja. Prvi američki istraživački satelit pomoću PV napajanja lansiran je 1958. Bio je veličine velikog grejpa. Solarne ćelije prostirale su se na površini od oko 100 cm². Do ranih 1970-ih svemirski sateliti pokrenuti solarnim ćelijama postali su sasvim uobičajena pojava. Osamdesetih godina prošlog stoljeća PV sustav je počeo davati veliki doprinos pružajući male količine električne energije milijunima obitelji. Ono što je uistinu promijenilo izgled za globalnu proizvodnju PV-a je snažan pomak prema sustavima povezanim s mrežom u razvijenom svijetu koji je započeo tijekom 1990-ih. Tako su se razvili PV sustavi kakve poznajemo danas. Posljednjih godina mnoge su vlade davale kapitalne potpore za instalaciju PV sustava u kućanstvu [2].

3. ENERGIJSKI ASPEKT

U modernom industrijskom društvu većina energije se troši u sektorima transporta, građevine, a fosilna goriva su glavni zvor te energije. Upotreba fosilnih goriva dovela je do zabrinutosti širom svijeta zbog sigurnosti opskrbe, sve veća je potražnja za energijom, resursi su ograničeni, dosta su veliki lokalni i globalni utjecaji okoliša (npr. kisele kiše i klimatske promjene). Termofotovoltaici (TPV) pretvaraju toplinu izravno u električnu energiju, ispitani su u svim glavnim energetske sektorima i za ne-fosilne gorivne resurse energije (npr. radioaktivna, solarna, energija biomase) te za fosilne energetske resurse. TPV sustavi mogu pretvoriti toplinu u električnu energiju sa Carnot-ovom učinkovitosti, što bi ih učinilo alternativom postojećoj tehnologiji električnog generatora. U dosadašnjem istraživanju visoke učinkovitosti nisu bile dokazane i nepoznato je koje praktične učinkovitosti TPV sustavi mogu postići. Međutim, čak i umjerena (dijelom) pokazana učinkovitost čini TPV pretvorbu kompatibilnom za učinkovitu uporabu fosilnih goriva u primjeni poput kombinirane topline i snage (CHP), prijenos snage te povrat otpadne topline. U današnje vrijeme TPV sustavi su uglavnom razvijeni za tehnologije koje koriste energiju izgaranja fosilnih goriva, što nije pogodno sa gledišta uštede energije. Međutim, fleksibilnost goriva TPV sustava omogućava promjenu sa fosilnih goriva u biogoriva u budućnosti, što može biti kompliciranije kod drugih tehnologija (npr. gorivne ćelije). Dakle, TPV pretvorba bi mogla riješiti neka ograničenja fosilnih goriva ako se savladaju izazovi tržišta i tehnologije [1].

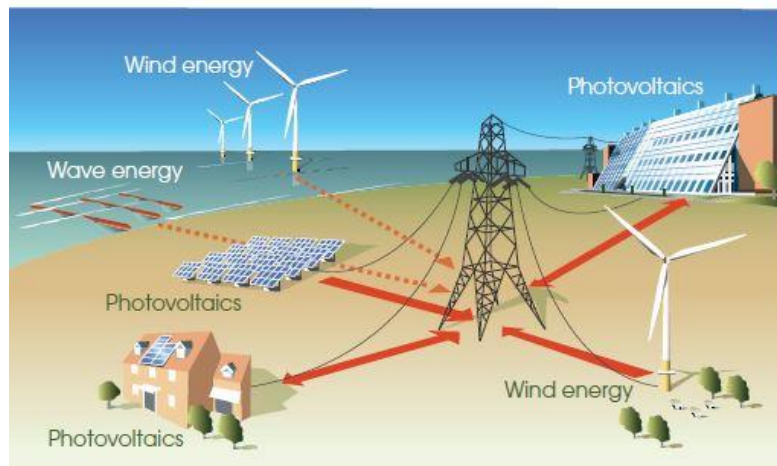
4. TPV TEHNOLOGIJA

TPV pretvorba ima neka tehnološka svojstva koja ju čine povoljnom u odnosu na postojeće metode za opskrbu električnom energijom. Početkom 21. stoljeća, dva glavna pravca su opskrba mrežom velikih razmjera te proizvodnja baterija manjih dimenzija. U industrijskim se zemljama ogromna količina električne energije proizvodi u snažnim elektranama koje koriste unutarnje i vanjske toplinske motore (npr. plinske i parne turbine) zajedno s generatorom, a prenose se i distribuiraju putem mreže. Jedan od glavnih nedostataka centralne proizvodnje energije je gubitak velike količine topline. Čak i moderne elektrane na fosilna goriva otpuste polovicu svog unosa kao otpadnu toplinu. Dakle, prilično raspodijeljena proizvodnja topline i električne bi bila efikasna. Međutim, smanjenje tehnologije proizvodnje energije je kritično u pogledu smanjenja učinkovitosti, većeg održavanja te izuzetno bučnih strojeva. Obnovljivi generatori (npr. termalni solarni fotovoltaići) mogu zamijeniti velika energetska postrojenja poput elektrana na fosilna goriva. Međutim, njihova široka upotreba zahtijeva čvrstu ekonomsku stabilnost te sustave za pohranu energije koji su jako velikog kapaciteta, ali takvih sustava još nema u praksi. Druga mogućnost je upotreba jednog obnovljivog izvora na udaljenim lokacijama. Takav jedan primjer lokacije može biti vjetropark na otvorenoj površini u blizini obale te energetska postrojenja solarne termalne elektrane. Međutim, korištenje navedenih tehnologija zahtijevat će visoka ulaganja u električnu mrežu (dugački vodiči istosmjerne struje pod visokim naponom).

Na manjim rasponima dobivene energije (od nekoliko milivata do stotine vata) velika količina električne energije potječe od baterija koje imaju mane glede brze potrošnje te kratkog vijeka. Ugljikovodična goriva imaju do sto puta veću gravimetrijsku gustoću energije i mogu se lako pohraniti. Čak bi i nisko učinkoviti TPV sustav mogao imati superiornija svojstva u usporedbi s baterijama. TPV pretvorba energije pouzdana je tehnologija pretvorbe energije ugljikovodičnih goriva u električnu energiju. Na taj način može se realizirati model laganog i brzo punjivog generatora [2,3].



Slika 1. Energetsko postrojenje fotovoltaika u Coloradu [2].



Slika 2. Tri važne tehnologije obnovljivih izvora energije (energija vjetra, vode, sunca) [2].

4.1. USPOREDBA PRETVROBE FOTOVOLTAIKA (PV) I TERMOFOTOVOLTAIKA (TPV)

Obje tehnologije solarnih fotovoltaika i termofotovoltaika koriste fotonaponske ćelije za proizvodnju električne energije pomoću radijacije visokotemperaturnog toplinskog izvora. Ključne razlike su geometrija i temperatura izvora topline.

4.1.1. SOLARNI FOTOVOLTAICI

Sunčevo površinsko zračenje može se promatrati pomoću zračenja crnog tijela. Intenzitet zračenja (W/m^2) pada na velikoj udaljenosti do maksimalne vrijednosti od približno $0,1 \text{ W}/\text{cm}^2$ na zemljinoj površini. Prema Planckovom zakonu zračenja glavni dio sunčevog zračenja nalazi se u vidljivom spektralnom području.

Solarni PV sustav djeluje prilično nestabilno u terminima intenziteta, spektra i kuta sunčevog zračenja, jer ovi parametri ovise o lokaciji (zemljopisnoj širini, dužini), različitim ciklusima (solarni, godišnji, sezonski, dnevni), sloju oblaka te atmosferskoj apsorpciji. Za nekoncentrirajuće sustave temperatura stanice obično se ne kontrolira i ovisi o okolini. Složenost rashladnog sustava za vruće ćelije obično nije ekonomski isplativa.

Za solarni PV sustav intenzitet zračenja je granični uvjet sa zadanom veličinom i spektrom. Raspršivanje i apsorpcija sunčevog zračenja u zemljinoj atmosferi uzimaju se u obzir u različitim standardiziranim spektrima. Uzimajući u obzir pretpostavku solarnog spektra, može se identificirati opseg PV stanica. Važno je napomenuti da, za razliku od TPV pretvorbe, idealan opseg pojasa maksimizira i učinkovitost i gustoću električne energije. Ako se uzme u obzir tipični sunčev intenzitet od $0,1 \text{ W}/\text{cm}^2$ i učinkovitost pretvorbe od 20% to dovodi do maksimalne gustoće električne energije od oko $0,02 \text{ W}/\text{cm}^2$. Kod nekoncentrirajućeg solarnog PV sustava CHP (Postrojenje topline izgaranja i energije) tehnologija se uglavnom ne primjenjuje, to rezultira gubljenjem preostale topline [3].

4.1.2. TERMOFOTOVOLTAICI

TPV pretvorba, s druge strane, može koristiti razne izvore topline koji obično zagrijevaju emiter na tipične temperature od 1300 do 2000 K. Postoji nekoliko načina kada nije nužan ni jedan emiter, jedan od njih je izravna pretvorba plamenog zračenja i pretvaranje otpadne topline gdje proces već zrači odgovarajućim spektrom. Prema Stefan-Boltzmannovom zakonu ovaj temperaturni raspon dovodi do teorijskog ukupnog hemisfernog zračenja po jedinici površine od približno $16\text{--}91 \text{ W/cm}^2$.

Glavni dio ovog zračenja je u infracrvenom spektralnom rasponu u skladu s Planckovim zakonom zračenja. U idealnom slučaju ne dolazi do gubitaka zračenja zbog uskog rasporeda radijacijskih i PV ćelija, to omogućava demonstraciju velike gustoće električne energije PV ćelija s vrijednostima većim od $2,5 \text{ W/cm}^2$. TPV sustavi obično djeluju stabilno s obzirom na intenzitet, spektar i kut zračenja kao i temperatura PV ćelije.

U primjeni sustava za obnavljanje otpadne topline, TPV sustavi bi mogli konstantno raditi 24 sata dnevno i 365 dana godišnje, pri čemu se radni parametri mogu mijenjati samo zbog izvjesnog trošenja i starenja sustava. Definiranje učinkovitosti TPV sustava složenije je u usporedbi sa PV sustavima, ukupni ulaz može se definirati kalorijskom vrijednošću goriva ili kao toplinski tok.

Visoke gustoće snage u TPV pretvorbama omogućuju funkciju CHP operacija tako da korisni izlaz može biti čista električna energija ili električna energija kombinirana sa toplinom. Učinkovitost TPV sustava općenito ovisi o definiranju granica. Učinkovitost se općenito definira kao omjer korisnog učinka i ukupnog unosa [2,3].



Slika 3. Energetsko postrojenje u ruralnoj Njemačkoj [2].

Dizajn TPV sustava obično zahtijeva koncept spektralne kontrole, kao i odabir i dizajn izvora topline, radijatora i PV ćelije, koji imaju svoja ograničenja i kvalitete. Na slici 4 prikazani su primjeri različitih koncepata te opcije sastavnica. Spektralna kontrola je metoda za spektralno podudaranje apsorbirane snage PV ćelije u skladu sa opsegom stanice i često uključuje dodatne komponente kao što su filtri. S druge strane, spektar se može spektralno kontrolirati posebnim emiterom kao i sa raznim filterima te zrcalima unutar ćelije.

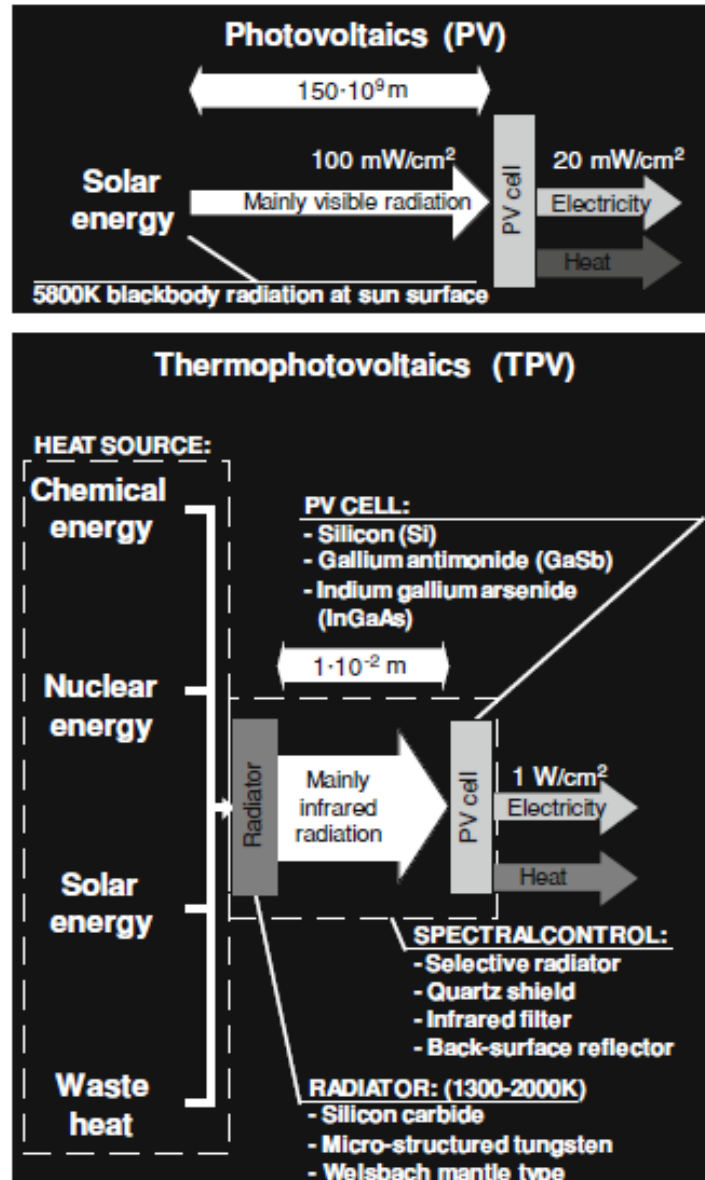
U slučaju solarnih fotonaponskih sustava, fotoni s energijama ispod energije opsega PV ćelije (van-opsežno zračenje) gube se u okolinu. TPV sustavi, međutim, mogu potisnuti ili povratiti odbačene fotone određenim oblikom spektralne kontrole što uvelike povećava učinkovitost. Navedena opcija spektralne kontrole uvelike dovodi do mnogo veće učinkovitosti TPV pretvorbe u odnosu na pretvorbu solarnih fotonaponskih sustava.

Povećana učinkovitost TPV sustava samo je dijelom dokazana na manjem sustavu, mnogo je veća učinkovitost na bazi šireg sustava. Način rada CHP sustava demonstriran je na sistemskoj razini i visoka prosječna učinkovitost može se naći u primjenama poput rijedih mikro CHP sustava. U usporedbi sa solarnim fotonaponskim sustavom može se sažeti da je dizajn TPV sustava složeniji, ali ima razne prednosti uključujući stalni rad, potencijalno veću učinkovitost i fleksibilnost izvora topline.

TPV pretvorba također nudi efektivnu CHP operaciju i pokazala se korisnom pri proizvodnji visoke gustoće električne energije u odnosu na osjetno manje količine kod nekonzentrirajućih solarnih fotonaponskih sustava. Kod solarnih termofotonaponskih sustava optička učinkovitost koncentratora može se definirati kao učinkovitost izvora topline.

Pimjenjuju se četiri izvora topline, to su kemijska energija (izgaranje ugljikovodika), nuklearna energija (toplina radioizotopa), solarna energija i otpadna toplina (kod industrijskih visokotemperaturnih procesa). Uzimajući u obzir kod radioizotopa solarni sustav ili sustav za odbačenu toplinu, ukupni ulaz može se definirati kao toplinski tok (W/m^2), pri čemu su gubici izvora topline često dosta mali.

Učinkoviti visokotemperaturni grijači koji rade na prirodni plin mogu imati gubitke topline i do 20%. Ta toplina se uglavnom gubi kroz vrući zagrijani plin. Vrijednost postotka upućuje na to da TPV sustavi na ugljikovodična goriva sa visokom iskoristivosti mogu biti konfigurirani. S druge strane, također se može naglasiti da su radioizotopni TPV sustavi i TPV sustavi na otpadnu toplinu inherentno učinkovitiji u usporedbi sa sustavima sagorijevanja. Učinkovitost izvora topline može se definirati kao omjer neto prijenosa topline emitera i ukupnog ulaza topline [3].



Slika 4. Prikaz usporedbe solarnog fotonaponskog sustava i termofotonaponskog sustava. Na slici su prikazani potencijalni izvori topline te glavne komponente TPV sustava [3].

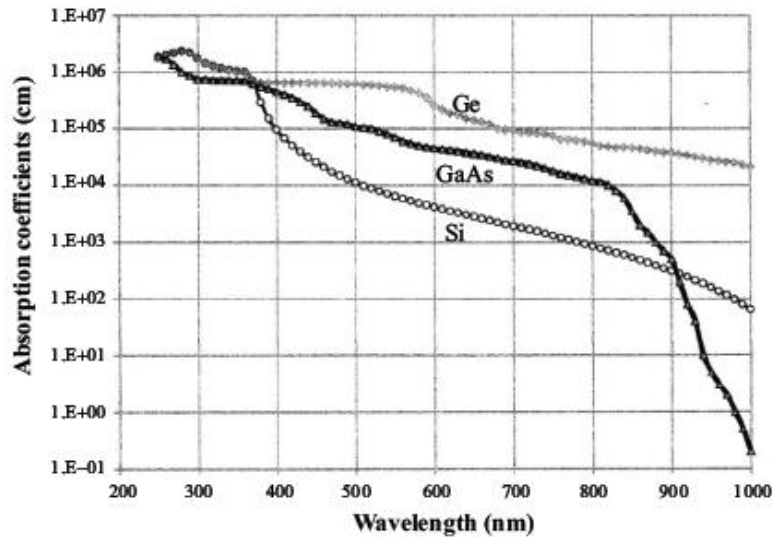
4.2. FOTONAPONSKE ČELIJE

Izvlačenje električne energije iz sunčeve svjetlosti, poput mnogih drugih izvora energije, neučinkovit je proces. Tradicionalna PV tehnologija koristi slojeve poluvodičkog materijala. U normalnim atmosferskim uvjetima, samo 18% do 20% raspoložive energije pretvara se u električnu. To znači da su velike površine kao i nizovi panela potrebni kako bi se izvukla količina energije koja se usmjeruje za potrebe modernih električnih zahtjeva. Jedan od glavnih faktora koji ograničava učinkovitost PV tehnologije je priroda sunčeve svjetlosti i sposobnost materijala PV ćelija da ne apsorbira svu dostupnu energiju. Sunčeva svjetlost sadrži širok spektar elektromagnetskog zračenja, uključujući infracrvenu, vidljivu i ultraljubičastu svjetlost. Svaka regija ovog spektra ima raspon valnih duljina: infracrveno zračenje ima najdužu, ultraljubičasto najkraću, a vidljiva svjetlost srednju valnu duljinu.

U elektromagnetskom spektru, kratke valne duljine ima najviše energije. Nažalost, materijali koji se najviše koriste pri izradi fotonaponskih sustava, poput silicija, ne apsorbiraju sunčevo zračenje pri kraćim valnim duljinama kao ni mnogi drugi materijali.

Koeficijent apsorpcije je obrnut dubini materijala. Kraće valne duljine svjetlosti apsorbiraju se lakše od dužih valnih duljina. Također silicij je najmanje učinkovit materijal od triju koji apsorbiraju energiju u rasponu od 400 do 800 nm (vidljiva svjetlost). Značaj koeficijenta apsorpcije je u tome što on određuje debljinu materijala koja je potrebna za uhvat značajne količine energije koja dolazi od velike količine protona. Materijali koji apsorbiraju energiju u rasponu od 400 do 800 nm su germanij, silicij i galijev arsenid. Silicij ili drugi poluvodički materijali koji se koriste za solarne ćelije može biti monokristalni, multikristalni, polikristalni ili amorfni. Ključna razlika između ovih materijala je stupanj do kojeg poluvodič ima pravilnu, savršeno uređenu kristalnu strukturu i stoga se materijal poluvodiča može klasificirati prema veličini kristala koji čine materijal.

Tehnike za proizvodnju multikristalnog silicija su jednostavnije i stoga jeftinije od onih potrebnih za monokristalni materijal. Međutim, kvaliteta multikristalnog materijala je niža od one monokristalnog materijala zbog prisutnosti znatih granica. Na slici 5 prikazan je koeficijent apsorpcije germanija (Ge), galijevo arsenida (GaAs) i silicija (Si).



Slika 5. Koeficijent apsorpcije germanija (Ge), galijeovog arsenida (GaAs) i silicija (Si) [4].

Multikristalni sloj nije tako jednolično strukturiran kao pojedinačni kristalni, a granice stvorene između kristalnih zrna narušavaju elektronička svojstva. Veličina zrna je u rasponu od 1 mm do 10 cm. Kako bi se izbjegli značajni gubici rekombinacije na granicama zrna, potrebno je da zrna budu veličine najmanje nekoliko milimetara. To također omogućava da se jedno zrno proširi s prednje na stražnju stranu stanice, pružajući manji otpor protoku nosača i općenito se smanjuje duljina granica zrna po jedinici stanice. Takav se višekristalni materijal široko koristi za komercijalnu proizvodnju solarnih ćelija. Polikristalni slojevi imaju više granica i male veličine zrna, uzrokujući veću degradaciju elektroničkih svojstava i veću otpornost između zrna. Veličina zrna je u rasponu od 1 μm do 1 mm. Jednokristalne (monokristalne) ćelije su najučinkovitije (18 do 20%), ali za proizvodnju je potrebno najviše energije. Polikristalnim i multikristalnim stanicama potrebno je manje energije za proizvodnju, ali nisu toliko učinkovite (16 do 18%). Stanice amornog silicija zahtijevaju najmanje energije za proizvodnju, ali još su manje učinkovite (8 do 10%). Drugi način uključuje taloženje tankih slojeva amornih silicijskih stanica na vrpci od nehrđajućeg čelika. Prednost stanica amornog silicija je u tome što imaju puno veću konstantu apsorpcije u odnosu na kristalne stanice i mogu se koristiti u tehnologiji filma tankih slojeva. Tehnologija tankog filma može koristiti i druge materijale, uključujući kadmijev telurid (CdTe) i bakar indij galij selenid (CIGS). Stanice ovih materijala talože se na podlogu od stakla ili nehrđajućeg čelika [4].

4.3. OSTALE TEHNOLOGIJE PROIZVODNJE FOTONAPONSKIH ČELIJA

Na Sveučilištu Stanford trenutno se razvija nova tehnologija koja povećava učinkovitost PV modula na 50%. Termionska emisija pojačana fotonom (PETE) koristi svjetlost i toplinu iz modula za proizvodnju električne energije. Postojeća tehnologija postaje manje učinkovita kako temperatura stanice raste, ali PETE tehnologija toplinskim pretvaračem hvata izgublenu toplinu. Poluvodički materijal obložen je tankim slojem cezija. PETE tehnologija najbolje funkcionira u koncentracijskom polju gdje temperature dosežu 200°C. Istraživači rade na ekonomskoj primjeni PETE tehnologije. Korištene su složene stanice nekoliko proizvođača radi povećanja učinkovitosti PV modula. Stanice od različitih materijala formirane su na način da tvore više spojeva. Svaki sloj apsorbira energiju različitog spektra valne duljine, slojevi su međusobno povezani serijski. Izmjerene su učinkovitosti do 40%, ali trošak proizvodnje ove tehnologije spriječio je širu upotrebu [4].

5. FOTONAPONSKI MODULI

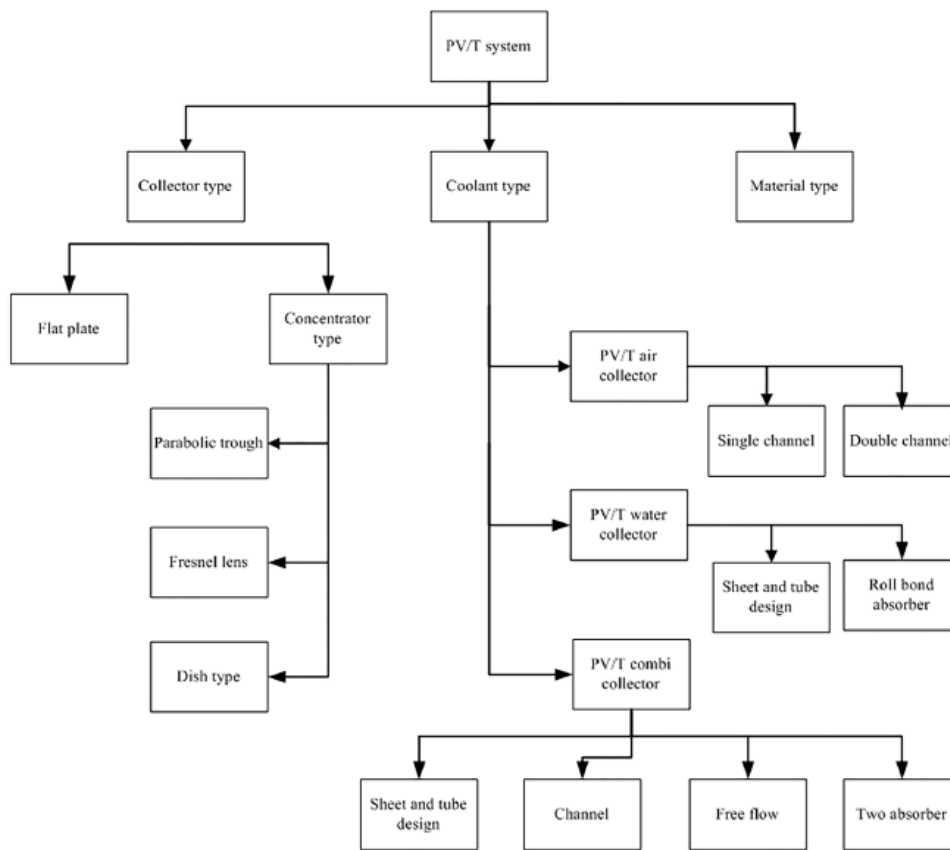
Fotonaponski (PV) modul u međusobno povezanom sustavu dizajniran je za generiranje napona, struje i energije na način da se pomoću pretvarača može povezati s komunalnom mrežom. Kao što je spomenuto u prethodnom odjeljku, napon u nizu od 300 V do 600 V istosmjerne struje je uobičajeni projektni izlaz koji odgovara ulazu pretvarača i izlaznom naponu mreže. Struja je minimizirana kako bi se smanjili gubici žice i smanjila veličina. Izlazna snaga za niz ovisi o mnogim čimbenicima, uključujući područje dostupno za module, opterećenje, razna ograničenja te veliki troškovi ulaganja. Sa samo jednom zasjenjenom ćelijom od ukupno 36 ćelija modula izlazna snaga biti će smanjena za 75%. Ako je jedna ćelija zasjenjena samo 50%, izlazna snaga smanjit će se približno 50%. Važno je napomenuti da ako je jedan cijeli niz ili stupac ćelija zasjenjen 50%, učinkovitost modula smanjiti će se za 50% zbog serijskog spoja svih ćelija u modulu. Za ublažavanje problema zasjenjenja većina PV modula dolazi sa zaobilaznom diodom ugrađenom u izlazno ožičenje modula. Dioda služi za usmjeravanje struje oko modula ako je modul dijelom ili kompletno zasjenjen i ne može generirati struju. Dioda također sprječava da zasjenjeni moduli imaju bilo kakav učinak na nezasjenjene i osigurava da se ne dogodi pretjerani gubitak energije [4].

6. VRSTE TERMOFOTOVOLTAIKA

Industrijska reformacija u 18.stoljeću snažno je povećala potražnju energije na globalnoj razini. Razvijene zemlje širom svijeta usredotočuju se na održive izvore energije, posebno solarnu te energiju vjetra kako bi zadovoljile sve veće potrebe za energijom. Među svim dostupnim održivim izvorima energije, solarni fotonaponski sustavi imaju najveći kapitalni trošak, ali zbog nižih operativnih troškova i održavanja, ova se tehnologija na globalnoj razini lako prepoznaje. Ostale prednosti solarnog fotonaponskog sustava su povećana učinkovitost i energija bez onečišćenja. Za termofotonaponski sustav potrebni su PV modul, kanal, rashladno sredstvo (zrak/voda), izmjenjivač istosmjerne struje te sakupljač. Razvrstavanje TPV tehnologije prikazano je na slici 6. Rashladno sredstvo u TPV sustavu uglavnom se koristi za sušenje usjeva, grijanje prostorija i grijanje vode. Podjela TPV sustava temelji se na cirkulaciji tekućine ispod PV-a, što može biti prirodni ili prisilni protok. Najjednostavnija i najekonomičnija metoda hlađenja je cirkulacija zraka prirodnim putem, ali ta je metoda manje učinkovita u geografskim regijama u kojima je temperatura veća od 20°C.

Učinkovitost hibridnog TPV sustava mjeri se kroz toplinsku, električnu i eksergijsku učinkovitost. Električna učinkovitost sustava uglavnom ovisi o temperaturi ćelije zbog toga što je materijal korišten za proizvodnju PV ćelija osjetljiv na promjenu temperature. Koncentrirajući kolektor zahtijeva veliki broj reflektora i leća, a složeni mehanizam za praćenje sunčeve svjetlosti čini cjelokupni sustav složenim i skupljim, ali ova vrsta PV kolektora pomaže u izvlačenju veće energije u usporedbi s plosnatim PV kolektorom, zbog toga se više koristi u industrijskim primjenama.

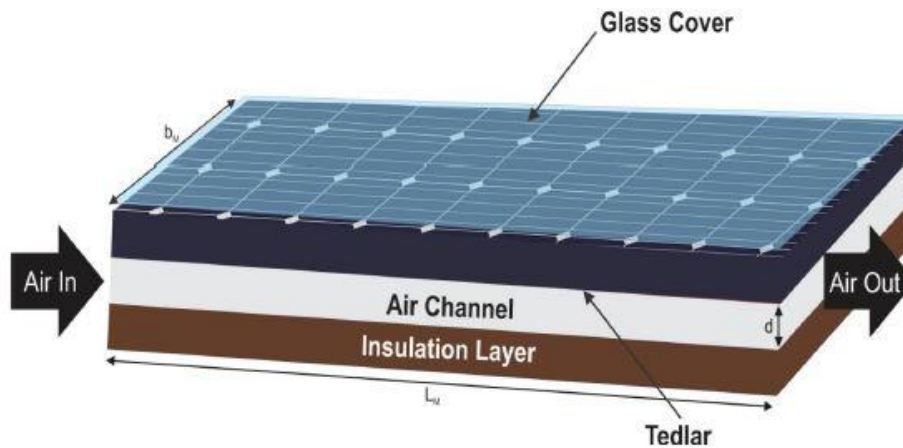
Drugi važan aspekt koji TPV čini potencijalnom primjenom je integriranje u zgradama kako bi se iskoristila toplinska energija i električna energija. Takve izvedbe TPV sustava su poznate kao izgrađeni integrirani fotonaponski (BIPV) solarni sustavi i građevinski integrirani fotonaponsko-toplinski (BIPV/T) sustavi. Kad se TPV sustav instalira u zgradu, on istovremeno proizvodi toplinsku, svjetlosnu i električnu energiju za uporabu. S razvojem novijih kompjutorskih tehnologija, optimizacija parametara postaje poprilično jednostavnija što pomaže znanstvenicima da bolje razumiju primjenu sustava [5].



Slika 6. Kategorizacija termofotonaponske tehnologije [5].

6.1. TPV SUSTAVI SA SAKUPLJAČEM ZRAKA

Koncept TPV-a razvija se iz činjenice da se više od polovice upadnih zraka sunčeve svjetlosti na solarnu ćeliju pretvara se u toplinu. Ta toplina može prouzrokovati oštećenja strukture ćelije ako duže vrijeme ostane na površini PV ćelije. Toplina dobivena iz modula može služiti za brojne primjene u kućanstvima kao što je podno grijanje, sušilo za kosu itd. Dijagram slojeva TPV modula prikazan je na slici 7. TPV pločica sastoji se od jedne solarne ćelije ispod koje je formiran kanal u kojem struji zrak pomoću istosmjernog ventilatora koji se nalazi na ulazu kanala. Eksperimentalna postava sastoji se od dvije TPV pločice povezane serijski. Prednost dizajna s dvostrukim prolazom je u tome što omogućava jednostruko hlađenje PV modula, samim time snižena je temperatura čime je povećana njegova električna učinkovitost. Rađeni su mnogi eksperimenti na jednokanalnom i dvokanalnom TPV kolektoru zraka, a iz eksperimentalnih podataka pokazalo se da je u pogledu električne učinkovitosti dvostruki prolaz učinkovitiji u odnosu na jednopropusni dizajn.



Slika 7. Prikaz slojeva TPV modula sa kolektorom zraka [5].

Izvedba modificiranog sustava značajno je bolja od konvencionalnog TPV sustava. Pravokutni krakovi korišteni su u donjem kanalu kako bi se povećala brzina prijenosa topline od PV modula do zračnog kanala. Primijećeno je da je učvršćivanjem krakova u donjem dijelu kanala, toplinska i električna učinkovitost dvopropusnog TPV sustava poboljšana za 15,5%, odnosno 10,5% u odnosu na konvencionalni TPV sustav. Hrapavost površine i TMS koji se koriste u kanalu su isplative i jednostavne metode koje se koriste za uklanjanje topline s fotonaponskog panela.

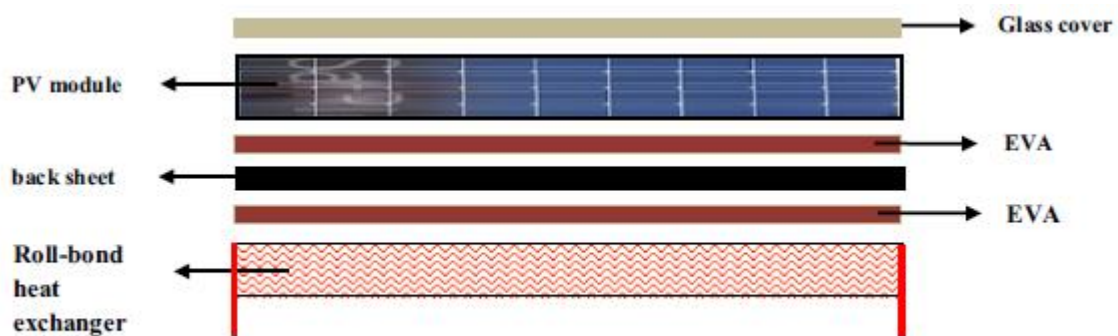
Performanse hibridnog TPV sakupljača zraka su također pod utjecajem masenog protoka. Pri većem protoku mase, veća količina topline može se povratiti s PV panela i pomaže u smanjenju temperature modula. Kod povećanja masenog protoka zraka sa 0,03 na 0,15 kg električna učinkovitost se povećava za 20%. Dvije dodatne staklene navlake koriste se preko PV modula za privlačenje toplinske energije. Toplinska učinkovitost sustava poboljšava se za oko 10-12% korištenjem poroznih medija. Na području hibridnog TPV sakupljača zraka provedeno je mnogo istraživanja, ali potrebno je još više napora uložiti za daljnje poboljšanje električne i toplinske učinkovitosti sustava. Maksimalna postignuta toplinska učinkovitosti iznosi 87%, dok je električna učinkovitost sustava ostala nepromijenjena jer je količina toplinske energije koju zrak izvlači iz PV modula ograničena zbog niskog toplinskog kapaciteta zraka [5].

6.2. TPV SUSTAVI SA SAKUPLJAČEM VODE

Voda se smatra najvažnijim segmentom za opstanak živih bića na zemlji. TPV kolektor vode zadovoljava potrebe za električnom energijom zajedno sa toplom vodom. TPV sakupljač vode ima gotovo sličnu strukturu kao i TPV sakupljač zraka, osim zračnog kanala. U TPV kolektoru sa sakupljačem vode, voda je prisiljena teći kroz cijevi ispod PV modula kako bi ohladila PV modul koji zauzvrat povećava električnu učinkovitost TPV sakupljača vode. Iz eksperimentalne analize utvrđeno je da je toplinska energija veća kod staklenog dizajna, dok je nestakleni modul prikladan ako je u interesu eksergija na izlazu. Iz eksperimentalne analize utvrđeno je da je električna učinkovitost TPV sustava iznosi 8,26%, dok toplinska učinkovitost iznosi 57,90%, što je znatno više od pojedinačnog PV sustava ili solarnog grijača vode.

Kontinuirani protok vode ispod PV ploče nije uvijek potreban za učinkovito hlađenje površine modula. Iz eksperimentalnog ispitivanja zaključeno je da povremeni protok vode omogućuje bolje hlađenje od kontinuiranog protoka vode. Istraživanjem je utvrđeno da se temperatura stražnje površine s 88,81°C s predloženom izmjenom smanjuje na 58,45°C. Potražnja za čistom vodom raste iz dana u dan, zajedno s potražnjom za električnom i toplinskom energijom. Solarna destilacija je najekonomičnija i najčešće korištena metoda za pretvaranje kontaminirane vode u slatku vodu. Integrirani TPV sustav i dalje zadovoljava potražnju za čistom vodom, zajedno s termalnom i električnom energijom. Solarni sustav je zajedno s TPV sustavom donio puno profita prodavajući struju zajedno s destiliranom vodom.

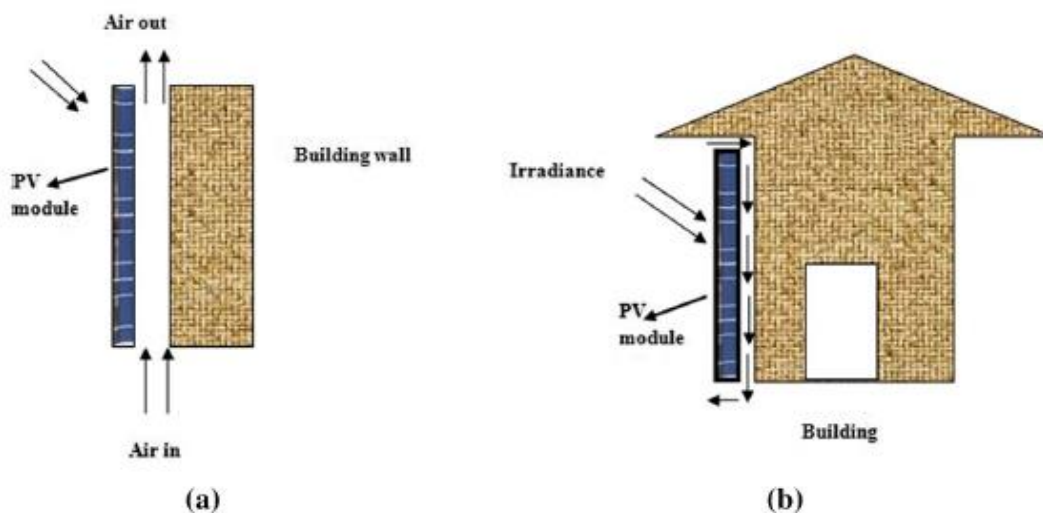
Dodatna prednost koju nudi TPV sustav baziran na vodi je da voda koja koristi kao tekućina može biti ponovo korištena u zgradama, kućama itd. kao topla voda. Iz eksperimentalne studije zaključeno je da uporaba staklene površine pomaže u povećanju toplinske energije. Poluprozirni modul pokazuje bolju učinkovitost od neprozirnog modula. U današnje vrijeme istraživači širom svijeta zainteresirani su za upotrebu raznih nanomaterijala uz rashladnu tekućinu za poboljšanje toplinske vodljivosti i stabilnosti fluida. Kada se voda koristi kao rashladna tekućina u kanalu, ona apsorbira samo 13% upadajućeg sunčevog zračenja. Stoga se fokus istraživanja preusmjerava na uporabu nanofluida sa direktnim solarnim apsorpcijskim kolektorom [5].



Slika 8. TPV sustav sa sakupljačem vode i grafitnim slojem [5].

7. PRIMJENA TERMOFOTOVOLTAIKA

Danas polovica svjetske populacije živi u gradovima u kojima se znatan udio ukupne svjetske godišnje energije troši ili za grijanje hlađenja životnih prostora, za prijevoz robe i ljudi ili za električne uređaje. TPV sustavi uglavnom se instaliraju u zgrade zbog grijanja sobe, grijanje prostora itd. radi poboljšanja prostornih električnih i toplinskih svojstava. Izraz "integracija zgrada" odnosi se na primjenu PV ili TPV sustava u ovojnici zgrade sa ili bez orijentacije za praćenje sunčeve svjetlosti. Krov i fasada nude ogromnu količinu neiskorištene površine koja se može koristiti za ugradnju PV-a. Mogući doprinos PV električne energije gradova s postojećom PV tehnologijom procijenjeno je na 15 posto. U primjenama TPV sustava, otpadni fluid koristi se za sušenje usjeva ili površinsko grijanje u zgradama i bolnicama. Primijenjeni TPV sustavi u zgradama pružaju bolju učinkovitost i zauzimaju manje prostora te zahtijevaju manje održavanje u usporedbi sa solarnim termalnim i solarnim fotonaponskim sustavima općenito. Jedna od konfiguracija TPV primjene je TPV sustav zid/fasada u kojoj je fotonaponska ploča postavljena okomito na zid zgrade sa zračnim zazorom ili je ugrađena kao dio zgrade, kao što je prikazano na slici 9. Provedena su eksperimentalna ispitivanja kako bi se utvrdio optimalni zračni razmak između PV modula i zida zgrade. Veličina zračnog proreza određuje brzinu protoka topline. Kako se zračni prorez povećava, prijenos topline kroz prorez smanjuje se. Brzina protoka zraka kroz prorez također utječe na utjecaj prijenosa topline. Brzina od 0,6 m/s smanjuje temperaturu PV modula za 38°C, dok brzina od 1,2 m/s smanjuje temperaturu za 45,3°C.



Slika 9. TPV sustav integriran u zgradu. a) Izmjenična konfiguracija sustava, b) Ugrađen sustav [5].

Povijesno gledano, većina instaliranih fotonaponskih sustava bili su pojedinačni projekti, a ne skupine sustava u urbanim područjima. Danas se TPV sustavi uglavnom instaliraju kod vlasnika zgrada koji dobrovoljno odluče instalirati sustav na svoju građevinu, bez obzira na vrstu građevine koja se razmatra: privatna kuća, stambena zgrada ili javna zgrada. Druga konfiguracija ove tehnologije je BITPV (termofotonaponski sustav integriran u zgradu) krov. Ova se konfiguracija koristi tamo gdje je brzina prirodnog zraka veća, tj. kod visokih zgrada. Prirodni protok zraka može učinkovito rashladiti PV ploču i na taj način poboljšati učinkovitost. Eksperimentalni i teoretski rezultati pokazuju da je uporaba neglaziranog solarnog kolektora zraka korisna u smislu ekonomičnosti i toplinskih performansi, a pomaže i u postizanju nižih troškova životnog ciklusa.

U usporedbi s jednokratnim zgradama, ugradnja velikih skupina PV sustava predstavlja nove izazove. U novije vrijeme se primjećuje značajno poboljšanje u dizajnu, komercijalizaciji, troškovima i izvedbama TPV sustava. Kod ugradnje uzimaju se u obzir različiti parametri kao što su sunčev intenzitet, temperatura u različitim slojevima, brzina fluida, brzina protoka fluida, dimenzije kanala, itd. Istraživači danas provode različita ispitivanja performansi kako bi potvrdili i predvidjeli rad TPV sustava pod utjecajem promjenjivih uvjeta okoline, konfiguracije kolektora, dimenzija kanala, položaja kanala itd. Ipak, ispitivanje rada TPV sustava u različitim uvjetima okoline doseže velike troškove [5,7].

8. TRŽIŠTE

Solarne procese općenito karakteriziraju visoki sistemski troškovi i niski operativni troškovi. Stoga je osnovni ekonomski problem uspoređivanje početnog poznatog ulaganja s procijenjenim budućim operativnim troškovima. Većina sunčevih energetske procesa zahtijeva pomoćni sustav (tj. konvencionalni) izvor energije, tako da sustav uključuje solarnu i konvencionalnu opremu, a godišnja opterećenja podmiruju se kombinacijom izvora.

Troškovi bilo kojeg postupka isporuke energije uključuju sve stavke od inženjera i radne snage koji su uključeni u instalaciju opreme sve do operativnih troškova. Čimbenici koje treba uzeti u obzir uključuju kamate na posuđeni novac, porez na imovinu i dobit, preprodaju opreme, održavanje, osiguranje, gorivo i ostale operativni troškovi. Za solarne energetske procese problem je odrediti veličinu solarnog energetske sustava koji daje najnižu kombinaciju solarne i pomoćne energije.

Ulaganja u kupnju i instaliranje opreme za solarnu energiju važni su čimbenici ekonomije solarnih procesa. Troškovi uključuju isporučenu cijenu opreme kao što su kolektori, jedinica za skladištenje, pumpe i puhalice, komande, cijevi i kanali, izmjenjivači topline i sva ostala oprema povezana sa solarnom instalacijom. Također se moraju uzeti u obzir troškovi instaliranja ove opreme, jer oni mogu odgovarati ili premašiti nabavnu cijenu.

Također trebaju se uzeti u obzir troškovi konstrukcija za usklađivanje kolektora i druge izmjene koje su nužne. U nekim se okolnostima mogu uzeti krediti za solarni proces ako njegova instalacija rezultira smanjenjem troškova; na primjer, kolektor može služiti kao dio omotača zgrade otpornog na vremenske utjecaje, uklanjajući potrebu za nekim od uobičajenih sporednih ruta ili krova. Održavanje i osiguranje stalni su troškovi kako bi se sustav održavao u radnom stanju i u stanju zaštite od požara ili drugih gubitaka. Parazitski troškovi energije odnose se na ispuhivanje zraka ili upumpavanje tekućine ili drugih potrebitih električnih ili mehaničkih energija. Solarna ušteda razlika je između cijene konvencionalnog sustava i solarnog sustava.

Instalirani troškovi solarne opreme mogu se prikazati kao zbroj dvaju članova, jedan proporcionalan površini kolektora, a drugi neovisan o površini kolektora:

$$C_S = C_A A_C + C_E \quad (1)$$

obrazloženje simbola:

C_S = ukupni trošak instalirane opreme za solarnu energiju

C_A = troškovi koji ovise o ukupnoj površini

A_C = površina kolektora

C_E = ukupni troškovi opreme koji su neovisni o površini kolektora

Troškovi ovisni o površini (C_A) obuhvaćaju stavke kao što su kupnja i ugradnja kolektora te troškovi skladištenja. Troškovi neovisni o površini (C_E) uključuju stavke kao što su kontrola i dovođenje građevinske i montažne opreme na gradilište, koja ne ovisi o površini kolektora. Oprema koju kupuju tvrtke ima druge porezne implikacije.

Nekretnine i oprema koja donosi prihod može se amortizirati, što rezultira smanjenim oporezivim prihodom i time smanjenim porezom na dohodak. Ako je oprema namijenjena za druge svrhe, osim za grijanje zgrada ili klimatizaciju, mogu biti odobrene i porezne olakšice za ulaganje u prvoj godini. Često su dostupni državni poticaji za izgradnju ili ugradnju sustava solarne energije.

Ekonomski problem u dizajniranju solarnih procesa je pronaći sustav s najnižom cijenom. U principu, problem je multivarijabilan, a sve komponente u sustavu i konfiguracija sustava imaju određeni utjecaj na toplinsku iskoristivost, a time i na cijenu. U potrazi za optimalnim dizajnom također se mora uzeti u obzir dizajn sustava potrošača (zgrada, industrijsko postrojenje koje koristi energiju ili neko veće postrojenje). Niska cijena solarne energije razumna je zasluga za sustave u kojima je sunčeva energija jedini izvor energije. Međutim, optimalni dizajn kombiniranog solarnog i pomoćnog energetskeg sustava koji se temelji na minimalnim ukupnim troškovima isporuke energije općenito će se razlikovati od onog koji se temelji na najnižoj cijeni solarne energije [8].

9. ZAKLJUČAK

Tehnološki napredak i porast broja stanovnika pridonose rastućoj potražnji za energijom. Sve veća potražnja za električnom energijom zahtijeva veliki porast generacija energije. Većina raspoloživih energetske izvora tradicionalni su resursi koji su skupi u pogledu instalacije i upotrebe. Također, ti su resursi povezani s nepovoljnim posljedicama na okoliš kao što su globalno zagrijavanje, emisija staklenika i klimatske promjene. Stoga su naponi sada usmjereni na pronalaženje obnovljivih izvora energije, kao što je solarna energija, koja može prirodno pružiti energiju i ublažiti utjecaje na okoliš uzrokovane tradicionalnim resursima ili resursima na bazi fosilnih goriva.

Korištenje sunčeve energije postalo je središnja točka u mnogim istraživanjima širom svijeta kako bi se osigurali čisti energetske izvori koji se proizvode prirodno i imaju manje lošeg utjecaja na okoliš. Solarni termalni dizajn smatra se jednim od najbolje isplativih sustava obnovljivih izvora i ima velik potencijal globalnog rasta. Ova integracija fotonaponskih i toplinskih kolektora ne samo da poboljšava učinkovitost PV sustava, već također proizvodi više energije na određenom području od pojedinačnih fotonaponskih ćelija ili solarnih kolektora.

Trenutna tehnologija sadrži primjenu TPV sustava kroz kolektor zraka, kolektor vode, zgrade, kroz toplinske pumpe, itd. Nadalje, korištenje nanočestica s fluidom kao baznom tekućinom u kanalu, upotreba termoelektrika poticaj izuzetan je poticaj ovoj tehnologiji, jer uvelike poboljšava iskoristivost TPV sustava. Izvedba TPV sustava značajno se poboljšava korištenjem laminiranog sustava, u pogledu budućnosti postoji širok raspon dostupne tehnologije fotonaponskog laminiranja.

Istražene su i predstavljene različite vrste TPV kolektora zajedno sa svojim prednostima i nedostacima. Uz to, proučavani su i drugačiji dizajni apsorbera kako bi se analizirale potencijalne performanse i učinkovitost proizvodnje. Nejednolikost prijenosa topline na solarnom fotonaponskom sustavu zbog protoka vode u apsorberu cijevi također smanjuje učinkovitost sustava. Dizajn apsorbera tekućine vrlo je važan za povećanje prijenosa topline od solarnog fotonaponskog sustava do vode. Uz to, upotreba nano tekućina umjesto vode imat će velik potencijal za poboljšanje prijenosa topline. Međutim, u ovom su trenutku cijene nano tekućina izrazito visoke, ali TPV sustavi su i dalje izrazito zahvalna tehnologija sa velikim prednostima i velikom učinkovitosti.

10. LITERATURA

- [1] Joshi, S.S., Dhoble, A.S. *Renewable and Sustainable Energy Review*. Department of Mechanical Engineering, Visvesvaraya National Institute of Technology, Nagpur, India, 2018.
- [2] Lynn, P.A. *Electricity from Sunlight : An Introduction to Photovoltaics*. John Wiley & Sons, Ltd, UK, 2010.
- [3] Bauer, T. *Thermophotovoltaics: Basic Principles and Critical Aspects of System Design*. Springer, Berlin, 2011.
- [4] Price, G.D. *Renewable Power and Energy: Photovoltaic Systems, Volume I*. Momentum Press, LLC, New York, 2018.
- [5] Diwania, S., Agrawal, S., Siddiqui, A.S., Singh, S. *Photovoltaic-thermal (PV/T) technology: a comprehensive review on applications and its advancement*. International Journal of Energy and Environmental Engineering, Indija, 2019.
- [6] Ali, H.A., Hussein, A.K., Chaichan, M.T., Sopian, K. *Photovoltaic/Thermal (PV/T) Systems: Principles, Design, and Applications*. Springer, Švicarska, 2019.
- [7] Gaiddon, B., Kaan, H., Munro, D. *Photovoltaics in the Urban Environment: Lessons Learnt from Large-scale Projects*. Earthscan, UK, SAD, 2009.
- [8] Duffie, J.A., Beckman, W.A., Blair, N. *Solar Engineering of Thermal Processes, Photovoltaics and Wind*. John Wiley & Sons, Kanada, 2020.

11. ŽIVOTOPIS

Neven Besten rođen je 3.veljače 1996.godine u Koprivnici. Završio je Osnovnu školu „Braća Radić“ te Osnovnu glazbenu školu „Fortunat Pintarić“ u Koprivnici. Godine 2015. završava prirodoslovno-matematičku gimnaziju također u Koprivnici. Trenutno je student Odjela za fiziku, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.