



Broj rada: xxx
DOI broj: xxx

Formatted: Serbian (Latin, Serbia)

UTICAJ SOLARNIH FOTONAPONSKIH ELEKTRANA NA ŽIVOTNU SREDINU

IMPACT OF SOLAR PHOTOVOLTAIC POWER PLANTS ON THE ENVIRONMENT

Formatted: English (United States)

Deleted: PHOTOVOLTIC

Formatted: English (United States)

Formatted: Serbian (Latin, Serbia)

Bogdan PETROVIĆ, Elektrodistribucija Srbije – Ogranak ED Subotica, Srbija
Siniša SPREMIĆ, Elektrodistribucija Srbije – Tehnički centar Novi Sad, Srbija

KRATAK SADRŽAJ

Solarne elektrane mogu biti fotonaponske i koncentrisane termalne. Mnogo veću rasprostranjenost i ukupnu instalisanu snagu imaju fotonaponske solarne elektrane. U radu je dat prikaz dobrih i loših uticaja na životnu sredinu solarnih fotonaponskih elektrana. Dobri uticaji su manje zagađenje vazduha zbog smanjenja korišćenja fosilnih goriva, smanjen uticaj na globalno zagrevanje smanjenim stvaranjem ugljendioksida usled smanjenja korišćenja fosilnih goriva i manje korišćenje vode izbegavanjem njenog korišćenja u radu termoelektrana. Glavni loši uticaji su gubitak ili promena uslova životnog prostora za biljke i životinje, korišćenje opasnih materijala (hemikalija) u proizvodnji fotonaponskih panela i moguća erozija zemljišta. Drugi loši uticaji su stvaranje ugljendioksida u toku proizvodnje, prevoza, ugradnje, održavanja, demontaže i recikliranja i utrošak velike količine električne energije u proizvodnji fotonaponskih panela, a oni se kasnijim korišćenjem solarnih fotonaponskih elektrana nadoknade u smislu da se proizvodi električna energija bez stvaranja ugljen dioksida. Dodatni loši uticaji su na mestu proizvodnje električne energije solarnih fotonaponskih elektrana u smislu moguće izmene lokalne mikroklimе povećanjem temperature i promenom protoka vazduha.

Deleted: disoksida

Ključne reči: fotonaponska, globalno zagrevanje, solarna elektrana, životna sredina

Formatted: Serbian (Latin, Serbia)

ABSTRACT

Formatted: English (United States)

Solar power plants can be photovoltaic and concentrated thermal. Photovoltaic solar power plants are much more widespread and with much higher total installed power. The paper presents the good and bad effects on the environment of solar photovoltaic power plants. Good impacts are less air pollution due to reduced use of fossil fuels, reduced impact on global warming due to reduced carbon dioxide generation due to reducing the use of fossil fuels and less water used, due to avoiding its use in thermal power plants. The main negative impacts are the loss or change of habitat conditions for plants and animals, the use of hazardous materials (chemicals) in the production of photovoltaic panels and possible soil erosion. Other bad impacts are the creation of carbon dioxide during production, transportation, installation, maintenance, dismantling and recycling and the consumption of a large amount of electricity in the production of photovoltaic panels, which are offset by the subsequent use of solar photovoltaic power plants in the sense that electricity is produced without the creation of carbon dioxide. Additional bad impacts are at the place of electricity production of solar photovoltaic power plants in terms of possible changes in the local microclimate by increasing the temperature and changing the air flow.

Key words: Environment, Global warming, Photovoltaic, Solar power plant

Formatted: English (United States)

Formatted: Serbian (Latin, Serbia)

Bogdan Petrović, Segedinski put 22-24, 24000 Subotica, Srbija, bogdan.petrovicSU@ods.rs
Siniša Spremić, Bulevar oslobođenja 100, 21000 Novi Sad, Srbija, sinisa.spremic@ods.rs

Formatted: Serbian (Latin, Serbia)

Formatted: Serbian (Latin, Serbia)

Formatted: Serbian (Latin, Serbia)

Formatted: Serbian (Latin, Serbia)

1. UVOD

Solarnim fotonaponskim elektranama (u daljem tekstu: SFE) će se u nastavku teksta smatrati fotonaponski paneli u domaćinstvima i malim poslovnim prostorima i ostale SFE. U poslednjih tridesetak godina je značajno porasla instalisana snaga SFE. U 1996. godini je instalisana snaga SFE u svetu bila oko 0,3 GW, a u 2022. godini 1061,7

GW [1]. Ovako veliko povećanje instalisane snage SFE je u početku uzrokovano podsticajima vlada, a kasnije je omasovljenjem proizvodnje došlo do pojeftinjenja komponenti i fotonaponskih panela što je dovelo do još značajnijeg povećanja instalisane snage SFE. Proizvedena električna energija SFE je 1996. godine bila zanemariva u odnosu na ukupnu svetsku proizvodnju električne energije. U 2021. godini je električna energija proizvedena u SFE bila 1036 TWh, a u 2021. godini ukupna proizvedena električna energija u svetu je bila 28.003 TWh. Udeo električne energije proizvedene u SFE je oko 3,7% ukupno proizvedene električne energije u svetu. Vetroelektrane u ukupnoj proizvodnji električne energije u svetu u 2021. godini učestvuju sa 6,6% [1].

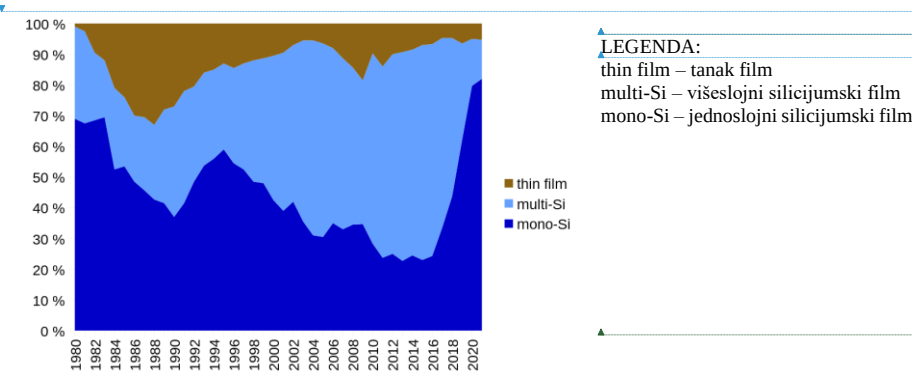
Ukupna proizvodnja električne energije u Srbiji je u 2021. godini bila 38,18 TWh [1] što je blizu 3,8% od proizvodnje električne energije u SFE u svetu ili oko 0,14% ukupno proizvedene električne energije u svetu.

2. SAGLEDAVANJE OSNOVNIH PODATAKA O FOTONAPONSKIM PANELIMA I SFE

Masa prosečnog fotonaponskog panela je oko 18 kg sa prosečnom površinom od oko 1,65 m². Procenjena snaga prosečnog fotonaponskog panela je oko 330 W. Procena instalisane snage fotonaponskih panela u 2023. godini je 413 GW, a rast instalisane snage je oko 20% godišnje u poslednjih nekoliko godina [1]. Deljenjem instalisane snage fotonaponskih panela u 2023. godini sa procenjenom snagom i površinom prosečnog fotonaponskog panela dobijemo da je površina fotonaponskih panela samo u 2023. godini bila 758,5 km². Procena je da se za komercijalne SFE po jednom km² površine, zavisno od izvedbe (nepomični ili pomerajući paneli), mogu dobiti snage od 45 MW do 69 MW [2]. Potrebna površina po MW zavisi od solarne tehnologije, korisnosti panela, lokalne klime i projektnih uslova. Za dalji proračun se koristi snaga od 50 MW po km² površine. Time bi zauzeta površina po ovom proračunu bila 8260 km² ili oko 10 puta više od procenjene površine fotonaponskih panela. Uz pretpostavku da bi, za sve SFE komercijalnog tipa, ukupna zauzeta površina u svetu bila 21.234 km², što je površina nešto manja od četvrtine površine Srbije (88.499 km²).

Procenjena masa proizvedenih fotonaponskih panela u 2023. godini iznosi 22.527.272 tona, a za ukupno instalisane fotonaponske panele u svetu procenjena masa iznosi 57.910.910 tona. Okviri i nosači panela, ograde, povezni kablovi do invertorskog postrojenja, invertorsko postrojenje, transformatorska stanica, dalekovod i drugo su dodatni materijali koji se koriste za SFE, a takođe i akumulatorske baterije ukoliko postoji skladištenje električne energije.

Na slici 1 je prikazana svetska tržišna raspodela fotonaponskih tehnologija po godinama [3]. Ukoliko cene fotonaponskih panela i druge opreme, cene električne energije i podsticaji ostanu na postojećem nivou, može se očekivati značajan dalji rast instalisane snage SFE.



Slika 1 – Svetska tržišna raspodela fotonaponskih tehnologija po godinama [3]

Tehnologija tankog filma koristi CdTe kristale, višeslojni silicijumski film je sastavljen od više slojeva silicijuma, a jednoslojni silicijumski film ima jedan sloj silicijuma. Paneli od višeslojnog silicijumskog filma su jeftiniji zbog jednostavnijeg proizvodnog postupka, ali su manje efikasni zbog težeg kretanja elektrona u debljem sloju. Višeslojni silicijumski film je time bolji za okolinu zbog manje uložene energije prilikom proizvodnje, ali je zbog slabije efikasnosti u proizvodnji električne energije u odnosu na jednoslojni silicijumski film, gledano dugoročno njegov pozitivan uticaj na globalno zagrevanje manji. Tanki film sa CdTe se pokazao kao najjeftinija i najefikasnija

Deleted: ¶

Formatted: Serbian (Latin, Serbia)

Formatted: Serbian (Latin, Serbia)

Formatted: Serbian (Latin, Serbia)

Formatted: Serbian (Latin, Serbia)

Formatted: Serbian (Latin, Serbia)

Deleted: e

Moved (insertion) [1]

Formatted: Serbian (Latin, Serbia)

Deleted: ¶

Deleted: Prema prethodno navedenom može se očekivati značajno povećanje instalisane snage SFE u svetu.¶

Moved up [1]: Na slici 1 je prikazana svetska tržišna raspodela fotonaponskih tehnologija po godinama [3].¶

Formatted: Serbian (Latin, Serbia)

Formatted: Serbian (Latin, Serbia)

Moved down [2]: Slika 1 – Svetska tržišna raspodela fotonaponskih tehnologija po godinama [3]¶

Moved (insertion) [2]

Formatted: Centered

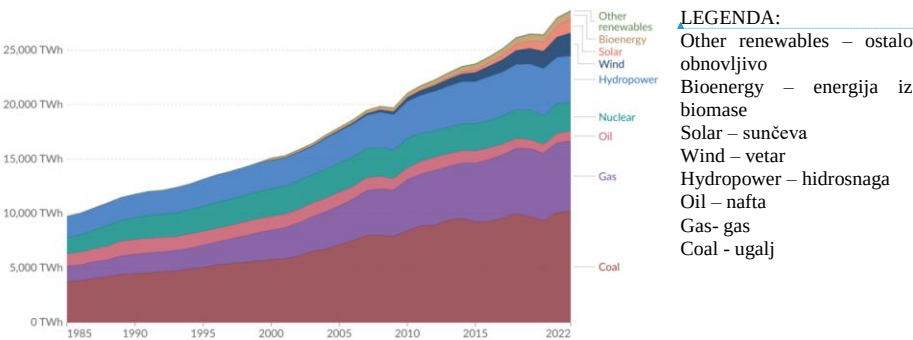
opcija za panele, ali je zbog korišćenja kadmijuma (Cd) koji je otrovan i kancerogen neprihvatljiva zbog mogućeg lošeg uticaja na ljude i okolinu. To je razlog zbog čega se sve manje koristi.

3. DOBRI UTICAJI SFE NA ŽIVOTNU SREDINU

SFE imaju dobre uticaje na životnu sredinu. To su:

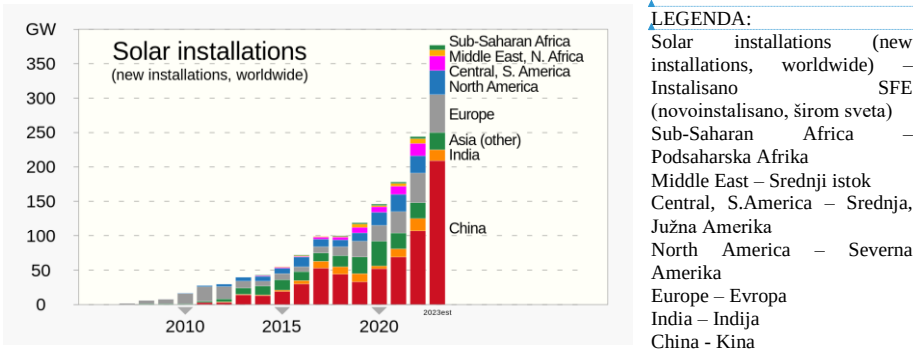
- 1. Manje zagađenje vazduha zbog smanjenja korišćenja fosilnih goriva (ugalj, nafta, gas) u termoelektranama.
- 2. Smanjen uticaj na globalno zagrevanje smanjenim stvaranjem ugljen dioksida i time smanjen uticaj staklene bašte.
- 3. Manje korišćenje vode izbegavanjem njenog korišćenja u radu termoelektrana i time manje zagrevanje reka, jezera i mora, manje isparavanje vode i promena mikroklimе (na primer česta pojava magle koje nekad nije bilo u većoj meri).

Na slici 2 je prikazana promena udela pojedinih vrsta goriva ili izvora u proizvodnji električne energije u svetu [1]. U razdoblju od 10 godina (2012. do 2022. godine) prosečno godišnje povećanje utrošene električne energije u svetu je iznosilo 633,3 TWh. Proizvodnja električne energije u SFE je bila 1036 TWh u 2021. godini. U prethodnom razdoblju se uočava značajan rast proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora (izuzev hidroelektrana) pa se može očekivati značajno povećanje u narednom razdoblju. U narednom razdoblju se može očekivati pad proizvodnje električne energije iz termoelektrana na naftu zbog visoke cene, na ugalj zbog želje i potrebe većeg broja zemalja za izbegavanje značajnog zagađenja okoline. Očekivana povećana tražnja električne energije u svetu se može pokriti iz značajno povećane proizvodnje električne energije iz SFE i drugih obnovljivih izvora čime se smanjuje zagađenje vazduha i smanjuje uticaj staklene bašte.



Slika 2 – Udeo pojedinih vrsta goriva ili izvora u proizvodnji električne energije u svetu [1]

Na slici 3 je prikazana promena instalisane snage SFE u svetu po godinama i regionima [7]



Slika 3 – Instalisana snaga SFE u svetu po godinama i regionima [7]

Formatted: Serbian (Latin, Serbia)

Formatted: Serbian (Latin, Serbia)

Deleted: pojedinih

Formatted: Serbian (Latin, Serbia)

Formatted: Serbian (Latin, Serbia)

Deleted: enegije

Formatted: Serbian (Latin, Serbia)

Formatted: Serbian (Latin, Serbia)

LEGENDA:
Other renewables – ostalo obnovljivo
Bioenergy – energija iz biomase
Solar – sunčeva
Wind – vetar
Hydropower – hidrosnaga
Oil – nafta
Gas – gas
Coal – ugalj

Formatted: Serbian (Latin, Serbia)

Formatted: Serbian (Latin, Serbia)

LEGENDA:
Solar installations (new installations, worldwide) – Instalisan SFE (novoinstalirano, širom sveta)
Sub-Saharan Africa – Pod-Saharska Afrika
Middle East – Srednji istok
Central, S. America – Srednja, Južna Amerika
North America – Severna Amerika
Europe – Evropa
India – Indija
China – Kina

Formatted: Centered

Sa slike 3 se vidi da je rast instalisane snage SFE od oko 50% godišnje u prethodne dve godine. Ukoliko se ovaj trend nastavi, SFE bi za nekoliko godina mogle pokrivati 10% svetske potražnje električne energije.

4. LOŠI UTICAJI SFE NA ŽIVOTNU SREDINU

Loši uticaji SFE na životnu sredinu su:

1. Gubitak ili promena uslova životnog prostora za biljke, životinje i ljude.
2. Moguća je izmena lokalne mikroklimе povećanjem temperature i promenom protoka vazduha.
3. Moguća erozija zemljišta.
4. Korišćenje opasnih materijala (hemikalija) u proizvodnji fotonaponskih panela i druge opreme SFE.
5. Recikliranje.
6. Stvaranje ugljen-dioksida u toku proizvodnje, prevoza, ugradnje, održavanja, demontaže i recikliranja i utrošak velike količine električne energije u proizvodnji fotonaponskih panela.

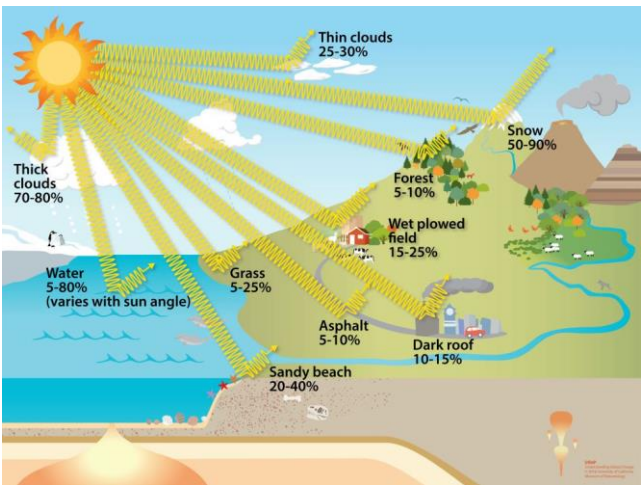
4.1. Gubitak ili promena uslova životnog prostora za biljke, životinje i ljude

Zbog krčenja šuma i drugog višeg rastinja i kasnijeg održavanja tog stanja zbog izgradnje SFE gubi se životni prostor, na koji su navikle životinje koje su tu obitavale. Na ljude je uticaj uglavnom vizuelan.

U drugim slučajevima gde se ne vrši krčenje dolazi do promena na površini zemljišta izgradnjom nosača fotonaponskih panela i druge opreme koja se koristi u SFE. Pored toga menja se obasjavanje zemljišta jer je deo zemljišta u senci fotonaponskih panela što utiče na promenu vlažnosti i strukture zemljišta i time uslova za biljke i životinjski svet.

4.2. Izmjena lokalne mikroklimе povećanjem temperature i promenom protoka vazduha

Ova tačka je povezana sa tačkom 4.1. Na slici 4 [5] je prikazana odsjaj (refleksija) sunčeve svetlosti od različitih površina, a na slici 5 [6] je dat prikaz snaga obasjavanja zemlje od sunčeve svetlosti, odsjaja i zračenja (radijacije) sunčeve svetlosti od atmosfere i zemljine površine.

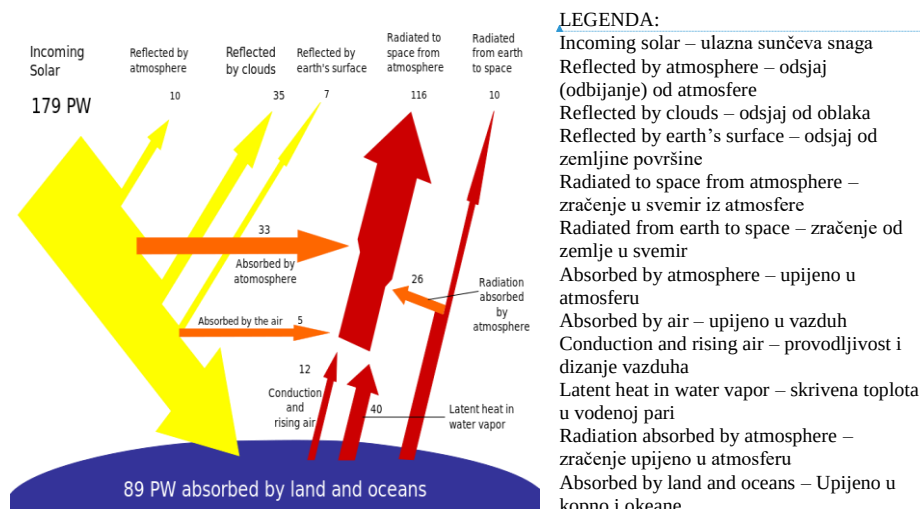


Slika 4 – Odsjaj sunčeve svetlosti od različitih površina [5]

Upijanje sunčeve svetlosti solarne ćelije je oko 90% pa se oko 10% odbije. Većina solarnih ćelija pretvori 10-30% sunčeve svetlosti u električnu energiju, a ostalih 80-60% se pretvori u toplotu.

SFE se najčešće grade na površinama i područjima koja su otvorena, slabo naseljena, koja nisu odgovarajuća za poljoprivredu, krovovima koji mogu izdržati dodatni teret, uopšteno rečeno površine i područja koja su gotovo neupotrebljiva za druge delatnosti. Često su to pustinjska, polupustinjska, brdovita i planinska područja, livade, a nekad i vodene površine. Može se reći da se veći deo SFE postavlja u područja na površine u kojima je odsjaj

sunčeve svetlosti značajno veći nego kod SFE. To znači da se veliki deo sunčeve svetlosti pretvori u toplotu na mestu SFE, zagreva dodatno vazduh što može da uzrokuje i lokalnu promenu strujanja vazduha. Pored gubitka životnog prostora na koji su navikli, biljke i životinje su, ukoliko se pokušaju priviknuti na tu promenu, dodatno izloženi lokalnoj promeni klime u smislu izloženosti povećanoj temperaturi u razdobljima obasjavanja sunca.



Slika 5 – Snage obasjavanje zemlje od sunčeve svetlosti, odsjaj i zračenje od različitih površina [6]

Iako je od ukupne energije kojom sunce obasjava zemlju mala količina trenutno koristi u SFE ipak se donekle menja odsjaj i zračenje usled pojave SFE. Pitanje je koliki je dodatni uticaj SFE na globalno zagrevanje.

4.3. Erozijska zemljišta

Lokalno povećanje temperature uzrokuje i promene u strujanju vazduha što može da dovede do isušivanja zemljišta i dodatne promene uslova životne sredine. Ovo, uz određene zemljane radove na izgradnji SFE, može da dovede do erozije zemljišta, posebno u uslovima vremenskih nepogoda. Obilne kiše koje se mogu povremeno pojaviti uz slivanje vode niz fotonaponske panele, stvaranje vodnih kanala i jaruga mogu izazvati značajnu eroziju zemljišta i lokalne poplave gde nisu očekivane. To može izazvati oštećenje opreme SFE što posledično može dovesti do zagađenja okoline opasnim materijama iz opreme SFE (transformatori, akumulatorske baterije, i drugo). Na eroziju treba obratiti posebnu pažnju prilikom projektovanja.

4.4. Korišćenje opasnih materija (hemikalija) u proizvodnji fotonaponskih panela i druge opreme SFE

Za proizvodnju fotonaponskih panela i druge opreme za izgradnju SFE se koriste opasne materije (između ostalih hemikalije) koje imaju negativan uticaj na životnu sredinu. Očekivano značajno povećanje proizvodnje fotonaponskih panela će povećati korišćenje opasnih materija u proizvodnji.

Prethodno je navedena tehnologija tankog filma fotonaponskih panela koristi CdTe kristale. Postotni udeo te tehnologije se lagano smanjuje prema slici 1, ali se zbog očekivanog značajnog povećanja proizvodnje fotonaponskih panela može očekivati i veća proizvodnja tog tipa fotonaponskih panela.

4.5. Recikliranje

S obzirom da je vek trajanja solarnih fotonaponskih panela od 20-25 godina, iako neki proizvođači garantuju i više, vek trajanja je ipak kraći od opreme koja se koristi u termoelektranama i hidroelektranama. Može se pretpostaviti da se, nakon ukazane potrebe da se solarni fotonaponski paneli zamene novim, neće ukidati SFE, već će se u sklopu održavanja izvršiti zamena fotonaponskih panela. Stari neupotrebljivi solarni fotonaponski paneli se recikliraju u skladu sa propisima. U 2021. godini je bilo 30.000 tona otpada fotonaponskih panela, a procena je da će rasti na milion tona u 2035. godini i više od 10 miliona tona u 2050. godini [7]. Kraći vek trajanja imaju

invertori i posebno akumulatorske baterije (ako se u SFE skladišti električna energija), a akumulatorske baterije predstavljaju opasan otpad i mogući izvor zagađenja životne sredine. Najveću količinu u otpadu čine metal, staklo i plastika.

4.6. Stvaranje ugljendioksida u toku proizvodnje, prevoza, ugradnje, održavanja, demontaže i recikliranja i utrošak velike količine električne energije u proizvodnji fotonaponskih panela

Stvaranje ugljen dioksida u toku proizvodnje, prevoza, ugradnje, održavanja, demontaže i recikliranja i utrošak velike količine električne energije u proizvodnji fotonaponskih panela se dugotrajnom proizvodnjom električne energije u SFE nadoknade u smislu da se proizvodi električna energija bez stvaranja ugljen disoksida i bez zagađenja vazduha. Ovo znači da proizvodnja električne energije iz SFE pokriva električnu energiju potrebnu za proizvodnju fotonaponskih panela i druge opreme u SFE. Dugoročno dovodi do smanjenja efekta staklene bašte.

5. POREĐENJE DOBRIH I LOŠIH UTICAJA SFE NA ŽIVOTNU SREDINU

Glavni dobri uticaji na životnu sredinu SFE kao obnovljivog izvora su manje zagađenje vazduha i smanjena proizvodnja ugljen dioksida ukoliko uspeju da zamene veći deo proizvodnje električne energije termoelektrana na fosilna goriva. Sporedan dobar uticaj je manje korišćenje vode nego kod proizvodnje električne energije iz termoelektrana na fosilna goriva.

Glavni loši uticaji na životnu srednu SFE su promena uslova životnog prostora za biljke, životinje i ljude te korišćenje opasnih materija u proizvodnji fotonaponskih panela i druge opreme SFE. Ostali loši uticaji su sporedni. Dobrim projektovanjem može se u većini slučajeva izbeći erozija zemljišta. Recikliranje se propisima i novim tehnologijama može poboljšati. Ugljen dioksid koji se stvara u toku proizvodnje, prevoza, ugradnje, održavanja, demontaže i recikliranja i utrošak velike količine električne energije u proizvodnji fotonaponskih panela se u potpunosti nadoknadi proizvodnjom obnovljive električne energije u SFE.

Ostaje pitanje da li se sunčeva energija koja se u fotonaponskim panelima pretvori u toplotnu energiju, umesto da se odsajem od površine zemljišta odmah vrati u svemir, dugoročno takođe vrati u svemir zračenjem ili se zbog efekta staklene bašte zadrži u zemljinoj atmosferi utičući na povećanje globalnog zagrevanja.

6. ZAKLJUČAK

Uzimajući u obzir dobre i loše uticaje SFE na životnu sredinu može se reći da preovlađuju dobri uticaji. Neophodno je praćenje svih postupaka od proizvodnje delova, izgradnje SFE do recikliranja otpada kako bi se loši uticaji na životnu sredinu sveli na najmanju moguću meru.

Potrebno je uesti praćenje uticaja na životnu sredinu u i pored SFE, pre i nakon izgradnje. Praćenje treba najmanje da obuhvati temperaturu, vlažnost vazduha, karakteristike tla, uticaj na životinje i njihovu brojnost i uticaj na biljke.

LITERATURA

[1] Yearly electricity data, ember-climate.org. 6 December 2023.

[2] Bolinger M., Bolinger G., Land Requirements for Utility-Scale PV: An Empirical Update on Power and Energy Density, IEEE JOURNAL OF PHOTOVOLTAICS, VOL. 12, NO. 2, MARCH 2022.

[3] Photovoltaics Report. Fraunhofer ISE. Freiburg, 21 February 2023, (<https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>) – pristupljeno 18.04.2024. godine)

[4] By RCraig 09 - Own work, CC BY-SA 4.0, (<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=137881716>, – pristupljeno 19.04.2024. godine)

[5] Marshall C. et al., 2024, "UNDERSTANDING GLOBAL CHANGE - Absorption / reflection of sunlight", (<https://ugc.berkeley.edu/background-content/reflection-absorption-sunlight/> - pristupljeno 19.04.2024. godine)

[6] Frank van Mierlo Graphic, CC BY-SA 3.0., (https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_energy - pristupljeno 19.04.2024. godine)

[7] Krueger L., Overview of First Solar's Module Collection and Recycling Program, Brookhaven National Laboratory. p. 23, March 2017.

Deleted: ¶

Formatted: Serbian (Latin, Serbia)

Formatted: Serbian (Latin, Serbia)

Formatted: Serbian (Latin, Serbia)

Formatted: Serbian (Latin, Serbia)

Formatted: Serbian (Latin, Serbia)

Formatted: Serbian (Latin, Serbia)

Formatted: Serbian (Latin, Serbia)

Formatted: Serbian (Latin, Serbia)

Formatted: Serbian (Latin, Serbia)

Formatted: Serbian (Latin, Serbia)

Formatted: Serbian (Latin, Serbia)

Formatted: Serbian (Latin, Serbia)

Formatted: Serbian (Latin, Serbia)

Formatted: Serbian (Latin, Serbia)