

Solarni paneli u kolovozima: prednosti, ograničenja i budući razvoj

NAZIM U. MANIĆ, Državni univerzitet u Novom Pazaru, Novi Pazar

ORCID: 0000-0001-8346-8255

SELVER H. IKIĆ, Opština Novi Pazar, Novi Pazar

EMIR Š. MASLAK, Državni univerzitet u Novom Pazaru,
Novi Pazar

ORCID: 0009-0004-2189-4282

DŽEMIL N. MANIĆ, Državni univerzitet u Novom Pazaru, Novi Pazar

ORCID: 0009-0008-9867-0905

Pregledni rad

UDC: 621.383.51:625.8

502.171:[620.92:523.9

DOI: 10.5937/tehnika2406673M

Upotreba solarnih panela u kolovoznim zastorima predstavlja inovativan pristup integraciji obnovljivih izvora energije, solarne energije u svakodnevnu infrastrukturu. Ovaj rad istražuje ključne aspekte ove tehnologije, uključujući njene prednosti, nedostatke i potencijal za budući razvoj. Prednosti uključuju poboljšanje energetske efikasnosti i smanjenje zavisnosti od fosilnih goriva, kao i mogućnost generisanja električne energije direktno na mestu gde je potrebna, što može doprineti smanjenju troškova energije. Solarni paneli u kolovoznim zastorima takođe mogu pomoći u smanjenju zagađenja vazduha i poboljšanju ekoloških standarda u urbanim područjima.

Nedostaci obuhvataju izazove kao što su visoki troškovi instalacije i održavanja, potreba za redovnim čišćenjem panela zbog nakupljanja prljavštine i smeća, kao i ograničena efikasnost u uslovima lošeg vremena ili tokom noći. Takođe, postoji potreba za adaptacijom infrastrukture i mogućim estetskim ili strukturalnim preprekama u implementaciji.

Budućnost primene solarnih panela u kolovoznim zastorima deluje obećavajuće, sa mogućnostima za unapređenje tehnologije, smanjenje troškova i povećanje energetske efikasnosti.

Ovaj rad pruža sveobuhvatan pregled trenutne primene solarnih panela u kolovoznim zastorima, ukazuje na postojeće izazove i nudi preporuke za buduća istraživanja i razvoj u ovom uzbudljivom polju tehnologije obnovljive energije.

Ključne reči: solarna energija, električna energija, kolovoz, saobraćaj, solarni put, životna sredina

1. UVOD

Primena solarnih panela u kolovoznim konstrukcijama predstavlja inovativan način očuvanja životne sredine, proizvodnje solarne energije, povećanje bezbednosti saobraćaja i ekonomski razvoj područja u celini. Solarni putevi, kao krajnji proizvod i direktna primena solarnih panela ugradnjom u kolovozne zastore, predstavljaju puteve budućnosti.

Solarna energija je obnovljiva energija Sunčevog zračenja koja na Zemlju dolazi u obliku svetlosti i topline. Intenzitet Sunčevog zračenja u kosmosu je zbog promene rastojanja između Zemlje i Sunca sa godišnjim dobima podložan oscilacijama od oko $\pm 1,7\%$.

Adresa autora: Nazim Manić, Državni univerzitet u Novom Pazaru, Novi Pazar, Vuka Karadžića 9

e-mail: nmanic@np.ac.rs

Rad primljen: 28.08.2024.

Rad prihvaćen: 06.09.2024.

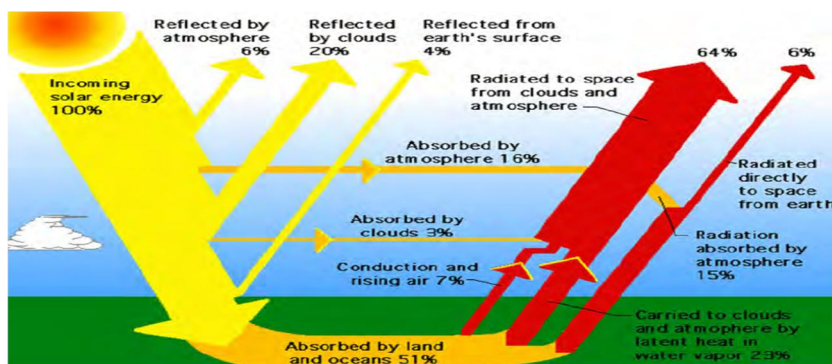
Srednja vrednost solarne konstante iznosi, $E_0 = 1.376 \text{ W/m}^2$. Na površini Zemlje je ta vrednost umanjena zbog uticaja atmosfere i pojava koje se javljaju kao što je refleksija, apsorpcija i rasipanje. Srednji intenzitet Sunčevog zračenja u sunčanom danu, na Zemlji iznosi oko 1.000 W/m^2 .

U toku godine Sunce preda Zemlji energiju od 220.000 biliona kWh, što je preko 2.500 puta više od energetske potrebe celog čovečanstva, ili 25 puta više energije nego što se može dobiti iz svih rezervi fosilnih goriva. [30]

Planeta Zemlja konstantno prima 174 PW (petavata) odnosno 174.000.000.000,00 MW (megavata) godišnje dolaznog Sunčevog zračenja (insolacije) u gornjim slojevima atmosfere. Približno 30% se reflektuje nazad u svemir, dok ostatak od 120 PW apsorbiraju oblaci, okeani i kopnene površine. Ovo je u jednom satu više energije nego što čitavo čovečanstvo potroši tokom jedne godine.



Slika 1 - a) Termoelektrana na ugalj; b) Ilustrativni prikaz obnovljivih izvora energije



Slika 2 - Bilans Sunčevog zračenja na Zemlji [1]

Na većinskom delu Zemljine površine prosečna insolacija iznosi 150-300 W/m².

Prilikom pretvaranja solarne energije u električnu dolazi do velikih gubitaka, odnos proizvedene električne snage i snage kojim Sunce zrači na solarnu ćeliju naziva se stepen korisnog dejstva, za standardne solarne ćelije iznosi 12-18%. Sunčevo zračenje na planeti Zemlji bez gubitaka je oko 1.000 W/m², ono pada na monokristalnu ćeliju veličine 10x10 cm, dozrači 10 W Sunčeve energije. Pri stepenu iskorišćenja od 18% ćelija odaje snagu od 1,8 W pa je za solarni konvertor snage 1,8 kW potrebno 1.000 takvih solarnih ćelija. [30]. Zbog male snage solarne ćelije, u praksi više ćelija povezuju, čime se formira fotonaponski modul, spajanjem modula nastaje solarni panel. Izgradnja i rekonstrukcija asfaltnih puteva ima veliki uticaj na životnu sredinu i to kroz oštećenje ekosistema, permanentno remećenje lokalnih ekonomskih aktivnosti, demografske promene, ubranu urbanizaciju, sečenje šuma, premeštaj ili gubitak staništa, zagađenje vazduha, vode i tla, erozija tla, uništavanje poljoprivrednog

zemljišta, buka i dr. Da bi se smanjili ovi negativni uticaji, važno je pažljivo planirati izgradnju puteva, koristiti ekološki prihvatljive materijale i tehnologije kao što su solarni putevi.

2. SOLARNI PUTEVI

U cilju sprečavanja ili ublažavanja klimatskih promena kreirano je mnogo različitih rešenja, od kojih su mnoga isprobana i nisu dovoljno efikasna. Potreban je sistem sveobuhvatnijih, dakle multifunkcionalnih rešenja. Jedno od mogućih rešenja je povećanje korišćenja obnovljive neiscrpane Solarne energije, uz istovremeno višenamjensko smanjenje upotrebe fosilnih goriva.

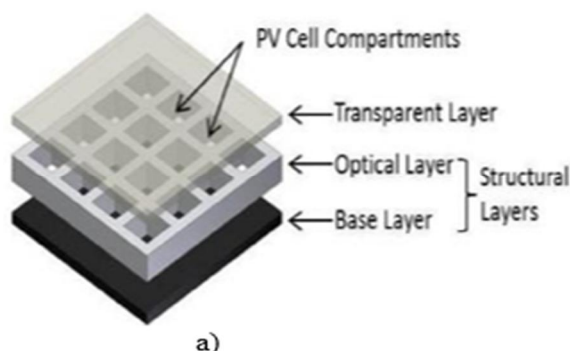
Stoga je razvoj tehnologija i korišćenje solarne energije od prioritnog značaja. Saobraćajna infrastruktura je izložena velikoj Sunčevoj svetlosti. Prikupljanje solarne energije iz saobraćajne infrastrukture je atraktivno, jer daje mogućnost prikupljanja solarne energije korišćenjem infrastrukture koja već postoji.



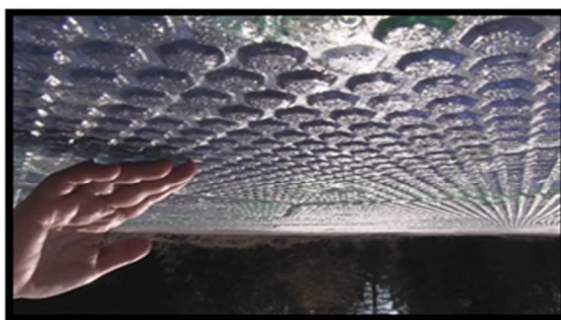
Slika 3 - a) Solarni put [36], b) Solarni put sa upozorenjem „SLOW“ [2]

Solarni putevi su niz strukturno projektovanih, međusobno povezanih solarnih panela po kojima se odvija saobraćaj. Nedavno su počela istraživanja termoelektričnih sistema za izdvajanje toplotne energije sa puteva i direktno je pretvarajući u električnu energiju. Međutim, koncept fotonaponskih ćelija direktno

pretvara Sunčevu svetlost u električnu energiju na površini kolovoza bez toplotne ili vibracijske konverzije [53]. U konstruktivnom smislu solarni putni panel čine dva osnovna sloja: površinski sloj i strukturalni sloj, koji se sastoji od sloja elektronike (optike) i sloja osnovne ploče.



a)

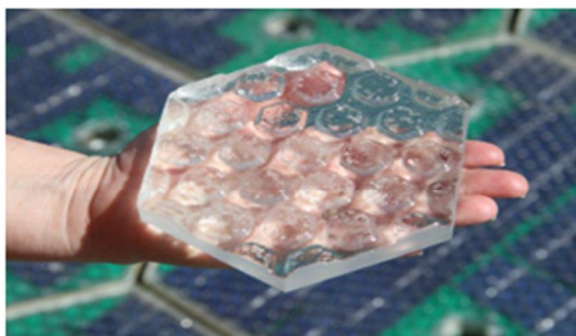


b)

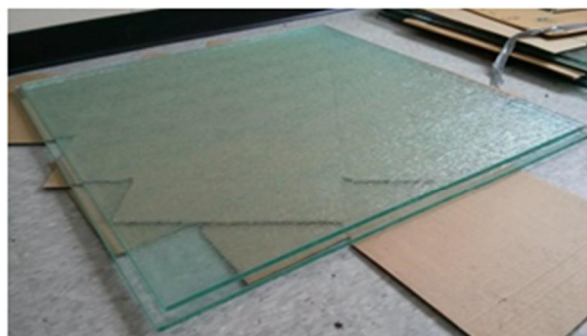
Slika 4 - a) Slojevi solarnog putnog panela [2]; b) Površinski sloj solarnog puta [3]

Površinski sloj solarnog puta mora biti čvrst, proziran, otporan na dejstvo atmosveralija i visokog koeficijenta trenja. [3]

Akrilni materijali, polikarbonat i kaljeno staklo su najčešće korišćeni materijali u površinskom sloju.



a)



b)

Slika 5 - (a) Kaljeno staklo[4], (b) Površinski sloj solarnog puta [5]

Tabela 1. Mehanička svojstva materijala prozirnog sloja solarnih panela

Materijal	Kategorija	Čvrstoća na pritisak (MPa)	Jungov Modul elastičnosti (*10 ³ MPa)	Zapreminska gustina (kg/m ³)
Akrilni materijal	Proziran	95,0	2,87	655
Polikarbonat	Proziran	70,0	2,35	1130
Kaljeno staklo	Proziran	>5000	72,0	2500
Beton za kolovoz	Neproiziran	32	29,6	2320
Asfalt za kolovoz	Neproiziran	21	2,76	2460

Navedeni materijali pokazuju veću čvrstoću na pritisak od tipičnog betona i asfalta za kolovoz, odgovoraju izdržljivosti i otpornosti na najveća opterećenja na kolovozu. Akrilni materijali i polikarbonat pokazuju elastičnost sličnu asfaltu, što može uzrokovati

probleme u projektovanju prozirnog sloja jer su oni konzolno postavljeni preko solarnih ćelija i može doći do nepoželjnih velikih deformacija, velike deformacije mogu oštetiti solarne ćelije. [5] Akrilni materijali i polikarbonat pod opterećenjem vozila obično pokazuju

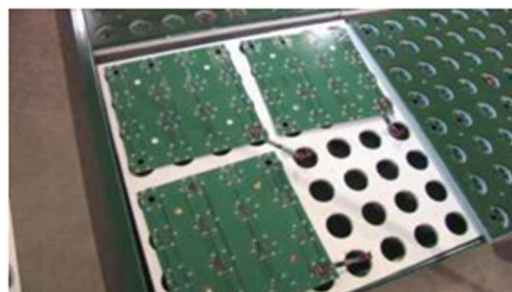
plastične deformacije, utiču na deformacije donjih slojeva koje takođe postaju plastične.

Takođe, verzije akrilnih materijala i polikarbonata sa visokom sposobnošću propuštanja Sunčeve svetlosti, obično su napravljene za temperature iznad 0°C, prolazak Sunčevih zraka u zimskim uslovima kod ovih materijala bio bi znatno manji. [6]

Kaljeno staklo ima veliku razliku u Jungovom modulu, ima krutost čak veću i od betona. Upotreba kaljenog stakla takođe znači da ukoliko bi došlo do pucanja bilo koje panelne ploče, ona bi se razbila u vrlo male komadiće, koje ne bi bile opasne po pneumatike vozila, dok koncept laminacije ovih ploča takođe pomaže u vezivanju ovih slomljenih krhotina za druge slojeve stakla u panel, tako da neće doći do rasipanja. [5]



a)



b)

Slika 6 - a) Model solarnog putnog panela [8], b) Mikroprocersorska ploča [3]

Optički sloj sadrži mikroprocesorsku ploču podržanu sa elektronskim senzorima koji služe za detektovanje opterećenja na površini kolovoza kao i

temperature njegove površine. Mikroprocesorske ploče upravljaju osvetljenjem, komunikacijama, praćenjem, itd. [3]



a)



b)

Slika 7 - a) Osnovni sloj ploče od fiberglasa [5], b) Ivica solarnog puta za prikupljanje atmosferskih voda [3]

Osnovni sloj ploče sastoji se od četiri ploče fiberglasa koje su spojene u jednu celinu. Glavna funkcija ovog sloja jeste da izdrži potrebna opterećenja, za šta su potrebni njegova debljina i odgovarajuća otpornost.

Celokupni dizajn solarnog panela osmišljen kao kompozit dva materijala, vrlo krto stakla i elastičnog fiberglasa, jedan od ključnih stvari jeste odrediti potrebnu debljinu osnovnog sloja, i obezbeđenje kompaktnosti prilikom opterećenja imajući u vidu karakteristike ponašanja staklenog sloja iznad. Panel će imati

svoje ležište, onda će sloj fiberglasa sprečiti lom stakla pri pojavi napona zatezanja u panelu, odnosno, sloj fiberglasa će napone zatezanja čak i umanjiti. [9]

3. PREDNOSTI I NEDOSTACI SOLARNIH PUTEVA

Prema dosadašnjim laboratorijskim ispitivanjima i iskustvima iz praktične primene solarnih putnih panela, prednosti solarnih putnih panela su mnogobrojne, nabrojaćemo samo neke:

- Pozitivan efekat na životnu sredinu, smanjenje efekta staklene baste, manja emisija CO₂,
- Postojanje Sunčeve energije u neograničenim količinama,
- Dug životni vek solarnih puteva, oko 20 godina je mnogo duži od asfaltnih puteva,
- Održavanje i popravke solarnih puteva su brze i jeftine, ne utiče na kvalitet kolovoza,
- Minimalna upotreba fosilnih goriva, smanjenje „ugljičnog otiska“,
- Sigurnija energija u slučaju katastrofa i potrebe za vojnom i spasilačkom pomoći,
- Upotreba postojećih asfaltnih putnih površina za izgradnju solarnih puteva,
- Eliminacija pojave pukotina na kolovozu nastalih usled smrzavanja i odmrzavanja,
- Praćenje vozila visokog rizika pomoću inteligentne pametne mreže solarnih puteva se može formirati ugradnjom RFID (Radio Frequency Identification - radio frekventna identifikacija), [10]
- Upozorenje na nesavesno ponašanje vozača, crtanjem prstena oko vozila kojim LED diode će označiti i tim prstenom pratiti vozilo, upozoravajući ostala vozila na nesavesnog vozača, i saopštiti prvaj patroli saobraćajne policije,



a)



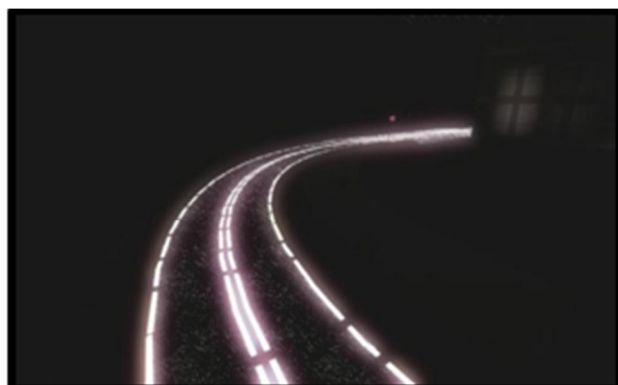
b)

Slika 8 - a) Inteligentni put [11]; b) Stvaranje „prstena“ oko vozila na solarnom putu [9]

- Može čak obavestiti policiju i pomoći im u pronalaženju ukradenih i praćenju sumnjivih vozila.
- Automatsko topljenje snega i leda bez dodatnih troškova, nema upotrebe soli i štetnih posledica od nje, [12]
- Mogućnost prikaza LED osvetljenih adresa i mogućnost dodavanja prilagođenog teksta, trenutno prilagodiv sportski teren i slično, [12]
- Automatsko i bolje osvetljenje samo po potrebi, čipovi će dati signal LED diodama da svetle samo kada oseti automobil u blizini, što će i vozilu iz suprotnog smera biti signala da ima vozilo u susret. Davanje signala vozaču ako prekorači dozvoljenu brzinu.
- LED diode mogu davati upozorenje vozačima ukoliko postoji opasnost od moguće pojave ili je već na putu neka divlja životinja, nailazak na raskrsnicu, upozorenje na saobraćajne nezgode i zastoje u saobraćaju, pa čak i preporučiti obilaske oko nje,
- Centralne kontrolne stanice će moći trenutno prilagođavati tekst na kolovozu u realnom vremenu, ublažavajući saobraćajne gužve i čineći saobraćaj efikasnijim i sigurnijim, [6].



a)

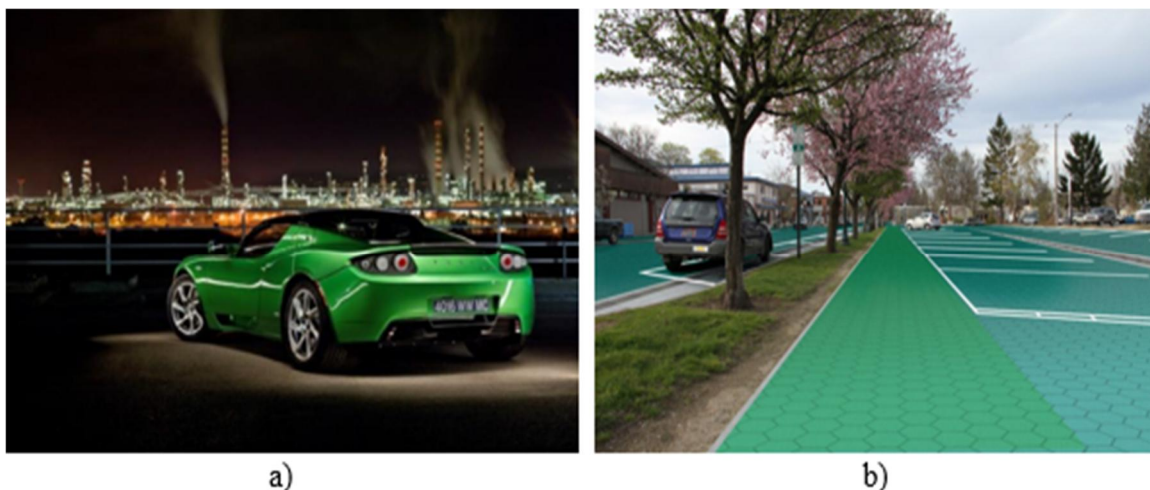


b)

Slika 9 - Osvetljenje na putu a) Asfaltni put noću [13], b) Solarni put noću [10]



Slika 10 - Pojava divljih životinja na kolovozu solarnog puta a) Noću, b) Danju [2]



Slika 11 - a) Solarni put noću svetli samo oko vozila [13], b) Solarni parking [2]



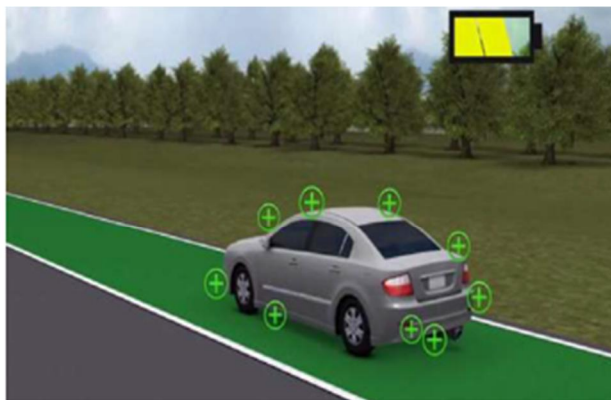
Slika 12 - Upozorenje; a) Nailazak na pešački prelaz [2], b) Pešak na pešačkom prelazu [14]

- Saobraćajna signalizacija je direktno u kolovozu, puno transparentnije, naročito noću,
- Isprekidane kolovozne linije mogu se kretati predviđenom brzinom, pomažući vozačima da zadrže odgovarajuću brzinu,
- Paneli na pešačkom prelazu mogu treptajući upozoriti vozače kada se pešaci nalaze na pešačkom prelazu
- Punjenja električnih automobila na odmaralištima solarnih panela i indukcijom tokom vožnje, [13]

- Drastično smanjenje broja smrtnih slučajeva i povreda uzrokovanih nesavesnom vožnjom,
- Održavanje podzemnih komunalnih instalacija je jednostavno i jeftino,....



a)

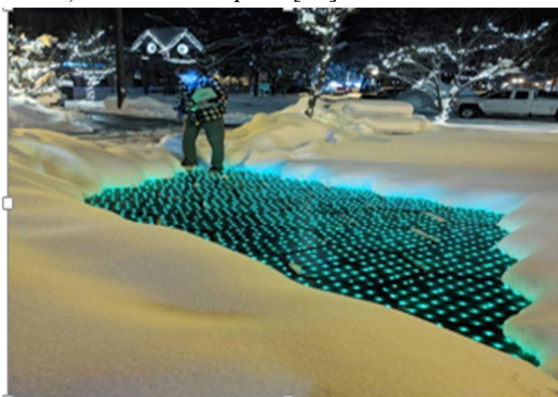


b)

Slika 13 - Punjenje električnih automobila; a) na stanicama, b) na solarnom putu [11]



a)



b)

Slika 14 - a) Čišćenje snega na asfaltnom putu, b) otapanje snega na solarnom putu SR4 [14]

Pored brojnih prednosti Solarni putevi imaju i određene nedostatke kao što su:

- Visoki troškovi izgradnje, sezonska efikasnost, negativan uticaj sleganja tla i otežano praćenje krivina prilikom izgradnje,
- Potrebno često čišćenje raznih prljavština sa površine kolovoza,
- Mesna različitost količine Sunčeve energije,
- Potrebno precizno urbanističko planiranje, jer je na ovim putevima potrebna precizna orijentacija zgrada, puteva, sanitarnih vodova, parkinga, igrališta itd.
- Relativno dug zaustavni put vozila.

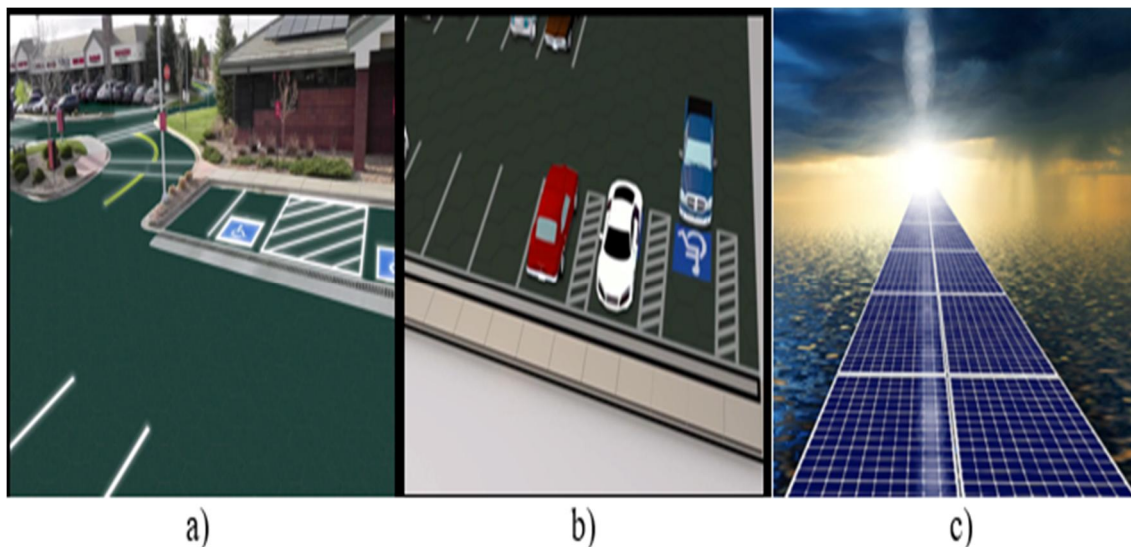


a)



b)

Slika 15 - Pogled u budućnost: a) Gradske Solarne saobraćajnice, b) Solarni autoputevi [10]



Slika 16 - Pogled u budućnost: a) Prilazni solarni put, b) Solarni parking [10], c) Solarni put bez granica [2]

4. POGLED U BUDUĆNOST I PREPORUKE ZA BUDUĆA ISTRAŽIVANJA

Prema istraživanjima sprovedenim u mnogim državama samo na mali procenat postojećih asfaltnih puteva bilo bi potrebno izgraditi Solarne puteve i time pokriti sve potrebe za energijom, poboljšati putnu infrastrukturu i doprinijeti bezbednijem saobraćaju. Očekuje se u budućnosti da se svi putevi od asfalta mogu zameniti solarnim putevima, bez obzira na potrebu velikih početnih ulaganja.

Zamena starih puteva novim solarnim putevima odvijala bi se postepeno. Svaki solarni put koji bi bio pušten u rad, proizvodio bi električnu energiju, proizvodio određena sredstva. Ta sredstva uz sredstva uštede na održavanju koristila bi se za dalja ulaganja u solarne puteve. Međutim, da bi Solarni putevi našli svoju punu primenu u praksi potrebna su dodatna napori i istraživanja, kao što su:

- Detaljno analizirati mogućnost zamene svih asfaltnih puteva i aerodromskih površina novim Solarnim putevima,
- Raditi na pronalaženju, međusobno kompaktnijih materijala za solarne panele, i kompaktnost istih sa podlogom u cilju smanjenja sleganja i eliminacije štetnosti sleganja po panele,
- Istražiti mogućnost optimizacije debljina slojeva solarnih putnih panela, što se može dovesti u vezu sa cenom izgradnje i otpornošću na sleganje,
- Potrebno je povećati adheziju između točka vozila i površinskog sloja solarnih puteva,
- Ispitati otpornost na habanje,
- Potrebno je ispitati da li je moguće i da li je isplativo kombinovati sisteme za piezoelektrično

prikupljanje energije sa sistemima za solarno prikupljanje energije.

5. ZAKLJUČAK

Solarna energija predstavlja veoma interesantno polje istraživanja i eksploatacije, u ekonomskom, ekološkom smislu i bezbednosnom smislu. Solarni putevi objedinjuju sa jedne strane upotrebu solarne energije za proizvodnju električne energije koja je, ne računajući početnu investiciju, skoro besplatna tokom eksploatacije, a sa druge strane ispunjavaju sve zahteve koje ispunjavaju i asfaltni ili betonski putevi za bezbedno i efikasno odvijanje saobraćaja.

Istraživanja su pokazala da su vek trajanja, isplativost i drugi benefiti koje donose solarni putevi, veće od onih koje imamo od asfaltnih ili betonskih puteva. Prvi kriterijum od kojeg zavisi isplativost solarnih puteva jeste dovoljna količina Sunčeve svetlosti na području na kojem se oni ugrađuju.

Ukoliko iskoristimo postojeće asfaltno i betonske puteve da preko njih ugradimo solarne puteve, dobili smo uštedu u zemljanim radovima, pa je isplativost ugradnje solarnih puteva još veća.

Dosadašnji solarni putevi trebaju poslužiti kao primer u kojem je zaokružena većina bitnih funkcija solarnog puta: odvijanje saobraćaja, proizvodnja električne energije koja se koristi za sopstveno osvetljenje solarnog puta, video nadzor, zagrevanje površine kolovoza radi otapanja snega i leda koji su se nakupili na kolovozu, itd. Imajući sve ovo u vidu, ne zaboravljajući da je vek trajanja solarnih puteva veći od trajanja asfaltnih puteva, uz besplatno dobijenu električnu energiju, zaključujemo da solarni putevi predstavljaju veliku inovaciju koja, uz pravilnu ugradnju

i primenu, može da u potpunosti zameni asfaltnu putevu.

Sa druge strane, ekološki aspekt ugradnje solarnih puteva je jako bitan sa stanovišta očuvanja čovekove okoline, jer svaki kWh koji se proizvede u solarnim putnim panelima jeste kWh manje koji bi se proizveo u termoelektranama, a to znači manje zagađenja vazduha i umanjen efekat staklene bašte.

LITERATURA

- [1] Radivoje Đurić, *Solarna energija i fotonaponski sistemi*, Autonomni elektronski sistemi 2020, ETF Beograd, 2020.
- [2] Scot Brusaw, *Solar Roadways presentation*, School of Engineering of Technology, Jakkasandra Post, Kanakapura Taluk, Ramanagara District, India, 2015
- [3] Kuldip Goswami, Yash Pandya, Nevil K. Trambadiya, Rahul C. Chandegara, *Solar Road Way: The Smart Highway*, Department of Civil Engineering, Gujarat (India), JETIR April 2018, Volume 5, Issue 4, 2018.
- [4] Shivam Prakash, Sapna Kumari, Varsha Palwade, *Solar Roadway, IJARIE*, Vol-2, Issue-3, 2016
- [5] Andrew Bruce Northmore, *Canadian Solar Road Panel Design: A Structural and Environmental Analysis*, University of Waterloo in fulfillment of the thesis requirement for the degree of Master of Applied Science in Civil Engineering, Waterloo, Ontario, Canada, 2014.
- [6] Karthik S. Feasible Design for Solar Highway Roads, *International Journal of Advances in Marine Engineering and Renewables*, Vol.1, Issue 2 pp: 79 – 84, 2015.
- [7] Dr. J. P Kesari, Aditya Kumar, *Solar Roadways: The Roadways To Next Generation*, International Research *Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, Volume: 08 Issue: 03 | Mar 2021, New Delhi India, 2021.
- [8] Andrew Northmore, *Innovative Pavement Design: Are Solar Roads Feasible?*, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Waterloo, Canada, 2012.
- [9] Dr. Vishal P. Deshmukh, Rohan Raut and Indrajit Jadhav, *Solar Roadways: The Smart Applications Of Solar Energy Source*, University Pune Yashwantrao Mohite Institute of Management, Karad Maharashtra, India, International of Multidisciplinary Educational Research, Vol.10, Issue 8, 2021.
- [10] Solar Roadways incorporated, Annual report, Pine Streeth, Sand Point, USA, 2021.
- [11] Kristiyan Yotov, Yana Panayotova, Presiyan Georgiev, *Solar Roadways*, Sofia University, FEBA, Bulgaria, 2015.
- [12] Rushing S. T, Tingle S. J, Full-scale evaluation of mat surfacings for roads over sand subgrades, *Journal of Terramechanics*, vol 46, 57–63, 2009
- [13] Alark A. Kulkarni, Solar Roadways – Rebuilding our Infrastructure and Economy, *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, Vol. 3, Issue 3, May-Jun 2013, pp.1429-1436, 2013.
- [14] <https://solarroadways.com/>, Real solution, Solar Roadways, Inc. 721 Pine Street Sandpoint, ID 83864
- [15] K. Wayne Lee, Andrew J. Correia, Brett D. J. Neilan and Ben Dahn, *Comparative Study of Solar Panels for Roadway Operations*, Department of Civil & Environmental Engineering The University of Rhode Island Kingston, RI 02881, USA, 2012.
- [16] Chloé Coupeau, Road paved with solar panels powers French town, <https://phys.org/news/2016-12-road-paved-solar-panels-powers.html>, 2016
- [17] S. Praveen, Pandu Kurre, A.Vamshi Chaitanya, *A brief overview on solar roads and its necessity*, Department of Civil Engineering, Osmania University, Hyderabad, *Indian J.Sci.Res.* 17(2): 381 – 387, 2018.
- [18] Swapnil-Patwari, *Solar roadways the future transport system seminar report*, Swami Ramanand Teerth Marathwada University, 2013.
- [19] Kiran Pal Kour, Loveneesh Talwar, *Go green with Solar Roadways*, International Advanced Research *Journal in Science, Engineering and Technology (IARJSET)*, Vol. 8, Issue 10, 2019.
- [20] Nawaj Sharif, Future Solar Roadway on Traditional Road, *International Journal of Advance Research and Development*, Volume 2, Issue 4, 2017.
- [21] ASTM Standard D143-14, Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber; ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2014.

SUMMARY

SOLAR PANELS IN PAVEMENTS: ADVANTAGES, LIMITATIONS, AND FUTURE DEVELOPMENT

The use of solar panels in road pavements represents an innovative approach to integrating renewable energy sources, specifically solar energy, into everyday infrastructure. This paper explores the key aspects of this technology, including its advantages, disadvantages, and potential for future development. The benefits include improving energy efficiency and reducing dependence on fossil fuels, as well as the ability to generate electricity directly at the point of use, which can contribute to lowering energy costs. Solar panels in road pavements can also help reduce air pollution and improve environmental standards in urban areas.

The disadvantages involve challenges such as high installation and maintenance costs, the need for regular cleaning of the panels due to dirt and debris accumulation, and limited efficiency under poor weather conditions or at night. Additionally, there is a need for infrastructure adaptation and possible aesthetic or structural obstacles in implementation.

The future of applying solar panels in road pavements looks promising, with opportunities for technology advancement, cost reduction, and increased energy efficiency.

This paper provides a comprehensive overview of the current application of solar panels in road pavements, highlights existing challenges, and offers recommendations for future research and development in this exciting field of renewable energy technology.

Key Words: *solar energy, electricity, road pavement, traffic, solar road, environment*