

Analiza kapaciteta za izgradnju fotonaponskih sistema na krovovima stambenih zgrada u Srbiji

Analysis of Capacity for the Construction of Photovoltaic Systems on Residential Building Roofs in Serbia

Iva Batić*, Aleksandar Ivančić**

* Elektrotehnički fakultet, Univerziteta u Beogradu

** Sistemes Avançats d'Energia Solar Tèrmica - AIGUASOL

Rezime - Krovovi stambenih zgrada predstavljaju relevantan potencijal za izgradnju fotonaponskih panela. S obzirom da su krovne konstrukcije pasivne, konstrukcija fotonaponskih sistema na stambenim zgradama ne ometa funkcionalnost zgrade, niti na bilo koji drugi način utiču na životnu sredinu. Instalacijom fotonaponskih sistema na krovovima stambenih objekata u maksimalnoj mogućoj meri se približavaju proizvodnja i potrošnja električne energije, pa ovakvi sistemi obezbeđuju značajno smanjenje gubitaka električne energije u distributivnoj i prenosnoj mreži. U ovom radu prikazani su rezultati istraživanja koje je imalo za cilj postavljanje okvira za decentralizovanu i dekarbonizovanu proizvodnju električne energije iz fotonaponskih sistema integrisanih u krovove stambenih zgrada u Srbiji, kroz podršku pristupa kupac-proizvođač. Za svaku utvrđenu kategoriju stambene zgrade u Srbiji, procenjena je moguća godišnja proizvodnja električne energije po jedinici prosečne površine krova. Sumirajući sve rezultate, urađena je procena mogućeg instalisanog kapaciteta fotonaponskih sistema, kao i procena godišnje proizvodnje električne energije na nacionalnom nivou.

Ključne reči - stambeni objekti, krovne površine, fotonaponski sistemi, instalisana snaga

Abstract - The roofs of residential buildings represent a relevant potential for the construction of photovoltaic panels. Given that roof structures are passive, the construction of photovoltaic systems on residential buildings does not interfere with the functionality of the building, nor do they affect the environment in any other way. By installing photovoltaic systems on the roofs of residential buildings, the production and consumption of electricity are brought closer to the maximum possible extent, so such systems ensure a significant reduction of electricity losses in the distribution and transmission network. This paper presents the results of research aimed at establishing a framework for decentralized and decarbonized production of electricity from photovoltaic systems integrated into the roofs of residential buildings in Serbia, through the support of the prosumer approach. For each defined category of residential building in Serbia, the possible annual production of electricity per unit of average roof area was estimated. Summarizing all the results,

assessments of the possible installed capacity of photovoltaic systems and annual electricity production at the national level were made.

Index terms - Residential buildings, Roof surfaces, Photovoltaic systems, Installed power

I UVOD

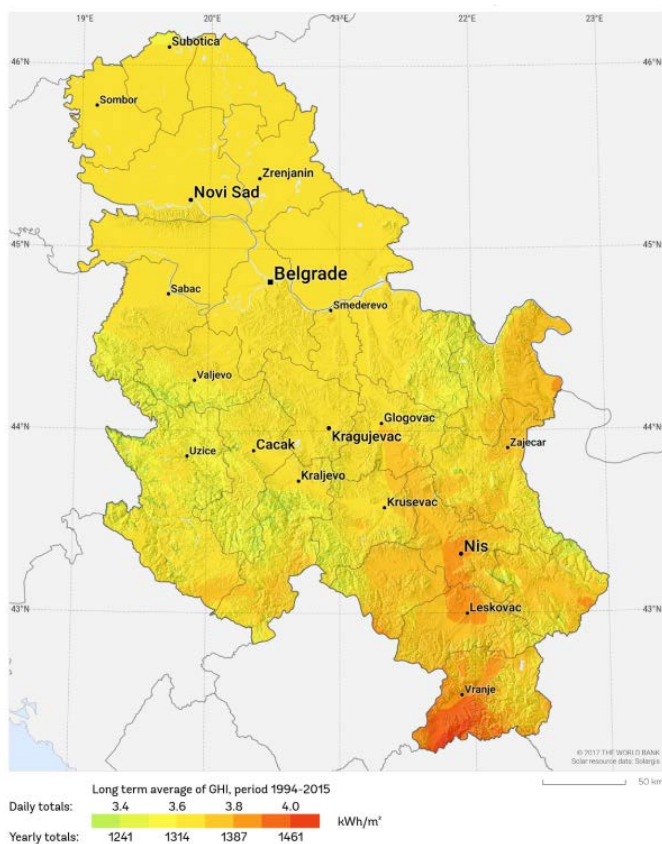
Električna i toplotna energija se u Srbiji još uvek proizvodi korišćenjem fosilnih goriva u zastarelim i energetske neefikasnim proizvodnim postrojenjima. Preko 70% električne energije se dobija iz termoelektrana, a oko 25% se dobija iz hidroelektrana. Procenjuje se da se svega 5% električne energije dobija iz vetro i solarnih elektrana. Posledice toga su brojne, kao na primer, visoke emisije gasova staklene bašte (GHG emisije), povećano zagađenje vazduha, kao i lokalno zagađenje životne sredine. Vlada Republike Srbije je prepoznala solarni energetske potencijal naše zemlje i za cilj postavila povećanje učešća obnovljivih izvora energije (OIE) u bruto finalnoj potrošnje energije, kao i poboljšanje energetske efikasnosti u svim sektorima. Kupac-proizvođač (prozumer) pristup uveden je u novi Zakon o korišćenju obnovljivih izvora energije [1], kao modalitet sopstvene potrošnje i sopstvene proizvodnje za pojedince i energetske zajednice. Instaliranjem fotonaponskog sistema na krovu zgrade, kupac-proizvođač postaje samostalni proizvođač električne energije za sopstvenu potrošnju, dok istovremeno sav višak energije koju proizvede može da skladišti u mreži ili je može skladištiti u baterijama.

Stambeni objekti u Srbiji predstavljaju značajan potencijal za izgradnju fotonaponskih sistema, koji bi bili integrisani u krovove ovih objekata. Izgradnja fotonaponskih sistema ne narušava funkcionalnost objekta, niti na bilo koji način negativno utiče na okolinu i životnu sredinu [2,3].

Fotonaponski sistemi služe za proizvodnju električne energije pomoću konverzije energije Sunčevog zračenja u električnu i značajni su ne samo zbog smanjenja emisije CO₂, već se postiže i efekat lokalne proizvodnje električne energije i smanjuje se neto preuzeta električna energija iz distributivnog sistema, čime se značajno smanjuju gubici električne energije u prenosnoj i

distributivnoj mreži. Količina električne energije koja se može dobiti iz fotonaponskih sistema pre svega zavisi od dozačene solarne energije na lokaciji objekta koji se posmatra i analizira. Snaga solarnog zračenja na površini Zemlje zavisi od više faktora, kao što su: geografska širina, oblačnost, godišnje doba i doba dana.

Za kreiranje nacionalne energetske politike izuzetno je značajno imati uvid o solarnom potencijalu na teritoriji Republike Srbije [3,4]. Na slici 1. prikazana je mapa globalnog potencijala solarnog zračenja na teritoriji Republike Srbije. Može se zaključiti da prosečna godišnja dozačena energija sunca po jedinici horizontalne površine na otvorenom terenu iznosi od 1450 kWh/m² na jugu, do oko 1250 kWh/m² na severu Srbije [5].



Slika 1. Solarni potencijal Srbije [5]

II METODOLOGIJA

Kao baza podataka u ovom istraživanju je korišćena postojeća Nacionalna tipologija stambenih zgrada u Srbiji, koja je nastala tokom nekoliko višegodišnjih istraživačkih projekata grupe profesora i saradnika Arhitektonskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, čiji je cilj bio izrada prve te vrste, sveobuhvatne klasifikacije jedno i višepodružnih stambenih zgrada u Srbiji.

Rezultati istraživanja su publikovani u monografskoj publikaciji Nacionalna tipologija stambenih zgrada u Srbiji [6], u kojoj je definisana 39 tipologija zgrada do 2011. godine. Pored toga, ista istraživačka grupa, uz podršku Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, razvila je on-line platformu <http://eekalkulator.mgsi.gov.rs/> [7], gde se informacije o objektima ažuriraju do 2016. godine. Platforma uvodi još 4

novih tipologija zgrada koje opisuje novije zgrade i sada broji 43 tipologije stambenih zgrada, što je prikazano na slici 2.



Slika 2. Tipologije stambenih objekata
<http://eekalkulator.mgsi.gov.rs/> [7]

U ovom istraživanju analizirano je svih 43 tipologija stambenih objekata. Obimnim ispitivanjem terena, analiza je obuhvatila sve relevantne parametre, a to su: ukupna površina otiska zgrade, vrsta krova (dvovodni, četvorovodni, ravan krov), nagib krova, vrsta područja zgrade (urbano/ruralno), procena raspoloživosti slobodne površine krova za postavljanje fotonaponskih panela.

Tipologije stambenih objekata, obuhvaćenih navedenim izvorima, obuhvataju ukupno 3.202.850 stanova. Najnoviji statistički podaci pokazuju povećanje od 111.000 stanova u Srbiji u periodu od 2017. do 2021. godine. Razlika između ove dve baze podataka iznosi 3,4%, što se može smatrati zanemarljivim.

Metodologija proračuna koji se koristi za procenu nacionalnog fotonaponskog potencijala, u smislu mogućeg instalisanog kapaciteta (kWp) i moguće godišnje proizvodnje električne energije (kWh/god) je podeljena na tri glavna koraka. Svaki od ovih koraka je detaljno opisan u narednim delovima rada.

III PROCENA RASPOLOŽIVE POVRŠINE KROVA

Prvi korak ima za cilj da proceni raspoloživu površinu koja može da se prilagodi za postavljanje fotonaponskih panela. Uglavnom se zasniva na prikupljanju i obradi podataka prikupljenih iz Nacionalne tipologije stambenih zgrada i prateće on-line platforme.

Da bi procenili krovne površine stambenih objekata koje su pogodne za postavljanje fotonaponskih sistema, od velike važnosti je odrediti tipologiju zgrade kojoj krov pripada, znati nagib krova, izračunati otisak zgrade, kao i znati procenat već iskorišćenog dela krova drugim građevinskim elementima.

Nedostatak detaljnih informacija je veoma čest slučaj prilikom procena fotonaponskog potencijala, pa je potrebno uvesti nekoliko pretpostavki. Pretpostavke se uglavnom baziraju na referentnim vrednostima koje potiču iz drugih sličnih studija i prakse ili iz sopstvenog iskustva istraživača.

U ovom istraživanju uvedene su sledeće pretpostavke [4, 8].:

- Tipologije zgrada su podjednako raspoređene širom zemlje, što znači da su zastupljene u svim regionima Srbije.
- Kod svake tipologije objekata krov može biti geografski orijentisan ka severu, jugu, istoku i zapadu. Unutar svih tipologija postoji jednak broj objekata sa tom orijentacijom.
- Razmatraju se tri osnovna oblika krova: dvovodni, četvorovodni i ravni krovovi.
- Razmatraju se četiri nagibna ugla kosih krovova: 15°, 20°, 30°, 40°. Ravni krovovi omogućavaju da se na njima može postaviti noseća konstrukcija sa optimalnom orijentacijom (azimutnim i nagibnim uglom). Kod izgradnje konstrukcije mora se voditi računa o međusobnom rastojanju redova fotonaponskih panela tako da ne dolazi do međusobnog zasenčenja.
- Različiti krovni elementi poput dimnjaka, kućica za lift i ostali građevinski objekti zauzimaju između 5 i 15% ukupne površine krova u zavisnosti od tipologije zgrade i predstavlja se koeficijentom C_f .
- Efekat zasenčenja od drugih zgrada i drveća se smatra da iznosi između 10 i 40% u zavisnosti od tipologije zgrade i predstavlja se koeficijentom C_{sh} .
- Pretpostavlja se da prostor potreban za ugradnju i održavanje fotonaponskih modula zauzima 20% raspoložive površine krova i predstavlja se koeficijentom C_{cov} .
- Pretpostavlja se da je efikasnost fotonaponskog modula 19,5%. Uzimajući u obzir minimalne razmake između panela od 5% površine koja je pogodna za postavljanje fotonaponskih panela dobija se gustina snage od 0,18 kW/m². Takva efikasnost podrazumeva korišćenje monokristalne fotonaponske tehnologije.
- Gubici sistema se procenjuju na 14% i tu spadaju gubici usled zaprljanja panela, neuparenosti modula u stringu, degradaciju efikasnosti panela u toku eksploatacije, gubitaka na invertoru i gubitaka u električnim vezama.

Usled ovih gubitaka, snaga koja se isporučuje potrošaču ili električnoj mreži manja je od snage koju proizvode sami fotonaponski moduli.

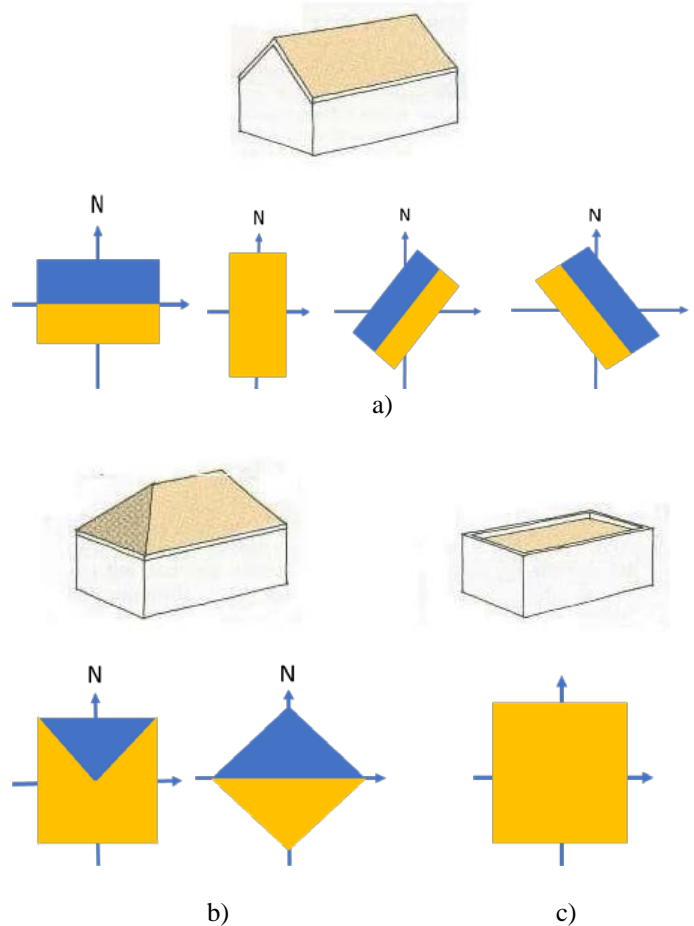
Izgradnja fotonaponskih sistema je podrazumevana na raspoloživim krovnim površinama koje imaju najbolju prostornu orijentaciju sa aspekta ukupne godišnje insolacije. Moduli sa neodgovarajućom orijentacijom primaju samo mali deo sunčevog zračenja, te na taj način proizvode malu količinu električne energije. Raspoložive površine koje se mogu koristiti za ugradnju fotonaponskih modula su po pretpostavci kose ili ravne površine krovova čija je orijentacija u granicama $\pm 90^\circ$ u odnosu na jug.

Na slici 3. žuta boja predstavlja odgovarajuću orijentaciju krova, a plava boja neodgovarajuću orijentaciju krova. Prikazani su slučajevi za sve tri vrste krova: dvovodne, četvorovodne i ravne.

Vrednosti raspoloživih krovnih površina analiziranih stambenih objekata su dobijene korišćenjem podatka o površini otiska zgrade iz Nacionalne tipologije stambenih zgrada u Srbiji, za svaku od 43 tipologije stambenih zgrada. Kod stambenih

objekata sa kosim dvovodnim i četvorovodnim krovovima, površina krova je dobijena geometrijskom projekcijom uzimajući u obzir procenjeni nagibni ugao krova, izraz (1).

$$Površina\ krova = \frac{Otisak\ zgrade}{\cos(Nagib\ krova)} \quad (1)$$



Slika 3. Moguće orijentacije kod a) dvovodnih krovova, b) četvorovodnih krovova, c) ravnih krovova [9]

Za stambene objekte sa ravnim krovom, površina krova je jednaka površini otiska zgrade.

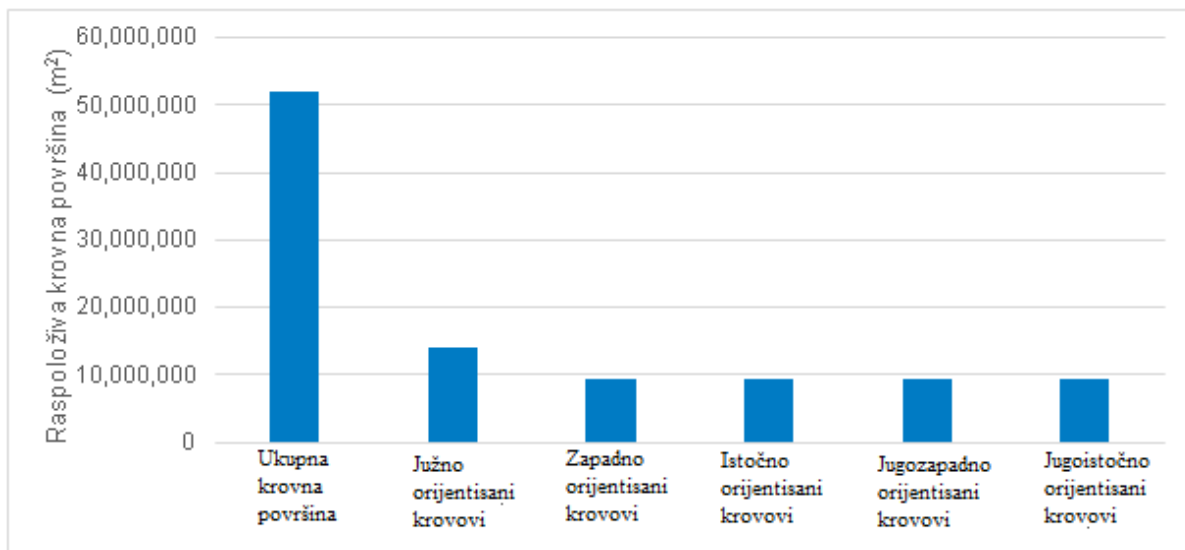
Na osnovu obrađenih podataka, ukupna krovna površina za fond stambenih zgrada u Srbiji iznosi 133.751.452 m² odnosno 133,75 km². Vrednosti dobijene geometrijskim projekcijama ne odgovaraju korisnoj površini krova, ona se dobija oduzimanjem zauzete površine krova ostalim građevinskim objektima od ukupne površine krova.

Usvajanjem kriterijuma o odabiru samo pravilnih orijentacija krovova za svaku tipologiju i oduzimanjem površina koje zauzimaju različiti građevinski elementi koji se nalaze na krovovima prema odgovarajućim koeficijentima C_f za svaku tipologiju zgrade, dobijena korisna površina je 80.451.664 m².

Konačno usvajanjem faktora zasenčenja C_{sh} koji odgovaraju svakoj tipologiji stambenih zgrada i prostoru potrebnom za

fizičku instalaciju i održavanje fotonaponskih modula C_{cov} korisni krovni prostor pogodan za instaliranje fotonaponskih modula iznosi 52.022.709 m² odnosno 52 km².

Na grafikonu na slici 4. je prikazana ukupna krovna površina stambenih objekata u Srbiji pogodna za postavljanje fotonaponskih panela sa odgovarajućim orijentacijama [9].



Slika 4. Krovna površina stambenih objekata u Srbiji pogodna za postavljanje fotonaponskih panela sa odgovarajućim orijentacijama [9]

IV PROCENA INSTALISANOG KAPACITETA

Drugi korak je procena instalisanog kapaciteta, kao i geografska segmentacija koja je urađena kako bi se dobila regionalna distribucija kapaciteta električne energije.

Faktor instalisanog kapaciteta odgovara instalisanom kapacitetu po raspoloživoj jedinici površine i izražen je u kW/m². Njegova vrednost je direktno povezana sa tipom tehnologije od koje su izrađeni fotonaponski paneli koji će se koristiti i sa vrstom krova na koji će paneli biti postavljeni. Korišćen je monokristalni fotonaponski modul snage 365W i nazivne efikasnosti 19,5%. Fotonaponski moduli ove efikasnosti su izabrani kao moduli prosečne efikasnosti koja uzima u obzir tehnološki napredak fotonaponskih modula u narednom periodu, kao i degradaciju efikasnosti modula tokom njihovog životnog veka [10].

Faktor instalisanog kapaciteta je uzet u obzir za svaki tip krova (dvovodni, četvorovodni i ravan krov).

U slučaju kada stambeni objekat ima dvovodni krov fotonaponski paneli se postavljaju pod istim nagibom uglom kao što je i nagibni ugao samog krova. Razmatrani faktor instalisanog kapaciteta je 0,18 kWp/m². Kod stambenih objekata koji imaju četvorovodni krov, isto kao u prethodnom slučaju, fotonaponski paneli se postavljaju pod istim nagibom uglom kao što je i nagibni ugao samog krova. Geometrija ovog tipa krova ne dozvoljava pokrivanje cele površine krovne ravni, pa se pretpostavlja da se može iskoristiti samo 50% površine. Razmatra se faktor instalisanog kapaciteta od 0,09 kWp/m².

U slučaju kada stambeni objekat ima ravan krov, fotonaponski paneli se postavljaju pod nagibnim uglom od 15°. Razmak

između panela se koristi za sprečavanje zasenčenja između redova postavljenih panela. Razmatra se faktor instalisanog kapaciteta od 0,1 kWp/m².

Kapacitet instalisane snage za svaku tipologiju zgrada se izračunava množenjem površine pogodne za ugradnju FN panela za svaku datu tipologiju stambene zgrade i faktorom instalisanog kapaciteta koji je povezan sa odgovarajućim tipom krova. Ukupni nacionalni kapacitet instalisane snage je zbir kapaciteta za sve tipologije zgrada.

Da bi se dobio potencijal za izgradnju fotonaponskih sistema za svaki region širom zemlje, potrebno je izvršiti raspodelu krovne površine za svaku analiziranu tipologiju zgrada po regionu. Geografska raspodela je napravljena da bi se procenio udeo instalisanog kapaciteta širom zemlje. Napravljena je podela na četiri geografska regiona, vodeći računa o rasporedu gradskog i seoskog stanovništva u skladu sa podacima nacionalne statistike. To su: Region Vojvodine, Beogradski region, Region Šumadije i Zapadne Srbije i Region Južne i Istočne Srbije. U obzir je uzeta administrativna podela Republike Srbije, prema zakonski važećoj teritorijalnoj podeli, a u skladu sa kojom su organizovani podaci Statističkog Zavoda Srbije.

Svaka tipologija zgrada je podjednako raspoređene širom zemlje, što znači da je zastupljena u svim regionima zemlje. Svakoj tipologiji zgrade dodeljen je tip urbane ili ruralne sredine, što je prikazano u tabeli 1.

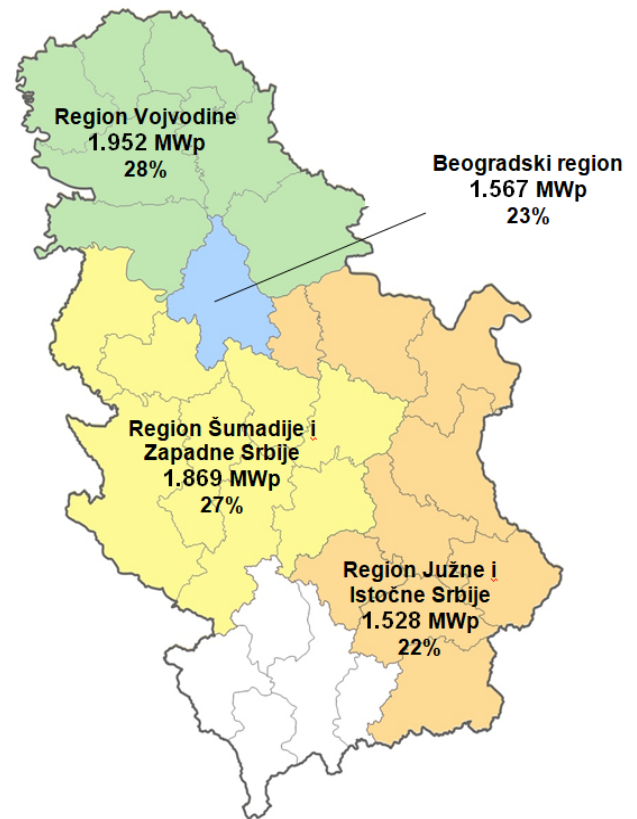
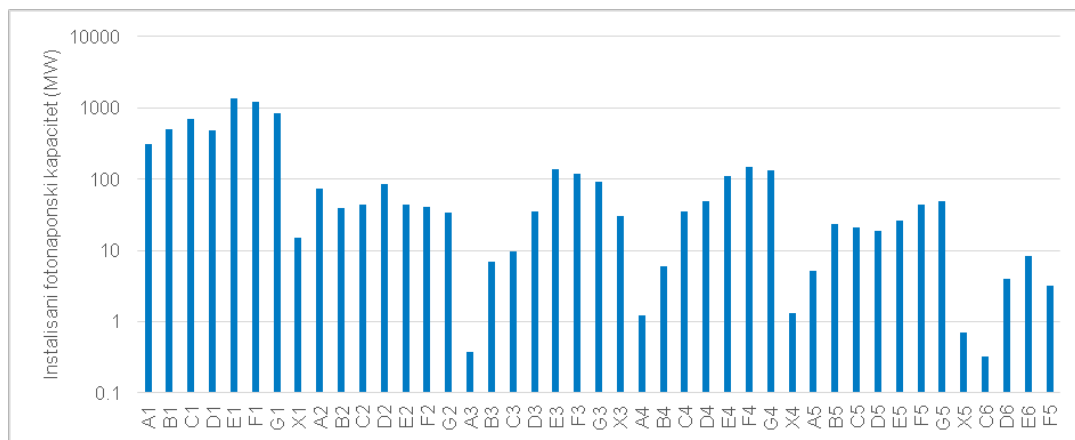
Iz raspodele po regionima, moguće je izračunati udeo instalisanog kapaciteta u različitim geografskim regionima zemlje. Raspodela tipologije zgrada između gore predstavljenih regiona omogućava da se odredi instalacioni kapacitet svakog regiona.

Tabela 1. Raspodela nacionalnog stambenog fonda po regionima

Region	Ruralno područje	Urbano područje
Beogradski region	11%	30%
Region Vojvodine	27%	29%
Region Šumadije i Zapadne Srbije	35%	22%
Region Južne i Istočne Srbije	27%	19%

Ukupna instalirana snaga fotonaponskog sistema koje je moguće instalirati na krovove svih stambenih objekata u Srbiji dostiže 6.917 MWp. Na slici 5. prikazana je mapa raspodele potencijala kapaciteta po regionima Srbije. Ukupni kapaciteti su raspoređeni na 4 regiona na prilično ravnomeran način, pri čemu najveći potencijal ima region Vojvodine, zatim Šumadija i Zapadna Srbija, Beogradski region, dok jugoistočna Srbija ima najmanji potencijal.

Najveći potencijal za izgradnju fotonaponskih sistema imaju tipologije iz tri perioda: 1971-1980 (E1), 1981-1990 (F1), 1991-2012 (G1). Tipologija E1 predstavlja skoro 20% fotonaponskog kapaciteta, dok tipologije F1 i G1 predstavljaju 18% i 12% respektivno. Ove tipologije su prisutne i u ruralnim i u urbanim sredinama. Instalirani fotonaponski kapacitet za svaku tipologiju zgrada je prikazan na slici 6.

**Slika 5.** Mapa raspodele potencijala kapaciteta po regionima Srbije [9]**Slika 6.** Instalirani fotonaponski kapacitet po tipologijama stambenih zgrada [9]

V PROCENA PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Konačno, poslednji korak ove metodologije predstavlja korišćenje podataka o sunčevom zračenju za reprezentativni grad u svakom od posmatrana 4 regiona zemlje i na taj način omogućava procenu proizvodnje električne energije iz rezultujućeg instalacionog kapaciteta.

Proračun električne energije koja se može dobiti iz fotonaponskih

sistema integrisanih u krovove stambenih objekata je izvršena na osnovu: potencijala solarne energije na pretpostavljenoj lokaciji posmatranog stambenog objekata, raspoložive krovne površine objekta i njene prostorne orijentacije i efikasnosti fotonaponskih modula.

Za proračune proizvodnje električne energije korišćen je besplatan PVGIS on-line kalkulator [11] za 4 regiona, kao i za svaki od parova nagiba/orijentacije. Dobijene su vrednosti proizvodnje snage po jedinici kapaciteta - kWh/kWp, koje su

prikazane u tabeli 2. Lokalni meteorološki podaci koji se koriste za svaku zonu odgovaraju reprezentativnim gradovima: Beograd, Novi Sad, Kraljevo i Niš. Pretpostavlja se da su tipologije zgrade podjednako zastupljene u svim regionima zemlje.

Tabela 2. Specifična proizvodnja električne energije po regionima za različite nagibe i orijentacije fotonaponskih modula

Proizvodnja kWh/kWp					
Nagibni ugao /Orijentacija	Jug	Zapad	Istok	Jugoza pad	Jugoist ok
Beograd					
15°	1,217	1,067	1,070	1,173	1,175
20°	1,246	1,053	1,058	1,190	1,193
30°	1,284	1,021	1,028	1,206	1,211
40°	1,291	978	988	1,198	1,206
Novi Sad					
15°	1,212	1,061	1,064	1,168	1,170
20°	1,241	1,048	1,053	1,185	1,188
30°	1,279	1,018	1,025	1,202	1,207
40°	1,287	977	986	1,197	1,202
Kraljevo					
15°	1,164	1,027	1,039	1,123	1,131
20°	1,189	1,013	1,030	1,135	1,146
30°	1,218	979	1,004	1,145	1,161
40°	1,220	936	966	1,133	1,154
Niš					
15°	1,260	1,116	1,113	1,220	1,217
20°	1,288	1,103	1,100	1,235	1,233
30°	1,321	1,070	1,067	1,250	1,247
40°	1,323	1,027	1,023	1,240	1,238

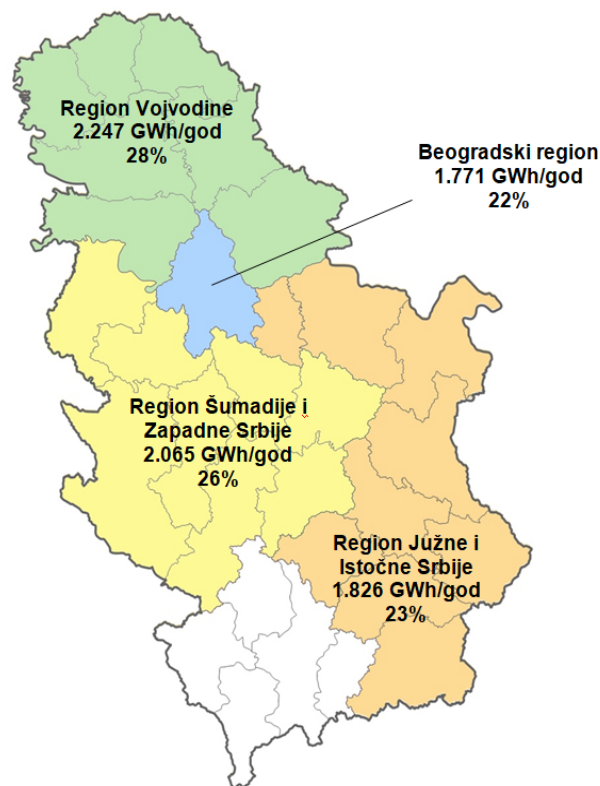
Proizvodnja električne energije se prvo posebno izračunava za svaki od 4 regiona. Instalirani kapacitet je raspoređen prema nekoliko orijentacija, gde je svaka orijentacija povezana sa specifičnim faktorom proizvodnje električne energije. Proizvodnja električne energije je jednaka instalisanom kapacitetu neke orijentacije pomnoženom sa specifičnim faktorom proizvodnje električne energije. Proizvodnja tipologije zgrada je zbir proizvodnje svih orijentacija, dok je ukupna proizvodnja električne energije u svakom regionu zbir proizvodnje električne energije procenjene za svaku tipologiju zgrade.

Dobijeni rezultati za svaki region omogućavaju da se dobije nacionalni potencijal jednostavnim sabiranjem proizvodnje električne energije u sva četiri regiona zemlje.

Sa instaliranim fotonaponskim kapacitetom od 6.917 MWp godišnja proizvodnja električne energije na nacionalnom nivou

dostigla bi 7.909 GWh/god.

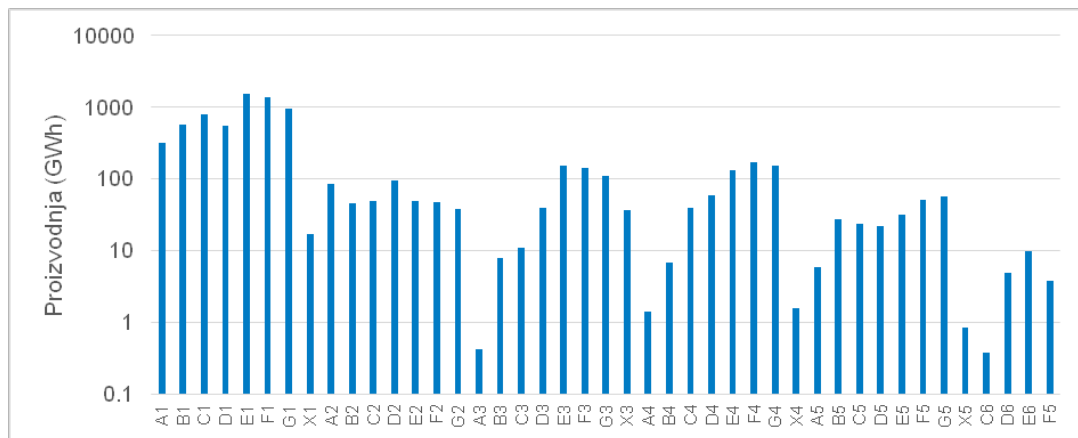
Regionalna distribucija godišnje proizvodnje električne energije održava isti trend kao instalirani kapacitet, sa malim varijacijama u procentima, što je u skladu sa klimatskim razlikama. Najveća godišnja proizvodnja električne energije se dostiže u regionu Vojvodine, zatim slede Šumadija i Zapadna Srbija, kao i region Južne i Istočne Srbije, dok bi Beogradski region ostvario najmanju proizvodnju električne energije godišnje.



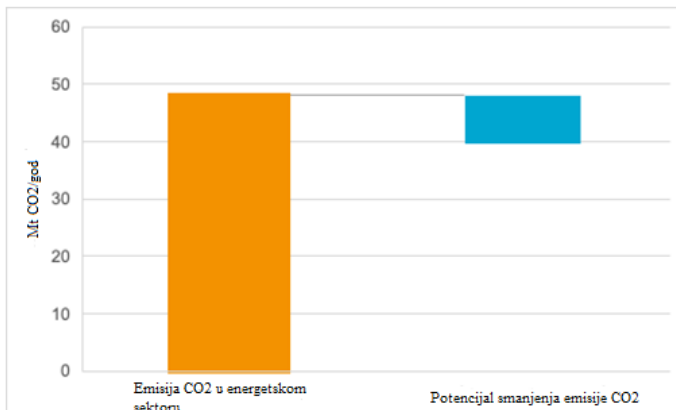
Slika 7. Mapa raspodele godišnja proizvodnja električne energije po regionima Srbije [9]

Najveći proizvodni potencijal u skladu sa potencijalom za izgradnju FN sistema imaju tipologije naziva porodične samostojeće kuće iz tri perioda: 1971-1980 (E1), 1981-1990 (F1), 1991-2012 (G1). Tipologija G1 predstavlja skoro 50% potencijala proizvodnje električne energije. Ove tipologije su prisutne i u ruralnim i u urbanim sredinama.

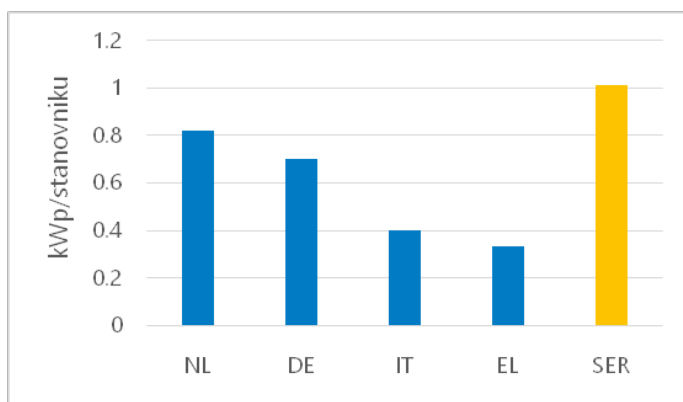
Dobijene vrednosti procene fotonaponskog kapaciteta i odgovarajuće proizvodnje električne energije ukazuju na to da je dostizanje punog potencija u Republici Srbiji svakako dugoročna obaveza. Pod pretpostavkom da je sadašnji faktor emisije u miksu električne energije u Republici Srbiji od 1,099 tCO₂/MWh, proizvodnja 7.909 GWh/god čiste energije, uz nultu emisiju, uštedela bi 8.692 kt/god emisije CO₂ godišnje, s obzirom na to da svaki kWh proizveden pomoću solarne energije zamenjuje prosečni kWh iz sadašnjeg miksa električne energije u Srbiji. Ova količina predstavlja 19% nacionalne emisije CO₂ koja dolazi iz energetskog sektora i koja se trenutno procenjuje na 48.120 ktCO₂/godišnje. Potencijal smanjenja emisije CO₂ u odnosu na sadašnje ukupne emisije energetskog sektora u Srbiji prikazan je na slici 9.



Slika 8. Proizvodnja električne energije po tipologijama stambenih zgrada [9]



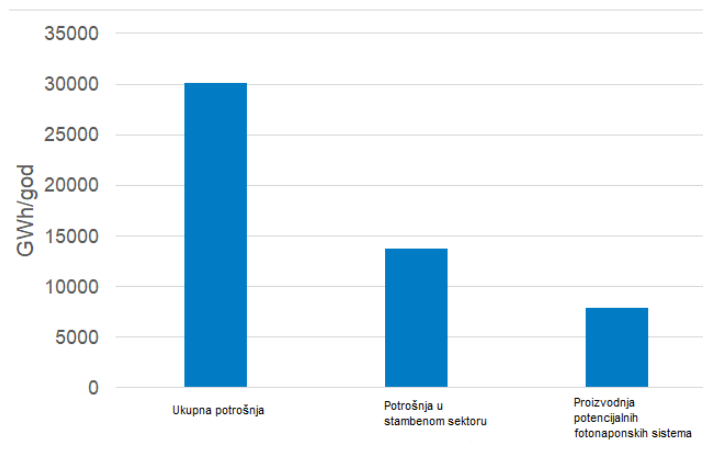
Slika 9. Potencijal smanjenja emisije CO₂ [9]



Slika 10. Instalirani fotonaponski kapacitet na krovovima stambenih zgrada po glavi stanovnika za odabrane zemlje EU i potencijal fotonaponskog kapaciteta Srbije [9]

Potencijal ukupne instalisane snage fotonaponskih sistema na krovovima svih stambenih objekata dostiže 6.917 MWp, što je oko 1 kWp po glavi stanovnika u Republici Srbiji. Ako se to uporedi sa statusom u nekim naprednim zemljama Evropske

Unije, može se zaključiti da je ova cifra daleko od nerealne. Tako je na primer, Holandija u 2021. godini dostigla 0,82 kWp/stanovniku, a Nemačka 0,7 kWp/stanovniku, a Grčka 0,33 kWp/stanovniku dok je prosek u EU bio 0,4 kWp/stanovniku. Instalirani fotonaponski kapacitet po glavi stanovnika za odabrane zemlje Evropske Unije i potencijal fotonaponskog kapaciteta Srbije je prikazan na slici 10.



Slika 11. Raspored potrošnje električne energije [9]

Sadašnja potrošnja električne energije na nacionalnom nivou dostiže oko 30,4 TWh godišnje, od čega oko 45% ili 13,8 TWh odgovara stambenom sektoru. Razvijanje punog potencijala fotonaponskih kapaciteta na krovovima stambenih zgrada daje 7,909 TWh/god, a to bi izmirivalo 58% potrošnje električne energije u domaćinstvu.

Da bi se procenila cena investicije potrebne za implementaciju punog tehničkog potencijala fotonaponskih sistema na krovovima stambenih zgrada u Srbiji, potrebno je da se pretpostavi specifična cena fotonaponskog sistema. Ovaj trošak uključuje izradu projekta, nabavku komponenti, instalaciju sistema i puštanje u rad. Istorijski gledano, jedinični troškovi su

bili u stalnom padu. Ipak, sa nedavnom krizom sirovina i svetskim trendom inflacije, jedinični trošak je postao manje predvidljiv. Specifični trošak koji se pretpostavlja u ovom istraživanju je 1.200 €/kVp, odnosno 140.820 RSD/kVp. S obzirom na ovu cifru, ukupna investicija za instaliranje 6.917 MVp bila bi 8.300 miliona €

Ako dobijenu vrednost investicije stavimo u kontekst vrednosti dozvola za emisiju CO₂ u zemljama Evropske Unije, koja je iznad 70 €/t CO₂, period povrata samo na osnovu vrednosti smanjenja emisije CO₂ je manji od 15 godina.

VI ZAKLJUČAK

Cilj ovog istraživanja je bilo podizanje svesti i postavljanje okvira za decentralizovanu i dekarbonizovanu proizvodnju električne energije iz fotonaponskih sistema integrisanih u krovove stambenih zgrada u Srbiji, kroz podršku pristupa kupac-proizvođač. Za svaku utvrđenu kategoriju stambene zgrade u Srbiji, procenjena je moguća godišnja proizvodnja električne energije po jedinici prosečne površine krova. Sumirajući sve rezultate, urađena je procena mogućeg instalisanog kapaciteta fotonaponskih sistema, kao i procena godišnje proizvodnje električne energije na nacionalnom nivou.

Na osnovu sprovedenih analiza utvrđeno je da tehnički potencijal Republike Srbije za izgradnju fotonaponskih sistema koji bi bili integrisani u krovove stambenih zgrada prema utvrđenim tipologijama iz Nacionalne tipologije stambenih zgrada u Srbiji iznosi 6.917 MWp, a procenjena godišnja proizvodnja električne energije na nacionalnom nivou dostigla bi 7.909 GWh/god.

Krovovi stambenih objekata često imaju površine različite orijentacije i nagiba, pa izgradnja fotonaponskih sistema na svim površinama nema iste energetske i ekonomske pokazatelje. Iz tog razloga prioritet izgradnje treba da imaju površine sa najboljom godišnjom insolacijom, koje će obezbediti najbrži povraćaj investicije i najveću proizvodnju energije.

Izgradnja fotonaponskih sistema na stambenim objektima širom Srbije svakako predstavlja značajnu investiciju s obzirom na cenu koštanja komponenti ovog sistema. Sa druge strane, prednost fotonaponskih sistema je što su oni modularni, tako da je moguća njihova fazna izgradnja, odnosno proširivanje kapaciteta u toku vremena. Procenjeno je da bi ukupna investicija za instaliranje 6.917 MWp na krovove stambenih objekata u Srbiji iznosila 8,3 milijardi evra.

ZAHVALNICA/ACKNOWLEDGEMENT

Ovaj rad je realizovan u okviru istraživanja na projektu finansiranog od strane Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

LITERATURA/REFERENCES

- [1] Zakon o korišćenju obnovljivih izvora energije, "Službeni glasnik RS", 6p. 40/2021. i 35/ 2023. <https://www.paragraf.rs/propisi/zakon-o-koriscenju-obnovljivih-izvora-energije.html> [pristupljeno 05.04.2023]
- [2] Đurišić, Ž., Škrbić, B. Potencijal energije sunca i vetra za strateško planiranje dekarbonizacije proizvodnje električne energije u Srbiji, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 24, No. 4, pp. 1-11, 2022. <https://doi.org/10.46793/EEE22-4.01D>
- [3] Batić, I., Đurišić, Ž. Analiza kapaciteta i uslova izgradnje fotonaponskih sistema na krovovima školskih objekata u Srbiji, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 22, No. 1-2, pp. 21-28, 2020. <https://doi.org/10.46793/EEE20-1-2.021B>
- [4] Škrbić, B., Đurišić, Ž. Komparativna analiza tehničkih, ekonomskih i ekoloških pokazatelja različitih modela prozjuma sa fotonaponskim panelima na primeru zgrade Tehničkih fakulteta u Beogradu, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 23, No. 4, pp.8-15, 2021. <https://doi.org/10.46793/EEE21-4.08S>
- [5] Solargis. <https://solargis.com/> [pristupljeno 05.04.2023]
- [6] Jovanović Popović, M., Ignjatovic, D. *National typology of residential buildings in Serbia*. Faculty of Architecture, University of Belgrade, GIZ - Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, 2013
- [7] National Building Typologies <http://eekalkulator.mgsi.gov.rs/> [pristupljeno 05.04.2023]
- [8] Gomez-Exposito, A., Arcos-Vargas, A., Gutierrez-Garcia, F. On the potential contribution of rooftop PV to a sustainable electricity mix: the case of Spain, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 132, 110074, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110074>
- [9] *Assessment of the National Potential for Residential Rooftop Photovoltaic Installed Capacity in Serbia*, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, 2023
- [10] PV module efficiency state of the art. Source: PHOTOVOLTAICS REPORT, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, ISE with support of PSE Projects GmbH, December 2022
- [11] Photovoltaic geographical information system. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/ [pristupljeno 05.04.2023]

AUTORI/AUTHORS

dr Iva Batić - naučni saradnik, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, iva@etf.rs, ORCID [0000-0003-0150-3235](https://orcid.org/0000-0003-0150-3235)

dr Aleksandar Ivančić - viši savetnik, Aiguasol, Barcelona Institute of Architecture, Institut de Recerca en Energia de Catalunya, Universitat Politècnica de Catalunya, Università degli Studi di Sassari, alex.ivancic@aiguasol.coop, ORCID [0000-0001-6387-8361](https://orcid.org/0000-0001-6387-8361)