

V NAUČNO-
STRUČNI
SIMPOZIJUM
**ENERGETSKA
EFIKASNOST
ENEf**
BANJA LUKA

26 - 27. april 2023.

Zbornik radova

Zbornik radova V naučno-stručnog simpozijuma Energetska efikasnost ENEF Banja Luka

Izdavač

Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet Univerziteta u Banjoj Luci

Za izdavača

dr Saša Čvoro, vanredni profesor, dekan

Urednici

dr Darija Gajić, vanredni profesor, predsjednik programskog odbora
dr Malina Čvoro, vanredni profesor, predsjednik organizacionog odbora

Tehnički urednici i grafičko oblikovanje

msr Slobodan Peulić, dipl. inž. arh.
msr Milana Nedimović, dipl. inž. arh.

Tiraž

100 primjeraka

ISBN 978-99976-978-9-9

COBISS.RS-ID 138306817

Banja Luka, april, 2023.

Organizatori simpozijuma

Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet Univerziteta u Banjoj Luci
Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Banjoj Luci
Mašinski fakultet Univerziteta u Banjoj Luci
Savez energetičara Republike Srpske

Programski odbor simpozijuma

Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet Univerziteta u Banjoj Luci
Prof. dr Darija Gajić, predsjednik; prof. dr Biljana Antunović; prof. dr Saša Čvoro
prof. dr Malina Čvoro; prof. dr Diana Stupar; prof. dr Gordana Broćeta

Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Banjoj Luci

Prof. dr Branko Dokić; prof. dr Tatjana Pešić - Brđanin; prof. dr Branko Blanuša;
prof. dr Čedomir Zeljković; prof. dr Petar Matić; prof. dr Miloš Ljubojević;

Mašinski fakultet Univerziteta u Banjoj Luci

Prof. dr Petar Gvero; prof. dr Goran Janjić; prof. dr Milovan Kotur; prof. dr Bojan Knežević

Članovi programskog odbora izvan Univerziteta u Banjoj Luci

Prof. dr Slobodan Lubura, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Istočnom Sarajevu

Prof. dr Milimir Šoja, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Istočnom Sarajevu

Prof. dr Darko Marčetić, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Prof. dr Srđan Vasković, Mašinski fakultet, Univerzitet u Istočnom Sarajevu

Prof. dr Sanda Midžić Kurtagić, Univerzitet u Sarajevu

Prof. dr Budimir Sudimac, Univerzitet u Beogradu;

Prof. dr Aleksandar Rajčić, Univerzitet u Beogradu

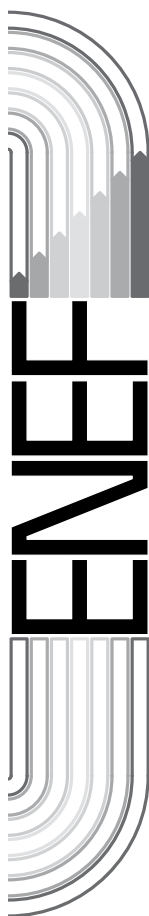
Organizacioni odbor simpozijuma

Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet Univerziteta u Banjoj Luci

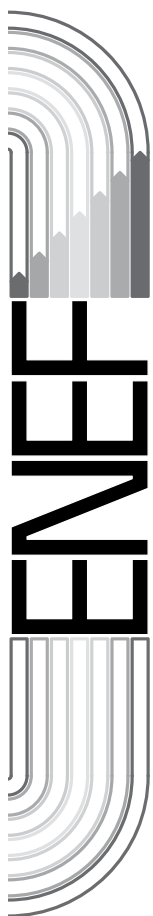
Prof. dr Malina Čvoro, predsjednik; Jelena Rašović, ma; Una Okilj, ma; Slobodan Peulić, ma;

Milica Malešević, ma; Milana Nedimović, ma; mr Mladen Slijepčević;

Snježana Milovanović, ma; Ognjen Mijatović, ma







ORGANIZZATORI, PARTNERI | SPONZORI

Zlatni
sponzori



Partner



Фонд за заштиту животне средине
и енергетску ефикасност Републике Српске
Environmental Protection and Energy
Efficiency Fund of the Republic of Srpska



Srebrni
sponzori

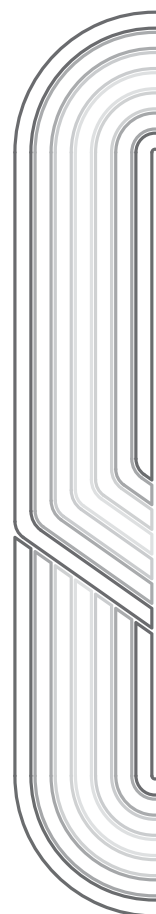


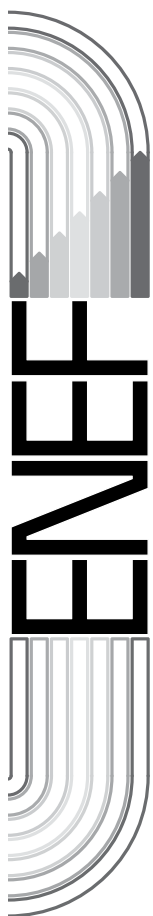
Reynaers
Aluminium

Standardni
sponzori



Organizatori





SADRŽAJ

- 9 **ENERGETSKO SIROMAŠTVO – REZULTATI ANKETE PROVEDENE NA UNIVERZITETU U BANJOJ LUCI**
LJUBIŠA PRERADOVIĆ, PETAR GVERO, MILOVAN KOTUR
- 15 **GEOPORTAL GRADA PRIJEDORA ZA MJERE ENERGETSKE EFIKASNOSTI U VIŠEPORODIČNIM ZGRADAMA**
MLADEN AMOVIĆ, DARIJA GAJIĆ, DARKO TODOROVIĆ, MILOVAN KOTUR, JOVAN ĐUKIĆ
- 21 **TOWARDS DEEP ENERGY RETROFITTING: AN OVERVIEW AND POSSIBILITIES FOR SLOVENIA AND BOSNIA-HERZEGOVINA**
SLOBODAN PEULIĆ, DARIJA GAJIĆ, ANNA SANDAK, ČRTOMIR TAVZES, TIM MAVRIČ, JELENA RAŠOVIĆ, MLADEN SLIJEPČEVIĆ, BILJANA ANTUNOVIĆ, MILICA MALEŠEVIĆ, UNA OKILJ
- 27 **ANALIZA ISPLATIVOSTI UGRADNJE FOTONAPONSKIH SISTEMA KOD KUPACA-PROIZVOĐAČA U NJEMAČKOJ**
MILOŠ JANKOVIĆ, ČEDOMIR ZELJKOVIĆ, PREDRAG MRŠIĆ
- 33 **ENERGETSKA I EKOLOŠKA ODGOVORNOST KAO PRINCIP PROJEKTOVANJA**
SAŠA ČVORO, MALINA ČVORO, UNA OKILJ, ZORAN ULJAREVIĆ
- 37 **RAZVOJ STUDIJSKIH PROGRAMA I PREDMETA U OKVIRU PROJEKTA ERASMUS+ ELEMEND (ELECTRICAL ENERGY MARKETS AND ENGINEERING EDUCATION)**
PLATON SOVILJ, ĐORĐE NOVAKOVIĆ, SANJA MANDIĆ, DRAGAN PEJIĆ, ZDRAVKO GOTOVAC, NEMANJA GAZIVODA
- 41 **PRIVREMENE INTERVENCIJE NA GRADSKIM TRGOVIMA U ZIMSKOM PERIODU I TOPLOTNI KOMFOR – TRG U KRAGUJEVCU**
LAZAR MANDIĆ, ALEKSANDRA ĐUKIĆ, JELENA MARIĆ
- 49 **ZELENA DIMENZIJA KOMPAKTNOG GRADA**
MALINA ČVORO, UNA OKILJ, SAŠA ČVORO, ZORAN ULJAREVIĆ
- 55 **ENERGETSKI POKAZATELJ INDIVIDUALNOG STAMBENOG OBJEKTA U BANJALUCI**
BILJANA ANTUNOVIĆ, ADNAN MURGUZ, DARIJA GAJIĆ, JELENA RAŠOVIĆ
- 61 **UTICAJ VEGETACIONIH MODULARNIH ELEMENATA ZA ZIDOVE OMOTAČA NA ENERGETSKI BILANS ZGRADE**
BUDIMIR SUDIMAC, BRANKO SLAVKOVIĆ, RADOJKO OBRADOVIĆ
- 67 **TROMBOV ZID I NJEGOV UTICAJ NA GODIŠNJE POTREBNU ENERGIJU ZA GRIJANJE**
MILAN PUPČEVIĆ, BILJANA ANTUNOVIĆ, PREDRAG MRŠIĆ
- 73 **TERMOIZOLACIJA OD RECIKLIRANOG TEKSTILA ZA OMOTAČ ZGRADE**
ANA JOJIĆ, BILJANA ANTUNOVIĆ
- 79 **UTICAJ ELEKTROFILTERSKOG PEPELA NA ČVRSTOĆU SAMOUGRAĐUJUĆEG BETONA PRI PRITISKU**
GORDANA BROČETA, ALEKSANDAR SAVIĆ, ANĐELKO CUMBO, MARINA LATINOVIĆ KRNDIJA, ŽARKO LAZIĆ, DRAŽENKA LOZO, JOVAN VOLAŠ
- 87 **OPTIMIZACIJA IZMJENJIVAČA TOPLOTE SA PRIRODNOM KONVEKCIJOM ZA SISTEM GRIJANJA PROSTORA PRIMJENOM PELTIEROVOG TERMoeLEKTRIČNOG GENERATORA**
MILAN PUPČEVIĆ, MITAR PERUŠIĆ, PETAR GVERO, MILOVAN KOTUR
- 93 **ODREĐIVANJE OPTIMALNOG ODNOSA INSTALISANE SNAGE FOTONAPONSKIH PANELA I INSTALISANE SNAGE INVERTORA**
VOJISLAV KAJTEZ, PREDRAG MRŠIĆ, ČEDOMIR ZELJKOVIĆ
- 99 **ODRŽIVA OBNOVA VRTIČA POŠTUJUĆI NZEB STANDARD**
DARIJA GAJIĆ, SAŠA ZEČEVIĆ, MILOVAN KOTUR
- 105 **ULOGA KUPACA-PROIZVOĐAČA U ELEKTROENERGETSKOM SISTEMU**
AJLA BAJRIĆ



Energetsko siromaštvo – rezultati ankete provedene na Univerzitetu u Banjoj Luci

Ljubiša Preradović¹, Petar Gvero², Milovan Kotur²

¹Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, Banja Luka, Republika Srpska, BiH

²Univerzitet u Banjoj Luci, Mašinski fakultet, Banja Luka, Republika Srpska, BiH

ljubisa.preradovic@aggf.unibl.org, petar.gvero@mf.unibl.org, milovan.kotur@mf.unibl.org

Sažetak— Energetsko siromaštvo, kao jedan od problema sa kojim se susreće savremeno društvo nedovoljno je istraženo u Bosni i Hercegovini. Nedostatak adekvatnih podataka o energetskom siromaštvu, otežava borbu protiv ovog problema kojem su posebno izložene osjetljive kategorije (penzioneri, nezaposleni, višečlane porodice itd.). S ciljem barem djelomične identifikacije ovog problema, na Univerzitetu u Banjoj Luci provedeno je anketno istraživanje ovog fenomena tokom jeseni 2022. godine. Rezultati provedene ankete nesumnjivo pokazuju da je energetsko siromaštvo veoma prisutno u ispitivanom uzorku, ali i nedovoljno prepoznato među anketiranim ispitanicima. Stoga bi se u narednom periodu trebala preduzeti opsežnija istraživanja ovog problema u znatno široj populaciji, s ciljem tačnije identifikacije i preduzimanja koraka ka smanjenju ovog problema.

Ključne riječi — energetsko siromaštvo; anketa; energetska efikasnost.

I. UVOD

Jedan od vodećih problema u svijetu, pa i u Bosni i Hercegovini, ali i u zemljama Evropske unije je energetsko siromaštvo. U stručnoj literaturi, pojam energetskog siromaštva u značajnijem obimu pojavljuje se osamdesetih godina XX vijeka, ali do danas nema opšteg konsenzusa oko tačne definicije ovog pojma. Bradshaw i Hutton [1] u svom radu iz 1983, definišu energetsko siromaštvo kao nemogućnost da se osigura adekvatna temperatura u domaćinstvu. Danas se pod pojmom energetsko siromaštvo u širem smislu, podrazumijeva nemogućnost domaćinstva da se zadovolje potreba za energijom (za grijanje, hlađenje, rasvjetu, kuvanje, itd.). Uzroci energetskog siromaštva mogu biti veoma različiti. Ponekad je to izostanak pristupa pojedinoj usluzi, npr. nedostupnost električne mreže (neke procjene pokazuju da 2010. godine skoro 1,3 milijarde ljudi uglavnom u Aziji i Subsaharskoj Africi nisu imali pristup električnoj mreži [2]), dok su u Evropi mnogo češći uzroci prevelika potrošnja energije, previsoke cijene utrošene energije, odnosno niski prihodi domaćinstva ([1]; [3-5]).

Energetsko siromaštvo ima direktne i indirektne posljedice na zdravlje i živote ljudi, ali takođe i na ekonomiju i na životnu sredinu ([2], [6]). Neke posljedice energetskog siromaštva utiču na kvalitet stanovanja (neodgovarajuće temperature vazduha u zimskom i ljetnjem periodu, pojava plijesni i vlage u prostoru stanovanja, nedovoljne osvijetljenosti prostora itd.),

a time i na zdravlje osoba koje borave u navedenom prostoru, a neke da socijalni status pojedinca utičući na njegovu socijalnu isključenost.

Energetskim siromaštvom su naročito pogođene višečlane porodice, samohrani roditelji, penzioneri odnosno domaćinstava sa niskim primanjima. Prema [7], čak 58% samohranih majki u Bosni i Hercegovini nije moglo da plaća račune za stan i komunalije, a čak 42% je izjavilo da su povremeno na granici gladi, jer im se događa da nemaju novca da plate hranu.

Kompleksnost definisanja energetskog siromaštva otežava njegovu tačnu identifikaciju, tako da se podaci o broju osoba pogođenih energetskim siromaštvom svakodnevno mijenjaju. Stoga su prisutne i različite procjene broja osoba pogođenih energetskim siromaštvom ne samo u pojedinim manje razvijenim zemljama već i u zemljama Evropske unije. Neka istraživanja navode da su energetskim siromaštvom u Evropi naročito pogođene zemlje Centralne, Istočne i Južne Evrope navodeći kao jedan od razloga niska primanja domaćinstva [8, 9]. Prema [10] u zemljama Evropske unije između 50-125 miliona stanovnika nije u mogućnosti da ostvari adekvatnu temperature u zagrijavanom prostoru.

Na nivou Bosne i Hercegovine, odnosno na nivou entiteta Republike Srpske i Federacije Bosne i Hercegovine ne postoje adekvatni podaci o broju domaćinstava pogođenih energetskim siromaštvom. Pa ipak, postoje neki indirektni podaci i pojedinačna istraživanja koja ukazuju da je znatan broj porodica energetski siromašan. Podaci o potrošnji energije u domaćinstvima u Bosni i Hercegovini [11] pokazali su znatno manju potrošnju energije od potrošnje energije predviđene nekim drugim strateškim dokumentima, npr. Tipologijom stambenih zgrada Bosne i Hercegovine [12]. U strategiji obnove zgrada u Bosne i Hercegovini do 2050. godine konstatovano je da se svega 66,5% površine stambenog prostora grije, što je jasan pokazatelj postojanja energetskog siromaštva [13].

Upravo nepostojanje bilo kakvih relevantnih podataka o energetskom siromaštvu u Bosni i Hercegovini potaklo je tim istraživača sa Mašinskog i Arhitektonsko-građevinsko-geodetskog fakulteta na istraživanje ovog fenomena, prvo među zaposlenicima Univerziteta u Banjoj Luci, a potom i u široj lokalnoj zajednici. U ovom radu izložićemo dio rezultata ispitivanja energetskog siromaštva provedenog među zaposlenicima i studentima Univerziteta u Banjoj Luci.

II. IDENTIFIKACIJA ENERGETSKOG SIROMAŠTVA

Za sad ne postoji jedinstvena definicija pa time i metodologija za tačnu identifikaciju energetskog siromaštva. Iz navedenog razloga, za procjenu energetskog siromaštva u nekoj državi, regionu, gradu, grupi i slično uglavnom se koriste ankete koje imaju za cilj prikupljanje što većeg broja podataka o svim faktorima koji utiču na potrošnju energije, prihode domaćinstva ali i socijalnim posljedicama energetskog siromaštva na članove domaćinstva. U zavisnosti od ciljne grupe nad kojom se provodi anketa kreiraju se odgovarajući upitnici, tj. ne postoji univerzalni upitnik koji bi se koristio za potrebe istraživanja energetskog siromaštva. Prag energetskog siromaštva takođe može biti definisan na različite načine. Prema Opservatoriju Evropske Unije za energetsko siromaštvo, energetsko siromaštvo se prepoznaje kada se 10% do 15% mjesečnog prihoda određenog domaćinstva upotrijebi na troškove energije, odnosno nemogućnost osiguravanja odgovarajućeg grijanja [14].

III. MATERIJAL I METODE

Za potrebe istraživanja, tim istraživača sa Mašinskog i Arhitektonsko-građevinsko-geodetskog fakulteta kreirao je odgovarajući anketni upitnik (papirni i elektronski), s ciljem prikupljanja podataka o faktorima koji uzrokuju energetsko siromaštvo i njegovim posljedicama. Anketni upitnik je sadržavao 42 pitanja vezana za demografske podatke, podatke o stanu/kući, načinu grijanja i hlađenja stambenog prostora, prihodima i rashodima, ugrađenim izolacijama, prozorima, te subjektivnim osjećajima i posljedicama na fizičko i mentalno zdravlje.

Anketiranje zaposlenih i studenata Univerziteta u Banjoj Luci sprovedeno je elektronskim putem tokom septembra mjeseca 2022. god.

Pri analizi podataka korišćen je analitičko-statistički alat SPSS, verzija 23.

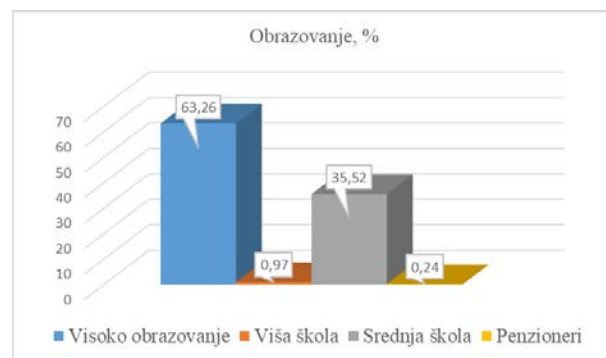
IV. REZULTATI ANKETE

Anketni upitnik je popunilo 411 ispitanika, od koji su skoro dvije trećine ženskog pola („Sl. 1“).



Sl. 1. Ispitanici po polu

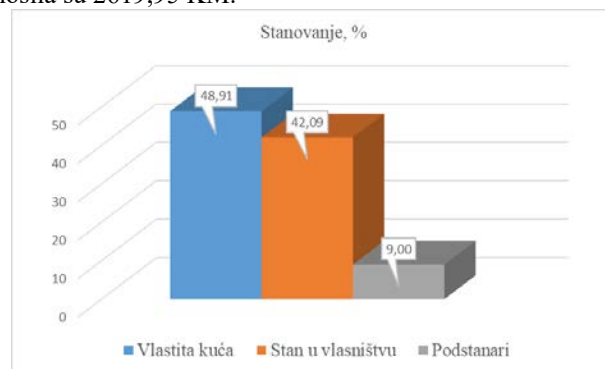
Većina ispitanika je imala visoko obrazovanje (63,3%), dok je jedan od ispitanika bio penzioner („Sl. 2“).



Sl. 2. Ispitanici po obrazovanju

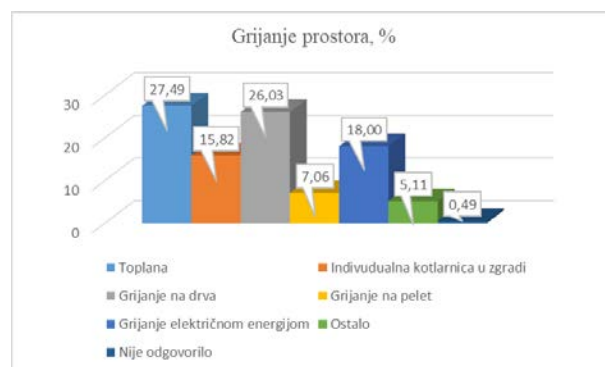
Vrlo mali broj (9%) ispitanika nije vlasnik stambenog prostora u kojem trenutno boravi („Sl. 3“).

Objekti u kojima stanuju ispitanici su prosječne starosti 29,94 godine, a prosječna površina stambenog objekta je 96,62 m². Prosječna novčana mjesečna primanja po domaćinstvu iznosila su 2619,95 KM.



Sl. 3. Vlasništvo nad stambenim prostorom ispitanika

Najveći broj ispitanika priključen je na gradsku toplanu (27,49%). Domaćinstva koja nisu na sistemu daljinskog grijanja kao energent najčešće koriste drvo (26,03%) ili električnu energija (18%) - „Sl. 4“.



Sl. 4. Grijanje prostora

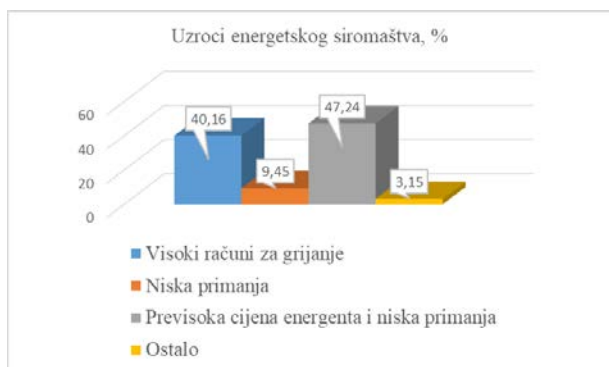
Prosječni mjesečni troškovi grijanja ispitanika iznosili su 110,46 KM, a čak 45,26% ispitanika izjasnilo se da su im računi za grijanje previsoki. Kao razlog za visoke račune grijanja, 39,47% ispitanika navelo je da to previsoka cijena

energenata, kombinacija niskih ličnih primanja i previsoke cijene energenata 45,6% ispitanika, 9,21% mala primanja a 5,7% navelo je ostale razloge. Sve prostorije u objektu stanovanja zagrijavalo je 54,01% ispitanika, a kao razlog nezagrijavanja kompletnog prostora navedeni su ne korišćenje prostora (48,94%), ušteta u grijanju/ogrijevu (36,7%) i ostalo (14,36%).

Prosječni mjesečni troškovi električne energije ispitanika iznosili su (343 odgovora) 89,2 KM.

Za 328 ispitanika izvršeno je poređenje prihoda i rashoda za energiju. Pri tome su domaćinstva čiji su troškovi za energiju bili viši od 10% mjesečnih primanja svrstana u grupu „energetski siromašni“ i obrnuto. Prema navedenom kriteriju, skoro tri od pet (59,75%) domaćinstava u analiziranom uzorku je energetski siromašno. Ovaj procenat je veći u domaćinstvima iz kojih ispitanik nije bio zaposlen (75%) i nešto manji u domaćinstvima iz kojih je ispitanik zaposlen (52,68%). Rezultati istraživanja pokazuju da su energetskim siromaštvom više pogođeni vlasnici kuća (77,85%) nego vlasnici stanova (41,84%), što se može objasniti činjenicom da je površina zagrijavanog prostora u slučaju kuća znatno veća nego u slučaju stanova, pa su samim tim i troškovi zagrijavanja (hlađenja) takvog prostora viši.

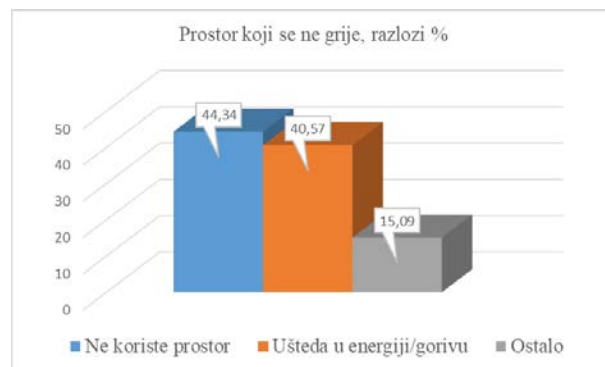
Ispitanici iz kategorije „energetski siromašni“ smatraju da su osnovni uzrok „energetskog siromaštva“ visoki računi za energiju (40,16%), odnosno kombinacija niskih primanja i previsokih cijena energenata (47,24%) - „Sl. 5“.



Sl. 5. Uzroci energetskog siromaštva

Kompletan prostor zagrijava 45,92% ispitanika koji pripadaju kategoriji „energetski siromašnih“ i 68,18% ispitanika koji ne pripadaju toj kategoriji.

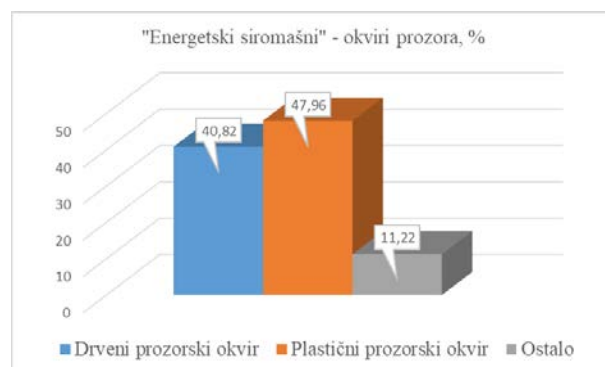
Kao najčešći razlog nezagrijavanja cjelokupnog raspoloživog prostora, ispitanici koji pripadaju kategoriji „energetski siromašni“ navode nekorišćenje prostora (43,9%) i ušteta u gorivu (40,57%) - „Sl. 6“.



Sl. 6. Prostor koji se ne grije - uzroci

Imajući u vidu razloge koje ispitanici iz kategorije „energetski siromašni“ navode kao uzrok energetskog siromaštva, treba se osvrnuti na stanje objekata u kojima oni borave. Tako dva od tri (67,86%) ispitanika iz ove kategorije navodi da žive u izolovanim objektima i ovaj procenat se ne razlikuje puno od procenta ispitanika koji nisu energetski siromašni (71,21%). Ovo je pak u saglasju sa dominantnim odgovorom ispitanika svrstanih u kategoriju „energetski siromašnih“ vezano za uzroke energetskog siromaštva (previsoka cijena energenata i niska primanja).

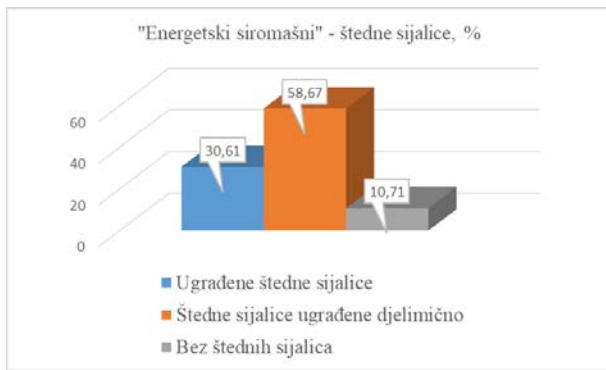
Prozorske okvire od plastike ima skoro 48% ispitanika iz kategorije „energetski siromašni“, a odmah potom po zastupljenosti su prozorski okviri od drveta (40,82%) - „Sl. 7“.



Sl. 7. „Energetski siromašni“ – okvir prozora

Dodatno o kvalitetu ugrađenih prozora govori osjećaj strujanja vazduha (propuh) kroz prozore. Prema rezultatima istraživanja, osjećaj strujanja vazduha kroz prozore ima 30,26% ispitanika koji pripadaju i 25,76% koji ne pripadaju kategoriji „energetski siromašni“.

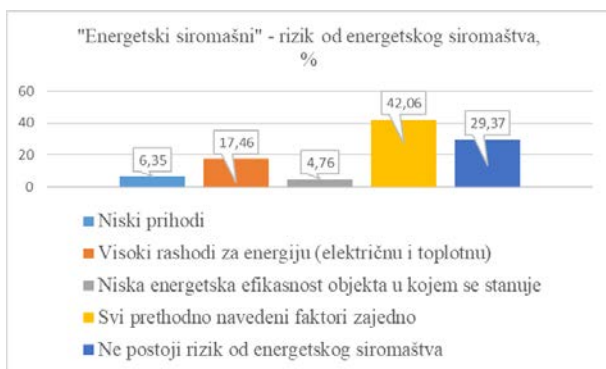
Potpuno ili djelomično, štedne sijalice ima ugrađeno 89,29% ispitanika iz kategorije „energetski siromašni“ („Sl. 8“), dok 19,7% ispitanika koji nisu u ovoj kategoriji nema ugrađenih štednih sijalica.



Sl. 8. „Energetski siromašni“ – Štedne sijalice

Interesantno je primijetiti da 29,37% ispitanika koji pripadaju kategoriji „energetski siromašni“ smatraju da ne postoji rizik od energetskog siromaštva, dok je taj procenat znatno veći kod onih koji ne pripadaju toj kategoriji (48,68%), što je i razumljivo s obzirom da su im prihodi veći u odnosu na druge ispitanike.

Dodatno, ispitanici iz kategorije „energetski siromašni“ dominantno ne smatraju da su pojedinačno niski prihodi ili niska energetska efikasnost objekta veliki rizik za energetsko siromaštvo već samo kombinacija svih nepovoljnih faktora (42,06%) - „Sl. 9.



Sl. 9. „Energetski siromašni“ – rizik od energetskog siromaštva

Da imaju posljedice na fizičko zdravlje zbog računa za električnu/toplotnu energiju izjasnilo se 9,38% ispitanika koji pripadaju kategoriji „energetski siromašni“, odnosno 4,69% ispitanika koji toj kategoriji ne pripadaju. Nešto je veći procenat onih koji su se izjasnili da imaju posljedice na mentalno zdravlje zbog plaćanja računa za električnu/toplotnu energiju: (10,82%) iz kategorije „energetski siromašni“, dok je procenat onih koji nisu iz te kategorije, očekivano, manji (3,1%).

V. ZAKLJUČAK

Provedena istraživanja pokazala su prisutnost energetskog siromaštva u znatnom obimu (59,75%) anketiranih domaćinstava, prema definisanom kriterijumu (troškovi za energiju su viši od 10% mjesečnih primanja). Iako je 63,7% ispitanika upoznato sa pojmom energetskog siromaštva, rezultati provedene ankete nedvosmisleno pokazuju da ispitanicima nisu u potpunosti jasni uzroci energetskog

siromaštva, a time i načini na koji bi se ovaj problem mogao prevazići. Takođe, veliki broj ispitanika očigledno nije ni svjestan da je energetski siromašan, nemogućnost da zadovolji potrebe za energijom prihvata kao „normalno“ stanje, a time i ne preduzima mjere na rješavanju ovog problema.

Problem je u toliko širi što ne postoje obimnija istraživanja ovog fenomena na teritoriji Republike Srpske, ali i Bosne i Hercegovine, pa je time i onemogućen sistemski pristup rješavanju ovog problema. Stoga je za očekivati da će se u bliskoj budućnosti ovaj problem rješavati kao i do sad, parcijalno, putem subvencija, i to samo dijela ugroženih građana, tj. onih koji su u stanju socijalne potrebe. Sa druge strane ignorisanje postojanja ovog problema, rezultira narušavanjem fizičkog i mentalnog zdravlja ljudi, ali utiče i na ekonomiju društva, kao i na životnu sredinu jer su zajednice izložene energetskom siromaštvu uglavnom prinuđene da za zadovoljenje potreba za energijom, koriste jeftinije i manje kvalitetne energente odnosno uređaje manje efikasnosti.

Za sistemsko rješavanje problema energetskog siromaštva u bosansko-hercegovačkom društvu neophodna su šira istraživanja ovog fenomena koja bi dala odgovore na osnovne uzroke energetskog siromaštva u Bosni i Hercegovini, te predložila akcione mjere koje bi se trebale preduzeti u svim strateškim dokumentima radi prevazilaženja ovog problema u bliskoj budućnosti.

LITERATURA

- [1] J. Bradshaw and S. Hutton, „Social policy options and fuel poverty“ *J Econ Psychol*, 3, pp 249–266, 1983.
- [2] M. González-Eguino, „Energy poverty“ *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 377–385, 2015.
- [3] A. Atsalis, S. Mirasgedisb, C.Tourkoliasa, and D. Diakoulaki, „Fuel poverty in Greece: Quantitative analysis and implications for policy“, *Energy and Buildings*, vol. 131, pp. 87-98, 2016.
- [4] C. N. B Grey, T. Schmieder-Gaite, S. Jiang, C. Nascimento, and W. Poortinga, „Cold homes, fuel poverty and energy efficiency improvements: A longitudinal focus group approach“, *Indoor and Built Environment*: 26 (7), 902–913, 2017. <https://doi.org/10.1177/1420326X17703450>.
- [5] B. Legendre, O. Ricci, „Measuring fuel poverty in France: Which households are the most fuel vulnerable?“, *Energy Economics*, (2015), doi: 10.1016/j.eneco.2015.01.02
- [6] C. Liddell, C. Morris, „Fuel poverty and human health: a review of recent evidence“, *Energy Policy*, 38:2987–2997, 2010.
- [7] Dž. Agić, V. Rizvić, S. Agić, „Pregled nacionalne situacije u pogledu energetskog siromaštva u Bosni i Hercegovini“, *Centar za ekologiju i energiju*, Tuzla 2016
- [8] S. Bouzarovski, „Energy poverty in the European Union: landscapes of vulnerability“, *WIREs Energy Environ*, 3: 276–289, 2014. doi: 10.1002/wene.89
- [9] C. Robinson, S. Bouzarovski, S.Lindley, „Getting the measure of fuel poverty: The geography of fuel poverty, indicators in England“, *Energy Research & Social Science*, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.erss.2017.09.035>
- [10] BPIE, „Alleviating fuel poverty in the EU—investing in home renovation, a sustainable and inclusive solution“, in: *Technical Report prepared by Buildings Performance Institute Europe*, BPIE, 2014.
- [11] Agency for statistic of Bosnia and Herzegovina, „Survey of household energy consumption in Bosnia and Herzegovina 2015“, 2015.
- [12] D. Arnautović - Aksić, M. Burazor, N. Delalić, D. Gajić, P. Gvero, Dž. Kadrić, M. Kotur, E. Salihović, D. Todorović, N. Zagora, „Typology of residential buildings in Bosnia and Herzegovina“. 2016. Available at:

<http://aggf.unibl.org/uploads/2016/11/Tipologija-stambenih-zgrada.pdf>, (accessed 21.12.20).

- [13] S. Midžić Kurtagić, P. Gvero, M. Kotur, F. Čorović, „Towards energy efficiency in buildings – a strategic approach to building renovation in Bosnia and Herzegovina“, Conference DEMI 2019, Banja Luka, 2019.
- [14] S. Vidoeski, „Energetsko siromaštvo, ugroženost i ljudska prava u BiH: Analiza iz historijske i savremene perspektive“, Fondacija Heinrich Böll, Sarajevo, 2020

ABSTRACT

Energy poverty, one problem that human society faces today, is insufficiently researched in Bosnia and Herzegovina. The lack of adequate data on energy poverty makes it difficult to fight against this problem, to which sensitive categories (pensioners, unemployed, multi-member families, etc.) are especially exposed. In order to at least partially identify this

problem, a survey of this phenomenon was conducted at the University of Banja Luka during the fall of 2022. The results of the conducted survey undoubtedly show that energy poverty is very present in the examined sample, but also insufficiently recognized among the respondents. Therefore, in the coming period, more extensive research on this problem should be undertaken in a much wider population, with the aim of more accurate identification and taking steps to reduce this problem.

ENERGY POVERTY - RESULTS OF A SURVEY CONDUCTED AT THE UNIVERSITY OF BANJA LUKA

Ljubiša Preradović, Petar Gvero, Milovan Kotur

Geoportal grada Prijedora za mjere energetske efikasnosti u višeporodičnim zgradama

Dekarbonizacija energetskog sektora u Bosni i Hercegovini

Mladen Amović^{1,2}, Darija Gajić², Darko Todorović³, Milovan Kotur⁴, Jovan Đukić⁵

¹Automated Geosolutions d.o.o. Banja Luka, Republika Srpska, BiH

²Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, Banjaluka, Republika Srpska, BiH

³Plan d.o.o, Banjaluka, Republika Srpska, BiH

⁴Univerzitet u Banjoj Luci, Mašinski fakultet, Banjaluka, Republika Srpska, BiH

⁵Ekonomski institut Banjaluka, Republika Srpska, BiH

amgeosolutions@gmail.com, mladen.amovic@aggf.unibl.org, darija.gajic@aggf.unibl.org,

dtodorovic@agfbl.org, milovan.kotur@mf.unibl.org, jdjukic@blic.net

Sažetak— Jedan od načina dekarbonizacije urbanog područja Bosne i Hercegovine, kroz prikaz geoportal aplikacije za mjere energetske efikasnosti u zgradama, na primjeru grada Prijedora, predstavljen je kroz ovaj istraživački rad. Geoportal ukazuje na arhitektonske i energetske pokazatelje postojećeg stanja zgrada i energetske i ekonomske pokazatelje nakon primijenjenih mjera na omotaču zgrada i sistemu grijanja (<https://prijedor.webhexam.com/>). Iako su prikazane sve višeporodične zgrade Prijedora izgrađene do oktobra 2022. godine, sa svojim arhitektonskim i energetskim karakteristikama, navedeni podaci u aplikaciji korisnicima zgrada direktno ukazuju na isplativost primijenjenih mjera energetske efikasnosti na omotaču i na sistemu grijanja za zgrade izgrađene do 2014. godine. Takođe, podaci omogućavaju nadležnim institucijama, gradskoj upravi i komunalnim preduzećima, širu sliku neophodnog finansijskog ulaganja u obnovu svih zgrada u gradu Prijedoru izgrađenih prije 2014. godine i uopšte na prioritetnu obnovu najugroženijih zgrada sa aspekta energetskih karakteristika omotača i sistema grijanja zgrada koje nisu na sistemu daljinskog grijanja.

Ključne riječi—energetska efikasnost; geoportal aplikacija; stambene zgrade; ušteda energije; ekonomska isplativost

I. UVOD

Razvoj satelitske i radarske daljinske detekcije, globalnih navigacionih satelitskih sistema, aerofotografskih kamera, senzorskih mreža, laserskog skeniranja i kartografije doprinose eksponencijalnom rastu količine prikupljenih prostorno-vremenskih podataka [1]. Posljednjih decenija, količine podataka su se značajno povećale. Gotovo da nema bilo kakve karakteristike koje nije moguće geoprostorno definisati, pa tako geoinformacije čine jedan od najznačajnijih izvora podataka. U tom pogledu posebnu ulogu zauzima pojam infrastrukture prostornih podataka (Spatial Data Infrastructure - SDI). SDI predstavlja skup smjernica, tehnologija i institucionalnih sporazuma u omogućavanju dostupnosti i pristupa prostornim podacima. Ovim konceptom obezbijedena je osnova za pronalaženje, evaluaciju i primjenu prostornih podataka od strane korisnika i dobavljača [2], [3],

[4], [5]. Geoportal grada Prijedora za mjere energetske efikasnosti u višeporodičnim zgradama je predstavljen kroz arhitekturu samog informatičkog sistema, zatim analizom tipologije stambenih zgrada i perioda gradnje kroz arhitektonske, energetske i ekonomske pokazatelje, te kroz ukupne statističke podatke o postojećem stanju i mogućim mjerama energetske efikasnosti na omotaču zgrada i sistemu grijanja. Istraživanje postojećeg stanja i prijedlozi unapređenja, te analiziranje podataka i stvaranje geoportala je realizovano uz pomoć multidisciplinarnog pristupa istraživača i inženjera iz oblasti geodezije, arhitekture, mašinstva, ekonomije i informatike kojima je uža oblast energetska efikasnost u zgradarstvu. Tipologija stambenih zgrada grada Prijedora, periodi izgradnje i tipovi višeporodičnih zgrada, izvedeni su iz Tipologije stambenih zgrada Bosne i Hercegovine [6]. Mjere energetske efikasnosti na zgradama vođene su direktivom 2012/27/EU [7] i regulativom EU No. 244/2012 [8], te stvarnim stanjem zgrada i prijedlogom autora.

II. METODOLOGIJA IZRADE GEOPORTALA

Za potrebe realizacije projektnih aktivnosti definisana je metodologija prema kojoj će se sagledati postojeće stanje objekata višeporodičnog stanovanja na teritoriji Grada Prijedora, a koje su predmet istraživanja. Za potrebe procjene postojećih stambenih zgrada korišćena je metodologija ustanovljena korišćenjem parametara iz Tipologije stambenih zgrada Bosne i Hercegovine, te obilaskom terena (351 zgrade) i zaključivanja realnih pokazatelja arhitektonskog i energetskog stanja zgrada. U tu svrhu je bilo potrebno identifikovati sve objekte u skladu sa definisanom strukturom i neophodnim atributima kako bi se mogla izvršiti ocjena postojećeg stanja i prijedlog za energetske unapređenje navedenih zgrada. Istraživanje predstavlja značajan doprinos, jer ni jedan grad u Republici Srpskoj nije analiziran na način da su uzete u razmatranje sve stambene zgrade grada, te osim energetske analize, prvi put su predstavljene stvarne ekonomske preporuke. U tu svrhu projektni tim je razvio

ekonomski kalkulator, koji će uvažavati cijene mjera za unapređenje energetskog stanja i primjenjivati ih na svakoj pojedinačnoj zgradi.

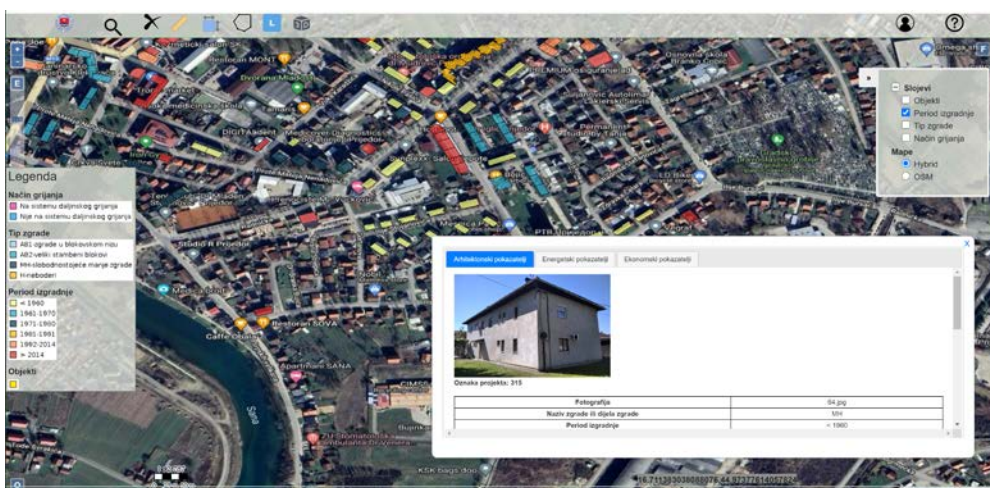
A. Tipologija stambenih zgrada grada Prijedora

Grad Prijedor, zaključno sa oktobrom 2022. godine, posjeduje 351 stambenu zgradu podjeljenu u tipove, prema Tipologiji stambenih zgrada Bosne i Hercegovine na: MH – slobodnostojeće manje zgrade, koje sa svih strana imaju vertikalni omotač izložen spoljašnjem vazduhu, AB1 – zgrade u blokovskom nizu, koje su građenje po obodu bloka i koje imaju dvije bočne strane zaštićene susjednim zgradama, te su

samo prednja i zadnja strana vertikalnog omotača izložena spoljašnjem vazduhu, AB2 – veliki stambeni blokovi - lamele, koje ne prate blokovski niz, već slobodno stoje na parceli i pojavljuju se na dva načina:

- lamele iste spratnosti su paralelne ili upravne na ulicu (u zavisnosti od broja lamela prva i zadnja imaju tri strane vertikalnog omotača izložene spoljašnjem vazduhu, dok je kod unutrašnjih lamela izloženost samo dvije vertikalne strane) i

- lamele različite spratnosti koje su stepenasto uvučene u odnosu na ulicu, kod kojih je jedan bočni dio omotača zaštićen susjednom lamelom i H – neboderi, slobodnostojeće zgrade koje imaju više od osam spratova.



Sl.1. Geoportal za mjere energetske efikasnosti u višeporodičnim zgradama – prikaz arhitektonskih pokazatelja zgrade MH iz perioda <1960

Osim prema tipu gradnje, zgrade su podijeljene i na 6 perioda izgradnje, na čiju je podjelu, osim podataka iz Tipologije stambenih zgrada Bosne i Hercegovine, uticao i ukupan broj zgrada u Prijedoru prema navedenim periodima, te se zgrade prema periodu izgradnje dijele na periode: prije 1960 (22.50%), 1961-1970 (14.82%), 1971-1980 (17.67%), 1981-1991 (22.22%), 1992-2014 (11.68%) i nakon 2014 (11.11%), „Sl.2“.

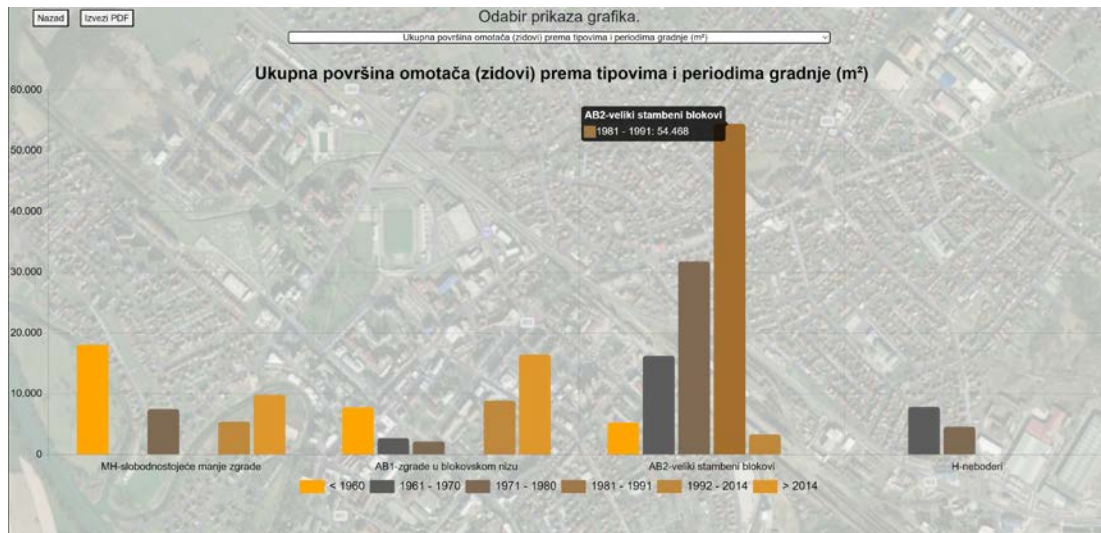
Posmatrajući periode gradnje najviše zgrada je izgrađeno u periodu prije 1960. godine, ali kako taj period bilježi gradnju i iz austrougarskog perioda, pa sa tim zahvata period i veći od 60 godina, može se zaključiti da Prijedor bilježi najveću stambenu izgradnju u desetogodišnjem periodu od 1981-1991.

Karakteristično je i da nakon 1960. godine počinje masovnija gradnja velikih stambenih blokova – AB2. Prema tipu zgrada Prijedor posjeduje najviše velikih stambenih blokova – AB2 (52.42%), zatim zgrada u blokovskom nizu – AB1 (24.78%), pa slobodnostojećih manjih zgrada (20.78%) i najmanje nebodera – H (2%), „Sl.1“. Na portalu se za pojedinačne zgrade prikazuju svi parametri za pozicioniranje zgrade i svi arhitektonski pokazatelji „Sl.2“ koji su neophodni za proračunavanje energetskog stanja zgrada, a koji kasnije u učestvuju u proračunima za energetske i ekonomske pokazatelje.



Sl.2. Broj svih višeporodičnih zgrada Prijedora prema tipu i periodu izgradnje

Kod modula za registrovane korisnike moguće je uz pomoć “Odabira prikaza grafika” sagledati ukupne arhitektonske, energetske i ekonomske pokazatelje za sve zgrade „Sl.3“. Takvi podaci su neophodni za obnovu zgrada, jer pri odlučivanju relevantnih institucija, koje zgrade prioriteto treba energetske unaprijediti, potrebno je poznavati kvalitet omotača zgrada, period izgradnje, broj zgrada, površinu omotača zgrada, vertikalne i horizontalne gabarite zgrada itd.



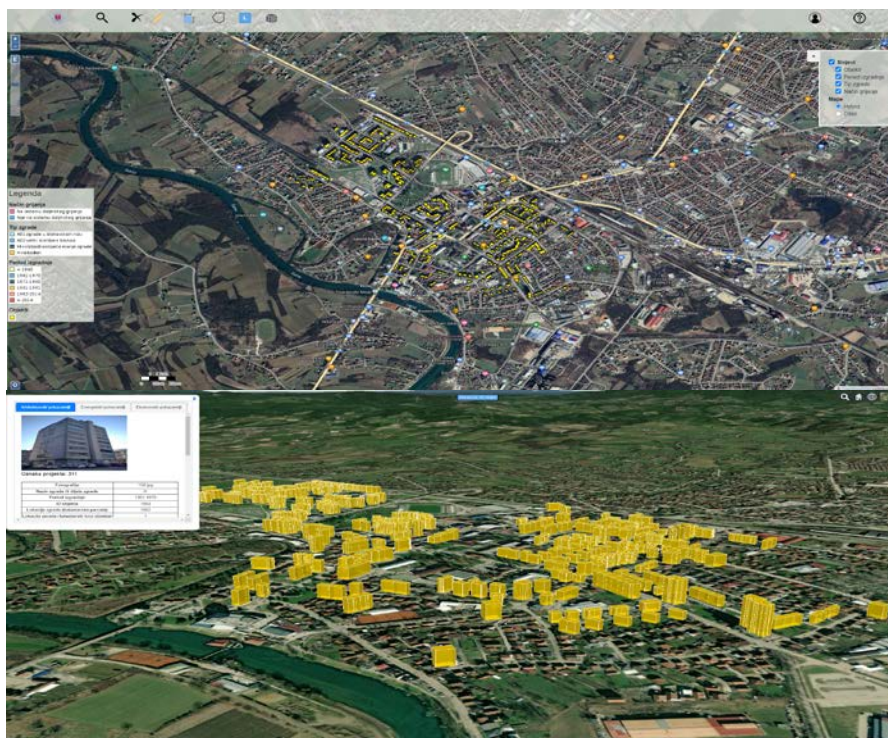
Sl.3. Geoportal za mjere energetske efikasnosti u višeporodičnim zgradama za registrovane korisnike – prikaz grafika Ukupna površina omotača (zidova) prema tipovima i periodima gradnje (m²)

B. Arhitektura sistema geoportala

Vodeći se konceptima SDI u ovom istraživanju razvijena je Geoportal aplikacija za procjenu mjera energetske efikasnosti na principima troslojne servisno-orijentisane arhitekture. Geoportal je standardizovan u skladu sa preporukama ISO 19100-19140 i OGC Web Feature Service [9], [10]. Sistem funkcioniše tako što su svi podaci strukturirani u bazi podataka koja se nalazi u PostgreSQL sistemu upravljanja bazama podataka sa POSTGIS proširenjem. Komunikacija između

korisničke Geoportal aplikacije i baze podataka se odvija putem servisa. Naime, kao središnji sloj se koristi Geoserver, a komunikacija se odvija putem Web Feature Service – Transactional. Aplikativni sloj je razvijen u potpunosti na WEB orijentisanoj platformi. Korišćene su tehnologije Open Layers i Cesium, za kreiranje sinhronizovanog upravljanja dvodimenzionalnim i trodimenzionalnim prikazom prostornog sadržaja „Sl.4“.

17

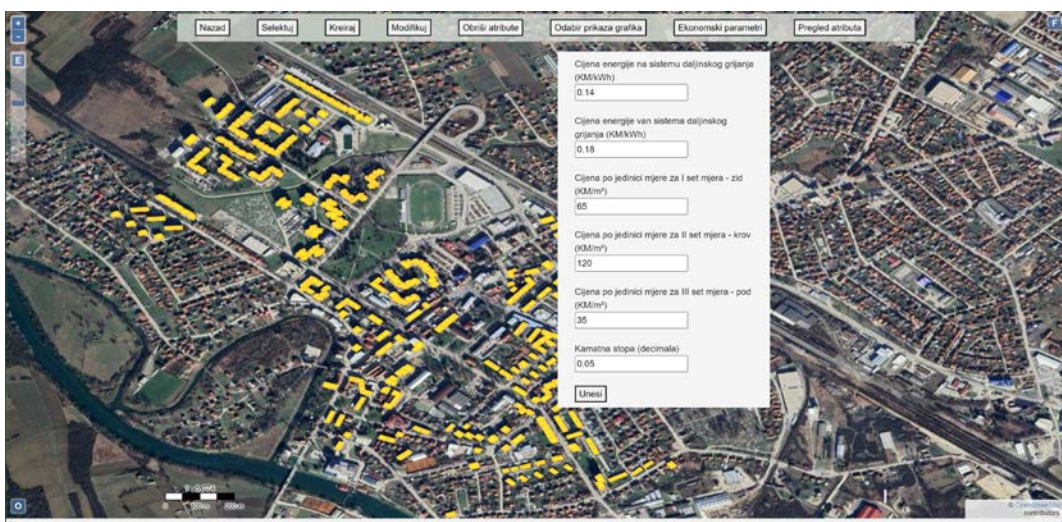


Sl.4. Geoportal za mjere energetske efikasnosti u višeporodičnim zgradama – slika gore prikaz zgrada sa svim zgradama na hybrid mapi, slika dolje 3D prikaz svih zgrada

Za potrebe terenskog prikupljanja podataka i unošenje osnovnih parametara o objektima razvijena je android aplikacija koja direktno komunicira sa postojećom bazom podataka, tako da unošenje novih podataka i ažuriranje postojećih vrši u realnom vremenu. Na takav način je omogućeno pristupanje eksternih korisnika u postupku održavanja aplikacije.

Za potrebe Geoportala je razvijen niz funkcionalnosti kojim korisnik bez obaveze logovanja ima mogućnost pregleda sadržaja objekata, vršenja geoprostornih upita prema bilo kom parametru, učitavanja podataka iz spoljnih izvora i preklapanja sa postojećim podacima, mjerenja i slično. Razvijen je poseban modul za registrovane korisnike koji imaju mogućnost izmjene postojećih parametara objekata, kao i kreiranja novih prema predefinisanoj šemi (površina, tipova zgrada, gabarita, načina grijanja i slično). Sve izmjene koje

potvrdi korisnik se čuvaju u sistemu. Za potrebe aplikacije razvijen je ekonomski kalkulator na nivou baze podataka koji na osnovu definisanja osnovnih varijabli automatski vrši određivanje ekonomskih parametara „Sl.5“. Funkcije koje su razvijene, za predviđene setove mjera su: računanje korisne površine objekta u m^2 , potrebna energija u MWh/god, isporučena energija u MWh/god, primarna energija MWh/god, emisija CO_2 u t/god, specifična potrebna energija za grijanje - $Q''_{H,nd}$ u kWh/m^2a , ukupna investicija (bez PDV) u KM, ukupna investicija (sa PDV) u KM, neto ušteta u KM/god, pay-back - period povrata u godinama, NPV - neto sadašnja vrijednost i NPVQ - koeficijent neto sadašnje vrijednosti. U ovom dijelu se ogleda poseban naučni doprinos, budući da je razvijena posebna SQL biblioteka za potrebe SUBP PostgreSQL koja ima mogućnost adaptacije ovih ekonomskih funkcija u bilo koju sličnu aplikaciju.



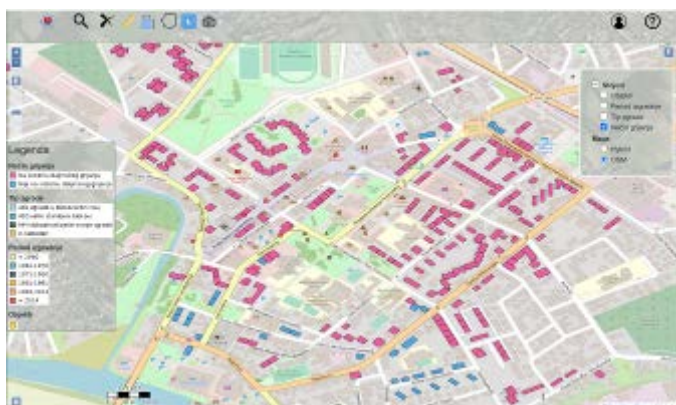
Sl.5. Geoportala za mjere energetske efikasnosti u višeporodičnim zgradama za registrovane korisnike – prikaz dijela aplikacije gdje je moguće izmijeniti ekonomske parametare

III. ENERGETSKI I EKONOMSKI POKAZATELJI SETOVA MJERA ZA ENERGETSKO UNAPREĐENJE ZGRADA

Energetski i ekonomski pokazatelji u aplikaciji su stvoreni nakon opsežnog rada na terenu i istraživanju neophodnih podataka, koji su sagledani iz dokumentacije relevantnih institucija i dosadašnjih projekata u vezi sa energetsom efikasnošću u zgradama, a koji su izvedeni na području Bosne i Hercegovine. [6], [11], [12]. Autorski tim je nakon opsežne analize zastupljenosti svih tipova i perioda zgrada, zaključio da ima 14 karakterističnih tipova koji će poslužiti za metodološki put proračuna energetske pokazatelja, a da će od površine pojedinih dijelova omotača zavisiti ekonomski proračun. Aktivnosti su se odvijale u skladu sa dobijanjem podataka od relevantnih institucija. Terenski rad je pokazao da postoji i više zgrada nego što je prikazano u dokumentaciji valorizacije, jer se ona vodi zaključno sa 2008. godinom. Autorski tim je doradivao podloge i prikupio podatke i za te zgrade, iako se većina njih smatra novim zgradama, nad

kojima nije analizirano, niti navođeno energetske unapređivanje, nego je prikazano postojeće energetske stanje.

Nakon obilaska terena zaključeno je da većina stanara/korisnika zgrada ima izmijenjene prozore u odnosu na prvobitno stanje, te je odlučeno da se ta mjera neće koristiti u unapređenju omotača zgrada, a da će se tretirati u energetsom proračunu kao novi prozori (koeficijenti prolaza toplote propisani u važećem Pravilniku o minimalnim energetske karakteristika zgrada) [13]. Zgrade izgrađene nakon 2014. godine neće imati primijenjene mjere unapređenja, jer zbog perioda izgradnje trebale su biti građene u skladu sa navedenim važećim pravilnikom i smatraju se novim zgradama. Većina novih zgrada u gradskom nizu, tip AB1, će svoje potpune energetske pokazatelje dobiti tek izgradnjom svih susjednih predviđenih zgrada u tom nizu. Pojedine zgrade građene prije 1960. godine imale su obnovu omotača, čiji netransparentni dio omotača nije unaprijeđen u skladu sa važećim Pravilnicima, te je zaključeno da će se taj dio omotača tretirati kao da je prvobitnog/projektne stanja.



Sl.6. Geoportal – prikaz zgrada sa slojem način grijanja i OSM mapom

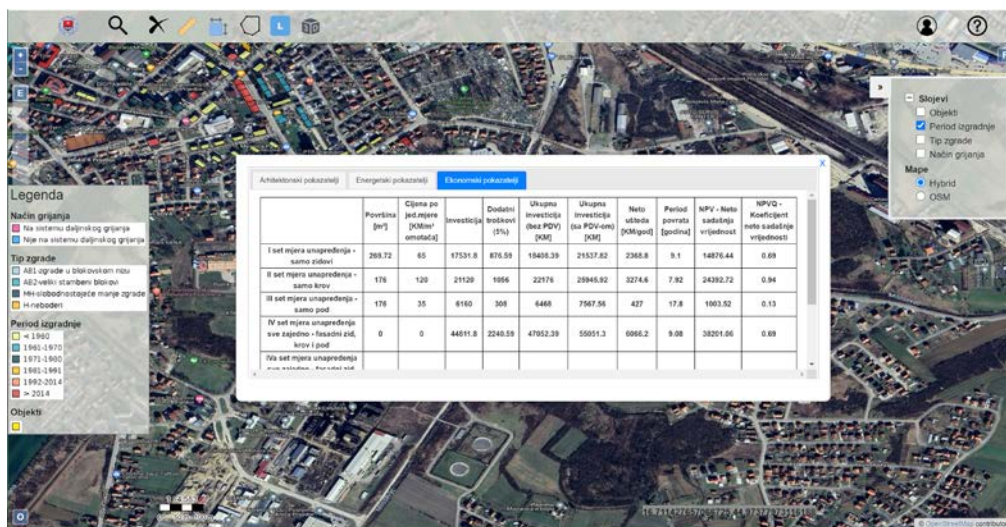
Nakon analize svih zgrada i nakon testiranja proračuna energetskih i ekonomskih pokazatelja, zaključeno je da će, u aplikaciji, biti ponuđene ukupno 4 varijante unapređenja omotača zgrada (I set mjera – zidovi, II set mjera – krov, III set mjera - pod, IV set mjera – zidovi, krov i pod). Detaljnom analizom sistema grijanja utvrđeno je da se stambeni fond zgrada Prijedora može podijeliti na dva tipa u odnosu na sistem grijanja, odnosno na zgrade priključene na daljinski sistem grijanja i zgrade koje nisu na daljinskom sistemu grijanja „Sl.6“, gdje je crvenom bojom prikazana grupa objekata koji jesu, a plavom oni koji nisu na sistemu daljinskog grijanja. Za zgrade koje su u potpunosti primijenile IV set mjera unapređenja omotača, predviđena je i opcija unapređenja sistema grijanja u zavisnosti od tipa sistema grijanja (IVa set mjera – sa unapređenom efikasnošću sistema daljinskog grijanja i IVb set mjera – sa zamjenom postojećeg sistema grijanja). Za zgrade priključene na sistem daljinskog grijanja predviđena je varijanta unapređenja sistema grijanja koja je označena kao IVa set mjera. Ova mjera se odnosi na osavremenjavanje, odnosno rekonstrukciju kompletnog sistema daljinskog grijanja, i prikazana je samo u energetskim uštedama, a ne i u ekonomskim uštedama, jer direktni korisnici neće osjetiti ekonomske uštede od ove mjere. Za zgrade koje nisu na sistemu daljinskog grijanja predviđena je

varijanta izmjene sistema grijanja, (IVb set mjera). Kod seta mjera IVb biće prikazani energetski i ekonomski pokazatelji primijenjene mjere s obzirom da će korisnici osjetiti ekonomske uštede od realizacije ove mjere.

Korisnicima aplikacije je omogućeno da sagledaju korisnosti unapređenja omotača preko pojedinačnih mjera (set mjera: I, II ili III), te efekta njihovog zajedničkog unapređenja (IV set mjera), što znači da će biti 4 varijante prikaza vezane za unapređenje omotača. U zavisnosti od sistema grijanja zgradama je ponuđena po jedna varijanta unapređenja sistema grijanja (set mjera: IVa ili IVb). Za jednu zgradu ukupno je ponuđeno 5 varijanti unapređenja energetskog stanja, što je u zavisnosti od unapređenja sistema grijanja podržano i sa ekonomskim pokazateljima. Aplikacija ima fiksne pokazatelje energetskog stanja zgrade prije i nakon primijenjenih setova mjera, kroz parametre: potrebna energija, finalna energija, isporučena energija, primarna energija i emisija CO₂, te ušteda energije „Sl.8“.

Ekonomski pokazatelji su predstavljeni kroz parametre cijene po jedinici mjere seta mjera, zatim ukupne investicije sa PDV-om, cijene energije, neto uštede, kamatne stope, prostog perioda povrata – payback, neto sadašnje vrijednosti – NPV i koeficijenta neto sadašnje vrijednosti – NPVQ. U zavisnosti od kategorije korisnika (automatski/standardni ili napredni/registrovani) ponuđeni su ekonomski pokazatelji. Automatski/standardni prikazuju sljedeće fiksne ekonomske pokazatelje: ukupna investicija, neto ušteda i 3 parametra ocjene investicije (pay-back, NPV, NPVQ) „Sl.9“. Za registrovane korisnike ponuđene su izmjene parametara: cijena po jedinici mjere dijela omotača, cijena energije i kamatna stopa „Sl.10“. Za ekonomski vijek trajanja mjera na omotaču zgrada usvojen je period od 30 godina prema regulativi EU No. 244/2012 [8]. Procjena fiksnih ekonomskih parametara za automatske/podrazumijevane ekonomske pokazatelje navedena je u skladu sa cijenama materijala i radova, energije, nominalnom kamatnom stopom i stopom inflacije iz oktobra 2022.godine.

19



Sl.9. Geoportal - prikaz ekonomskih pokazatelja nakon primijenjenih mjera na zgradi MH iz perioda <1960. godine

IV. ZAKLJUČAK

Prikaz geoportala aplikacije za mjere energetske efikasnosti u zgradama, na primjeru grada Prijedora, pokazatelj je kako je moguće svrsishodnost energetske obnove zgrada približiti običnim građanima/korisnicima zgrada, kao i nadležnim institucijama, pri donošenju odluka koje je zgrade neophodno prioritetno obnoviti, odnosno koja je ekonomska isplativost provođenja određenih mjera pristupom kroz javno dostupnu web stranicu. Svaki grad ima svoje osobnosti, u smislu tipologije zgrada, perioda gradnje, načina grijanja i ponašanja korisnika, pa će i energetski i ekonomski proračuni varirati i zavisiti od kvaliteta provedenih analiza eksperata iz oblasti energetske efikasnosti zgrada. Posljednja dešavanja u svijetu, ukazuju na nestabilnost ekonomskih parametara, koji u znatnoj mjeri utiču na donosiocima odluka. Ova aplikacija registrovanim korisnicima pruža mogućnost promjene cijena energije, materijala i kamatnih stopa, a time i donošenja kvalitetnih odluka koje će donekle uobziriti potrebe koji se dešavaju na tržištu. U okviru istraživanja identifikovane su cijene ekonomskih setova mjera uzimajući u obzir trenutno stanje na tržištu (oktobar 2022. godine). Naučni doprinos istraživanja predstavlja prva tipološka i energetska analiza svih stambenih zgrada grada Prijedora izgrađenih do 2022. godine, te stvarna energetska i ekonomska analiza parametara za moguće energetske unapređenje zgrada preko setova mjera sa fiksnim cijenama za automatsku/podrazumijevanu upotrebu geoportala i sa promjenjivim ekonomskim parametrima za napredne/registerovane korisnike.

ZAHVALNICA

U okviru GIZ projekta „Dekarbonizacija energetskog sektora u Bosni i Hercegovini (GIZDecES)“ i njegovoj komponenti navedenoj u Pozivu broj: 83404583 izvedena je metodologija i model implementacije GIS rješenja sa prikupljenim podacima za višeporodične zgrade (MAB – Multi Apartment Buildings) i harmonizaciju u kontekstu mjera energetske efikasnosti (EE) u zgradarstvu na nivou opštine Prijedor. Projekat je realizovao konzorcijum Automated Geosolutions d.o.o. Banja Luka (nosilac konzorcijuma) 80% i Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet Univerziteta u Banjoj Luci 20%.

LITERATURA

- [1] M. Amović, M. Govedarica, A. Radulović & I. Janković, „Big Data in Smart City: Management Challenges“, Applied Sciences, 2021, doi: 10.3390/app11104557.
- [2] D. Jovanović, S. Milovanov, I. Ruskovski, M. Govedarica, D. Sladić, A. Radulović, V. Pajić, „Building Virtual 3D City Model for Smart Cities Applications: A Case Study on Campus Area of the University of Novi Sad“, ISPRS Int. J. Geo-Inf., 2020, 9, 476, doi:10.3390/ijgi9080476.
- [3] M. Amović, V. Pajić, M. Govedarica, S. Vasiljević, „Spatio-temporal types of data in big data paradigm“, IFKAD 2016, Towards a New Architecture of Knowledge: Big Data, Culture and Creativity; Dresden, Germany, IFKAD, 2016; pp. 466–480, ISBN 978-88-96687-09-3.
- [4] P. Oosterom, C.W. Quak, T. Tijssen, & E. Verbree, „The Architecture of the Geo-Information Infrastructure“. Proceedings of UDMS 2000, 22nd Urban Data Management Symposium, Delft, 2023.
- [5] T. Kolbe, „Representing and Exchanging 3D City Models with CityGML“, 2009, doi:10.1007/978-3-540-87395-2_2.
- [6] D. Arnatović-Aksić, M. Burazor, N. Delalić, D. Gajić, P. Gvero, Dž. Kadrić, M. Kotur, E. Salihović, D. Todorović i N. Zagora, „Tipologija

stambenih zgrada Bosne i Hercegovine“, Sarajevo: Arhitektonski fakultet Univerziteta u Sarajevu, 2016.

- [7] Directive 2012/27/EU of European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC, Official Journal of the European Union, 14.11.2012., L 315
- [8] REGULATIONS COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) No 244/2012 of 16 January 2012 supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings by establishing a comparative methodology framework for calculating cost-optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building elements, Official Journal of the European Union
- [9] INSPIRE Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007: Establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community, Official Journal of the European Union.
- [10] ERD: OGC - Open Geospatial Consortium, <http://www.opengeospatial.org/>
- [11] ZAGREBINSPEKT d.o.o. Mostar, „Troškovno-optimalna analiza stambenih objekata Bosne i Hercegovine sa testiranjem novih klimatskih podataka za stambene i nestambene objekte“, GIZ EE Bosna i Hercegovina, 2017.
- [12] GIZ EE Bosna i Hercegovina, „Strategija obnove zgrada u Republici Srpskoj za period do 2050. godine“, 2019.
- [13] Ministarstvo za prostorno uređenje, građevinarstvo i ekologiju Republike Srpske. Pravilnik o minimalnim zahtjevima za energetske karakteristike zgrada Republike Srpske, Sl. gl. RS br. 30/15, https://ekofondrs.org/sadrzaj/dokumenti/ee/Pravilnik_o_minimalnim_za_htjevima_za_energetske_karakteristike_zgrada.pdf

ABSTRACT

One of the ways of decarbonizing the urban area of Bosnia and Herzegovina, through the presentation of a geoportal application for energy efficiency measures in buildings, on the example of the city of Prijedor, is presented through this research paper. The geoportal application indicates the architectural and energy indicators of the existing state of buildings and the energy and economic indicators after applied measures on the building envelope and heating system (www.prijedor.webhexam.com). Although all multi apartment buildings (MABs) in Prijedor built until October 2022 are shown, with their architectural and energy characteristics, the data in the application directly indicate to building users the cost-effectiveness of applied energy efficiency measures on the envelope and heating system for buildings built before 2014. Also, the data enables competent institutions, the city administration and utility companies, a broader picture of the necessary financial investment in the renovation of all buildings in the city of Prijedor built before 2014 and in general the priority renovation of the most endangered buildings from the aspect of the energy characteristics of the envelope and heating system of buildings that are not on the system district heating.

GEOPORTAL OF THE CITY OF PRIJEDOR FOR ENERGY EFFICIENCY MEASURES IN MULTI APARTMENT BUILDINGS

Decarbonization of the energy sector in Bosnia and Herzegovina

Mladen Amović, Darija Gajić, Darko Todorović, Milovan Kotur, Jovan Đukić

Towards deep energy retrofitting: an overview and possibilities for Slovenia and Bosnia-Herzegovina

Results of the »E-REFIT: Strategies for improving energy efficiency through renovation of residential buildings« bilateral project

Slobodan Peulić¹, Darija Gajić¹, Anna Sandak^{2,3}, Črtomir Tavzes², Tim Mavrič², Jelena Rašović¹, Mladen Slijepčević¹, Biljana Antunović¹, Milica Malešević¹, Una Okilj¹

¹University of Banja Luka, Faculty of Architecture Civil Engineering and Geodesy, Banja Luka, Bosnia and Herzegovina;
²Innorennew CoE, Izola, Slovenia;

³University of Primorska, Faculty of Mathematics, Natural Sciences and Information Technologies;
slobodan.peulic@aggf.unibl.org, darija.gajic@aggf.unibl.org, anna.sandak@innorennew.eu, crtomir.tavzes@innorennew.eu, tim.mavric@innorennew.eu, jelena.rasovic@aggf.unibl.org, mladen.slijepcevic@aggf.unibl.org, biljana.antunovic@aggf.unibl.org, milica.malesevic@aggf.unibl.org, una.okilj@aggf.unibl.org

Abstract—Cooperation between scientific institutions from developing and developed countries is of great importance in reaching general goals for a cleaner and healthier environment. As a pioneer in modern technologies, Slovenia is ahead of Bosnia-Herzegovina in terms of the construction sector development and it gradually follows trends in reducing GHG emissions. On the other hand Bosnia and Herzegovina lacks in knowledge and technology in terms of building with renewable materials and following LCA principles. This paper presents several topics analyzed during bilateral project named »Strategies for improving energy efficiency through renovation of residential buildings«. It makes an overview of the strategic projects and legal framework and current energy balance with explanation of dynamic changes in energy consumption. It shows influential parameters on retrofitting, analyzes projects of good practice developed in the European Union and discusses novel retrofitting solutions implementation possibilities to existing building stock of participating countries.

Key words—energy strategies, energy savings, GHG emissions, building typology, integrated retrofitting systems, building life cycle

I. INTRODUCTION

Large amount of outdated and energy-inefficient building stock in Bosnia and Herzegovina leads to the need for research on new and complete solutions for the renovation of buildings. At the end of 2020, the European Union adopted the »New Renovation Wave Strategy of the European Union«, which includes the use of renewable materials in the renovation of buildings. Bosnia and Herzegovina lags behind global efforts to reduce greenhouse gas emissions heavily caused by the construction sector too. The use of non-ecological materials (primarily thermal-insulation materials and locker smith based on the plastics), dominant construction with high-carbon concrete, long distance transport of materials, energy used from coal thermal power plant and poor legislation that does not promote construction with renewable materials are all factors that lead to increasing pollution. On the other hand, there are no effective strategies for the existing building stock, which is the largest consumer of energy for heating, and which is also faced

with the problems of worn off facades, roofs, installations and other elements.

Energy intensity in Bosnia-Herzegovina is estimated to be at 0.40 toe [1] (tone of oil equivalent / 1000 USD of GDP). There is an estimate that 58.44% [2] of the final energy consumption goes to the buildings, while the rest is divided between services (14.90%), industry (19.75%) and transport (6.92%). Total CO₂ emissions for Bosnia-Herzegovina in 2019 was 21.070 kt which is a significant difference compared to Slovenia's 13.600 kt [3]. Since 58.32% [1] of total energy supply in Bosnia-Herzegovina comes from coal thermal power plants, there is an even larger necessity to reduce the level of energy consumption especially in its largest consumer – construction sector (mainly housing).

EU statistics show that buildings account for 38% of all energy consumers in EU [3] and are responsible for a total of 36% GHG emissions [4]. Comparing previously stated values, there is a visible difference of roughly 20% higher energy intensity in Bosnia-Herzegovina compared to European standard, which is also not too bright.

All of these parameters showed that there is a huge necessity to promote energy retrofitting solutions through scientific projects with the aim to gather knowledge and strategies that can influence future government strategies and overall population mindset. With this in mind, Innorennew CoE institute in Izola, Slovenia and Faculty of Architecture, Civil Engineering and Geodesy in Banja Luka, Bosnia-Herzegovina developed a joint project named »Strategies for improving energy efficiency through renovation of residential buildings«.

Over a three-year long period, followed by the pandemic outbreak, researchers (authors of this paper) discussed legislative framework, previous projects of good practice and current trends in sustainable retrofitting approaches. This paper will present some key aspects of strategic planning, legal framework, timber-based retrofitting systems, and implementation of renewable materials in future projects of energy retrofitting.

II. IMPORTANCE OF LEGISLATIVE FRAMEWORK

Legislation represents the backbone of all strategies and further interventions. Both countries adopted building renovation strategies in 2018 and 2019. Bosnia and Herzegovina's strategy is based on defining U-values for specific elements of buildings, which is a step forward towards energy efficiency and CO₂ emission. However, it does not promote the use of renewable and natural materials in energy renovation, which means that the energy required for the production, transportation and installation of materials is not taken into account, as well as the fact that previously removed elements must be deposited, which also leads to energy consumption. In the paper »Energy retrofiting opportunities using renewable materials – comparative analysis of current framework in Bosnia-Herzegovina and Slovenia«, the authors compare the legal framework of energy efficiency in the two countries [5]. A special contribution of the work is in the overview of the flow of energy, from production to its consumption, where it can be seen that, according to data from 2018, Bosnia and Herzegovina is focused on the use of coal (42.30%). In the case of Slovenia, it produces most of its energy from clean sources (primarily nuclear energy), which has achieved a low level of CO₂ production. Compared to the year 2019 and by noticing that domestic energy production was smaller in Slovenia, the overall share of imported energy is larger in 2021 than it was in 2019. According to Slovenia's Energy Statistics [6] the amount of imported energy used to supply the energy sector of Slovenia in 2019 was 137.996 TJ (48.7%) [6] while in 2021 it was 148.292 TJ (53.98%) [7]. By comparing these values, it is visible that this country reduced domestic production in favor of the imported one, however, it also showed lower overall final consumption through all sectors.

TABLE I. Comparison of energy consumption in Slovenia and Bosnia and Herzegovina [2][8][9][10]

	Slovenia		Bosnia-Herzegovina	
	2016	2020	2016	2020
Total energy consumption (TJ)	208,062	188,499	151,442	172,818
Household energy consumption (TJ)	49,650	45,636	47,703	75,369
Space heating (TJ)	31,185 Final energy consumption for space heating (TJ)	31,132 Final energy consumption for space heating (TJ)	70,537.968 Calculated $Q_{H,nd}$ - energy need for heating	Not available

Table 1 shows data related to the total final consumption in the housing sector of the analyzed countries, as well as the total required energy for heating. In the case of Bosnia and Herzegovina, a significant imbalance can be observed between

the actual energy used and the required energy for heating. The reason for this is the large number of abandoned households, households that are in occasional use, as well as the fact that the parameter of required energy for heating $Q_{H,nd}$ takes into account total volume of buildings, while in reality the buildings are mostly partially heated. Although the parameter is approximate, it expresses a realistic picture of the construction sector of Bosnia and Herzegovina, which is based on individual housing and unplanned settlements, where it is very difficult to specify such values. In the same table, one can see a big jump in energy consumption in the housing sector in the period from 2016 to 2020 in the case of Bosnia and Herzegovina, while in Slovenia this value has decreased, which proves inadequate measures to improve the energy efficiency of existing buildings, while increasing the number of new buildings. In the case of Slovenia, it is interesting to see on Figure 1 that the biggest consumers of energy are transport and industry, while housing is in third place. Since 2017, Bosnia and Herzegovina has recorded a sharp increase in energy consumption in the housing sector, bringing this category to first place. This situation arises as a consequence of the intensive construction of new buildings, slow process of existing buildings' energy renovation and use of energy inefficient heating methods. On the other hand, Slovenia shows overall reduction of energy consumption in all sectors.

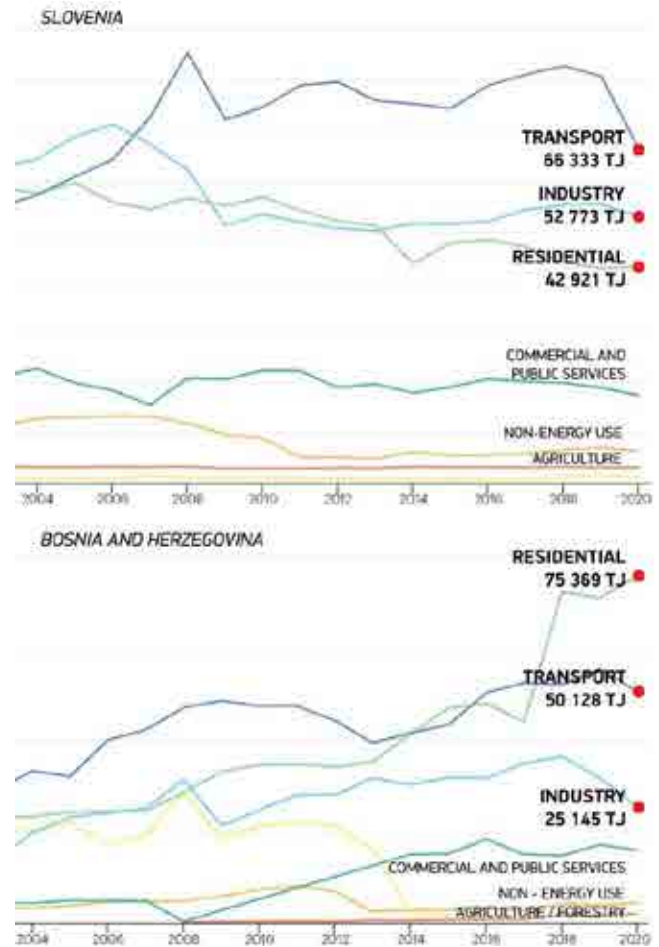


Figure 1 - Final energy consumption by sectors in Slovenia (up) and Bosnia-Herzegovina (down) [8][9]

Slovenian legislation is based on the European framework, and theirs' system of adopting strategies is simpler, compared to Bosnia and Herzegovina where, in addition to national strategies, there are also strategies at the entity level. Slovenia adopted a UZJN document which requires all public institutions to include a certain percentage of wood in the new, or in the renovation of existing buildings - more precisely, 30% wood or 20% wood in combination with 10% of other ecologically certified material [11]. Both countries have similar legislation, but in the case of Bosnia and Herzegovina, there is a lack of reference to renewable materials. Besides legislation, most important for concrete approaches are the rulebooks and defined limiting factors such as U-values for walls, windows. Here, the conclusion is that both countries are guided with European standards and have similar values shown in Table II.

TABLE II. DEFINED U-VALUES FOR SPECIFIC BUILDING ELEMENTS IN BOSNIA-HERZEGOVINA AND SLOVENIA [12][13]

Element	Slovenia [W/m ² K]	Bosnia-Herzegovina (north zone) [W/m ² K]
Envelope wall	0.28	0.30
Windows	1.30	1.60
Roof - flat	0.20	0.20
Floor between apartments	0.90	n/a
Wall towards non-heated space		No value (should be 0.60)

The conclusion is that the necessity to reduce energy need for heating has been reduced in both countries over the years. In Bosnia-Herzegovina it dropped for around 3.5-3.2 times, and similar drop is for the case of Slovenia too. However, in the Slovenian case, the biggest savings are achieved in single family housing – roughly 6 times less energy need for heating compared to the investigated timeline. [14]

The analysis of the existing construction fund of both countries is presented in the European project "Tabula". In this typology, the conclusion was reached that in Bosnia and Herzegovina, individual housing facilities are more common, more precisely they amount for 39.83% more in comparison to Slovenia; on the other hand, shared housing buildings are more common in Slovenia, i.e. 19.33% more than in Bosnia and Herzegovina.

The presented reference buildings, the number of buildings and estimates of the required energy for heating according to the reference periods of construction served as a basis for a comparative presentation of the possibilities of energy renovation of buildings in the two countries. These possibilities are presented in the paper "Prefabricated timber panels application possibilities for the energy refurbishment of residential buildings envelope in Bosnia-Herzegovina and Slovenia". Relying on reference examples of European practice, the authors show that by applying a system like TES - Timber energy system developed in Norway, Finland and Germany, it is possible to achieve significant savings. The paper came to the conclusion that by applying standard solutions - improving the energy efficiency of facade walls, roofs and windows, it is

possible to save about 1,243,328 MWh/a in the case of Bosnia and Herzegovina and about 3% less in the case of Slovenia.

Applicability of this methodology to the comparison of other countries with the same problems of energy poverty stands out. Individual studies solve problems within a single country; however, cross-border projects are of essential value to stimulate global efforts to reduce greenhouse gases because the economy at these levels is the most intensive. In this regard, the previous two papers were the basis for the development of research comparing the systems in Serbia and Bosnia and Herzegovina, where a variant of the cost-optimal improvement of facilities and associated energy savings was shown, according to each of them, that the ranges of energy savings are between 1,540,113 MWh/a and 2,778,105 MWh/a depending on the applied scenario.

III. DEEP (ENERGY) RETROFITTING USING INTEGRATED TIMBER SYSTEMS

In the developed European context, there are clear strategies but also implementation projects that apply new solutions that accelerate and promote the complete renovation of buildings - not only the envelope, but also improve the function, stability, installations and durability of buildings. The justification of energy renovation projects is also based on health benefits, as a good part of the building stock of the analyzed countries, especially Bosnia and Herzegovina, does not meet the recommendations for the quality of interior comfort. Indoor Environmental Quality (IEQ) of buildings include aspects that affect occupant health and well-being, such as indoor air quality, thermal comfort, visual comfort and acoustic comfort [15]. All these parameters are affected by the building envelope performance as a boundary between the indoor space and outer conditions [16]. Taking this into account, and in the light of occupants' well-being, energy retrofitting should not only be conducted based on thermal performance, but also, a variety of influential reasons including subjective comfort feeling of the building.

There are several parameters [17] to bear in mind when assessing possibilities and determining which solution to use and these are:

- Finding deviations on the facade – this can be specifically important to the fully prefabricated systems that need to adhere flawlessly to the existing structure;
- Irregularities in load-bearing construction;
- The need for functional upgrades – layout possibilities (determination by building soft skills and disposition of construction elements, installation shafts, partitions);
- Occurrence of thermal bridges and moisture - quality check marks (water leakage, mold growth, infiltration, potential emission of hazard elements done with thermal imaging and air infiltration tests);
- The condition of the external locksmith;
- Composition of façade layers;
- Disposition of openings;

- HVAC elements and other;
- plumbing system - potential elements of conflict that lead to the destruction of the internal structure of the wall and actually represent one of the most common problems of the appearance of moisture, mold and material deformation. [16]

By its typology, position on the wall and way of mounting four systems can be used in building refurbishment, some of which are more applicable to the analyzed countries. During this project four examples were analyzed. These examples [14] are shown below on the Figure 2:

- 1) External composite insulation system (ETICS). The most common insulation measure with manually brought up insulation panels covered with a plaster coating.
- 2) Ventilated façade system. The insulation is brought up between substructures, fixed with a mounting system, covered by various claddings.
- 3) Partly prefabricated façade system. Assembly of prefabricated substructure is filled with blown-in insulation.
- 4) Prefabricated module system. Fully prefabricated modules are assembled in the fabrication hall, transported and mounted on prepared sub-structure onto the façade.

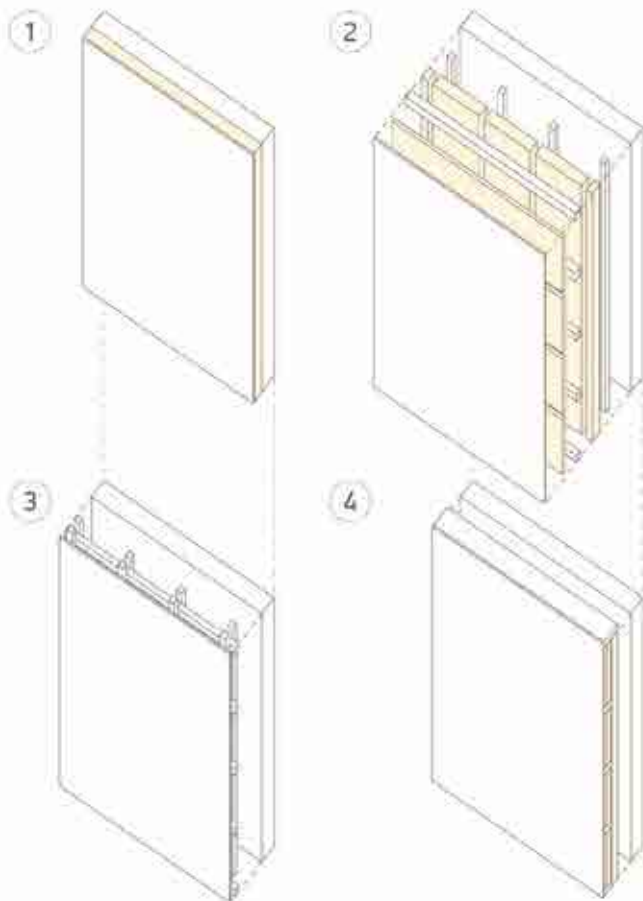


Figure 2 - Examples of the facade systems - exploded diagram. Source: Author's figure.

Widest spread measure is ETICS because it is cheapest and easiest to construct in countries with low prices of manual labor

and when there are no other environmental conditions rather than defined U-values. This way, all buildings which are subject to renovation use PVC based insulation and window frames. What also highly influences retrofit necessity is the durability of the building itself, which is determined by the selection of materials, which must be designed for the required service life as well as be compatible with one another in the ensemble [17]. Architects and building physicists have a crucial role designing buildings with compatible envelopes and details to ensure healthy living conditions within. When this is achieved, there are less probable connection failures, outer envelope dismantles due the aging process etc.

As guidance for the research several good examples developed in the period from 2009 to 2022 can be used. Among the first developed projects was TES (Timber energy system) that showed a comprehensive and systematic approach in upgrading buildings energy performance [18]. Its promising results brought the project an upgraded Smart-TES EXTENSIONS continuation, that evolved from panel system to modular volumes as annexes in necessity to compensate for missing elevator shafts, balconies etc. [19] The use of prefabricated insulation integrates the building as a whole, ensuring a high-quality execution in a faster time. Prefabricated retrofit systems are standardized in construction layers and joints [14]. Some more advanced projects as BERTIM - Building energy renovation through timber prefabricated modules developed software tools and algorithms for automatic position and shape arrangement to ensure as tight fit as possible on the opaque envelope [20].

The development of new strategies and technologies is a demanding process that involves several actors and brings together several fields. In the mentioned projects, there is a clear need for detailed recording of facades, energy audit, testing of space users, planning of construction possibilities and financial construction, as well as additional training of the workforce that will carry out projects of this type. All examples of renovation from ethics to fully prefabricated systems are acceptable, however, buildings that are completely prefabricated and modular could be suitable for pilot projects of whole building renovation with the help of prefabricated timber systems. This would establish a clear system and approach to the renovation of buildings, which could become much more cost-effective than non-modular systems.

IV. CONCLUSION

Developing countries such as Bosnia and Herzegovina can significantly benefit from energy renewal projects. Looking at it from the aspect of energy efficiency, there are significant reductions in the energy required for heating. On the other hand, a number of other benefits open up, such as extending the life of buildings, activating the industry and educating experts in this field. All new technologies require additional training of the personnel involved in the process as well as adaptation of the infrastructure and production. Although the time of installation and work on the construction site will be reduced, this fact can lead to a slow implementation of modern prefabricated solutions in construction practice, especially if it is not represented in residential construction. Although more and more researchers deal with the topic of integrated wood

systems for building renovation, it can still be said that no serious progress has been made in the wider application of these solutions [18]. The reason for this is obvious problems in the relationship between industry - users - law makers; as well as the still more affordable price of non-renewable materials for construction.

Practical problems in the implementation of these projects, such as a large amount of information, cross-sectoral management, recording of existing facilities, creation of documentation of the existing condition, selection of solutions and creation of projects, until its realization, represent a challenge for the domestic practice of Bosnia-Herzegovina, which is still not mature for such task. However, international cooperation projects should enable the transfer of knowledge in the implementation of these projects because the resources definitely exist. The solution to solve this issue might also be implementation of the Building Information Modelling (BIM). BIM as a digital representation of the building offers unique possibilities to combine diverse information related to the construction, including all phases of its life - from the concept to demolition and recycling. Building renovation or refurbishment projects will be more sustainable if supported by a commonly usable methodology that is adapted to existing and old buildings, since they often present more complexities than the new construction. BIM can add enormous value to renovation and retrofitting projects. Laser scanning can be used to create a comprehensive model that offers data on construction materials, costs, and manufacturer information. By optimal utilization of resources during renovation, the workflow management of the buildings will be more energy-efficient and sustainable that will improve inhabitants' lives.

Despite the current difficult circumstances for the implementation of such projects, it is necessary to include renewable materials in the strategies, that is, to define the minimum percentage of natural materials used in the renovation of buildings. In addition, it is necessary to look at the complete life cycle of materials and buildings - include the energy required for production, transport and installation of a material in the final carbon footprint of the building, and start applying LCA methods when creating documentation. Although artificial materials are cheaper and installation somewhat simpler, European directives allow the use of these materials less and less due to their bad impact on the environment, therefore, over time, there will be a need for countries that aspire to join the European Union to adapt to these requirements and significantly reduce the use artificial materials.

ACKNOWLEDGMENTS

This research paper was carried out through bilateral agreement E-REFIT funded by: (i) Government of Republic of Srpska, Ministry for Scientific and Technological Development, Higher Education and Information Society and (ii) ARRS – Slovenian Research Agency. The authors also gratefully acknowledge the European Commission for funding the InnoRenew project (grant agreement #739574 under the Horizon 2020 Widespread-Teaming program) and the Republic of Slovenia (investment funding from the Republic of Slovenia and the European Union European Regional Development Fund) and infrastructural ARRS program IO-0035.

LITERATURE

- [1] International energy agency. Available on-line: <https://www.iea.org/countries/bosnia-and-herzegovina>
- [2] Arnautović Aksić D.; Burazor M.; Delalić N.; Gajić D.; Gvero P.; Kadrić D.; Kotur M.; Salihović E.; Todorović D.; Zagora N. Typology of Residential Buildings in Bosnia and Herzegovina; Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ); University of Sarajevo; University of Banja Luka; 2016. pp.09
- [3] Eurostat, Energy efficiency in Buildings, Available online: <https://epthinktank.eu/2016/07/08/energy-efficiency-in-buildings/>
- [4] European Commission 2018 Buildings. 2018. Available online: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/energy-performance-of-buildings/overview> (accessed on 2 December 2020)
- [5] Energy retrofitting opportunities using renewable materials – comparative analysis of current framework in Bosnia-Herzegovina and Slovenia
- [6] Republic of Slovenia, Statistical Office; Energy statistics: In 2019, final energy consumption in Slovenia was almost 208,000 TJ Available on-line: <https://www.stat.si/StatWeb/en/News/Index/9109>
- [7] Republic of Slovenia, Statistical Office; Energy statistics: Lower domestic production, higher final energy consumption. Available on-line: <https://www.stat.si/StatWeb/en/News/Index/10621>
- [8] International energy agency: Key energy statistics, Slovenia. Available on-line: <https://www.iea.org/countries/slovenia>
- [9] International energy agency: Key energy statistics, Bosnia and Herzegovina. Available on-line: <https://www.iea.org/countries/bosnia-and-herzegovina>
- [10] Republic of Slovenia, Statistical office, Energy: Energy production and consumption; Household energy consumption. Available on-line: <https://pxweb.stat.si/SiStat/en/Področja/Index/186/energy>
- [11] Gajić D., Peulić S., Mavrič T., Sandak A., Tavzes Č., Malešević M., Slijepčević M., Energy Retrofitting Opportunities Using Renewable Materials—Comparative Analysis of the Current Frameworks in Bosnia-Herzegovina and Slovenia. *Sustainability* 2021, 13, 603. 2021.
- [12] Šijanec Zavrl M., Tomšič M., Rakušček A., Potočar E., EPBD Implementation in Slovenia, Status in December 2016. Available on-line: <https://epbd-ca.eu/wp-content/uploads/2018/08/CA-EPBD-IV-Slovenia-2018.pdf>
- [13] Gajić D., Okilj U., Peulić S., Basics of Architecture construction and Materialization, University of Banja Luka, Faculty of Architecture, civil engineering and geodesy, Banja Luka: 2021.
- [14] Gajić D., Sandak A., Peulić S., Tavzes Č., Mavrič T., Prefabricated timber panels application possibilities for the energy refurbishment of residential buildings envelope in Bosnia-Herzegovina and Slovenia. International Conference on contemporary theory and practice in construction XIV. 2020.
- [15] Arif, M.; Katafygiotou, M.; Mazroei, A.; Kaushik, A.; Elsarrag, E. Impact of indoor environmental quality on occupant well-being and comfort: A review of the literature. *Int. J. Sustain. Built Environ.* 2016, 5, 1–11
- [16] Peulić S., Gajić D., (P) Re-paring taller wooden buildings: Building enclosure detailing importance in durability of non-transparent envelope. COST ACTION CA 20139: Holistic design of taller timber buildings (HELEN); State of the art report. Cost Association AISBL, Brussels, Belgium, 2022. Available on-line: https://cahelen.eu/wp-content/uploads/2022/12/CA20139_STAR_FULL.pdf
- [17] Peulić S., Gajić D., Influential parameters on adaptability of taller timber buildings. COST ACTION CA 20139: Holistic design of taller timber buildings (HELEN); State of the art report. Cost Association AISBL, Brussels, Belgium, 2022. Available on-line: https://cahelen.eu/wp-content/uploads/2022/12/CA20139_STAR_FULL.pdf
- [18] Heikkinen, P., Kaufmann, H., Winter, S., Larsen, KE, 2009, EnergyFaçade – prefabricated timber based building system for improving the energy efficiency of the building envelope, Research project from 2008-2009, Woodwisdom-Net, Helsinki

[19] Ed. Tulamo T.-S., Cronhjort Y., Riikonen V., Kolehmainen M., Nordberg K., Huß W., SmartTES Innovation in timber construction for the modernisation of the building envelope Book 2 TES Extension. 2014.

[20] BERTIM – innovative wood prefabrication for energy efficient renovations, Project results booklet, April 2019

SAŽETAK

Saradnja naučnih institucija iz zemalja u razvoju i razvijenih zemalja je od velikog značaja u postizanju opštih ciljeva za zdraviju životnu sredinu. Kao pionir modernih tehnologija, Slovenija je ispred Bosne i Hercegovine po razvoju građevinskog sektora i postepeno prati trendove u smanjenju emisija gasova staklene bašte. Sa druge strane, Bosni i Hercegovini nedostaju znanje i tehnologija sa aspekta gradnje obnovljivim materijalima i ispunjavanja LCA (Life Cycle Assessment) principa. U ovom radu predstavljene su teme istraživane tokom trajanja bilateralnog projekta nazvanog „Strategije za unapređenje energetske efikasnosti kroz obnovu stambenih zgrada“. Rad prikazuje pregled strateških projekata i

zakonskog okvira te aktuelnog energetskog bilansa sa objašnjenjem dinamičkih promena u potrošnji energije. On pokazuje uticajne parametre pri dubokoj energetskoj obnovi zgrada, analizira projekte dobre prakse razvijene u Evropskoj uniji i razmatra mogućnosti implementacije novih rešenja za rekonstrukciju postojećeg građevinskog fonda zemalja učesnica.

MOGUĆNOSTI PRIMJENE DUBOKE ENERGETSKE OBNOVE U BOSNI I HERCEGOVINI I SLOVENIJI

Rezultati bilateralnog projekta »E-REFIT: Strategije za unapređenje energetske efikasnosti kroz renoviranje stambenih zgrada«

Slobodan Peulić, Darija Gajić, Ana Sandak, Črtomir Tavzes,
Tim Mavrič, Jelena Rašović, Mladen Slijepčević, Biljana
Antunović, Milica Malešević, Una Okilj

Analiza isplativosti ugradnje fotonaponskih sistema kod kupaca-proizvođača u Njemačkoj

Miloš Janković, Čedomir Zeljković, Predrag Mršić

Univerzitet u Banjoj Luci, Elektrotehnički fakultet, Banja Luka, Republika Srpska
milos.jankovic@student.etf.unibl.org, cedomir.zeljkovic@etf.unibl.org, predrag.mrsic@etf.unibl.org

Sažetak—U radu se razmatra isplativost ugradnje fotonaponskog (PV) sistema u domaćinstvo, čime kupac električne energije stiče status kupca-proizvođača. Posmatra se njemački slučaj koji je karakterističan zbog velikog odnosa cijena kupljene i prodane električne energije. Prvi dio rada posvećen je efektu ugradnje PV sistema, dok se u drugom dijelu analiziraju efekti kupovine električnog vozila (EV) i povećanje isplativosti investicije u PV sistem koje EV prouzrokuje. Konkretno numerički primjer pokazuje da se ugradnja PV sistema u Njemačkoj, pod trenutnim tržišnim uslovima, isplati za 9,88 godina. Prelazak na korišćenje EV u takvim uslovima značajno skraćuje period otplate PV sistema i kreće se između 2,88 i 3,94 godina, u zavisnosti od toga koliko se električne energije iz PV sistema iskoristi za punjenje EV. Pokazuje se da na period otplate PV sistema veći efekat ima zamjena dizel vozila sa EV, nego proizvodnja iz PV sistema.

Ključne riječi—fotonaponski sistemi; električno vozilo; sopstvena potrošnja.

I. UVOD

Elektroenergetski sektor se suočava sa dubokim transformacijama, motivisanim ekološkim razlozima, promjenama na tržištu i konstantnim razvojem tehnologija. U okviru ovih transformacija mogu se identifikovati dva osnovna trenda: samosnabdijevanje energijom i pojava električnih vozila. S jedne strane, distribuirana proizvodnja i skladištenje energije dozvoljavaju pojedinim potrošačima da fleksibilno proizvode i sami troše ili predaju električnu energiju elektroenergetskom sistemu. S druge strane, pojava električnih vozila značajno povećava potrošnju električne energije kod potrošača [1].

Tehnološki razvoj opreme za proizvodnju obnovljive energije, pametne mreže i transportna rješenja omogućavaju potrošačima inovativne načine učestvovanja u tranziciji energetske održivosti u različitim granama industrije. U tom smislu, solarne elektrane i električna vozila predstavljaju reprezentativne tehnologije, sa najvećim stepenom razvoja, koje su istovremeno snažno podržane brojnim pozitivnim propisima i zakonskim regulativama.

Kako su solarne elektrane postale pristupačne za domaćinstva, sve više potrošača energije evoluiraju u tzv. kupce-proizvođače (engl. *Prosumers*) [2]. Ovaj koncept može da pomogne u očuvanju prirodnog okruženja, pokretanju ekonomskog razvoja i pružanju potrošačima više energetske izbora. Lokalni izvori energije i električna vozila zajedno mogu biti način za minimizaciju emisija štetnih gasova i

korišćenja elektroenergetskog sistema na znatno efikasniji način. Upotrebom električnog vozila, kupac-proizvođač dobija novi alat za bolje korišćenje sopstvenih izvora električne energije.

Postavljaju se pitanja pod kojim uslovima i kome se isplati ugradnja fotonaponskog (engl. *Photovoltaic* (PV)) sistema i kako različiti faktori utiču na period otplate. U ovom radu izvršena je ekonomska analiza ugradnje PV sistema na krov porodične kuće, kao i analiza efekta električnog vozila na povećanje isplativosti investicije u PV sistem. Zbog činjenice da je za preuzimanje energije iz fotonaponskog sistema neophodno da vozilo bude kući i da je potreba za vozilom velika u doba dana sa visokim solarnim zračenjem, rad će pokazati kako se period otplate PV sistema mijenja u zavisnosti od procentualnog udjela proizvedene energije u punjenju električnog vozila.

Rad analizira slučaj Njemačke, kao jedne od vodećih država Evropske unije, koja je među prvim zemljama svijeta donijela zakon o obnovljivim izvorima energije i u kojoj je udio kupaca-proizvođača u elektroenergetskom sistemu veoma veliki i konstantno raste. Njemačka predstavlja specifičan slučaj za analizu i iz razloga što je cijena električne energije oko 5,5 puta viša od *feed-in* tarife za fotonaponske sisteme [3], [4].

II. POSTAVKA PROBLEMA

Za potrebe ovog rada posmatra se domaćinstvo sa četiri člana porodice, povezano na distributivnu mrežu u okolini Štutgarta u Njemačkoj. Prosječna godišnja potrošnja električne energije četvoročlanog domaćinstva u Njemačkoj u 2022. godini iznosila je 5016 kWh [5] i pretpostavlja se ista potrošnja i u 2023. Zbog energetske krize izazvane aktuelnim dešavanjima u svijetu, cijena električne energije je značajno varirala u 2022. godini i u nekoliko navrata dostizala istorijske maksimume, međutim, kao prosječna cijena električne energije u 2022. godini u Njemačkoj uzima se vrijednost 0,35 €/kWh [3]. Prema tome, navedeno domaćinstvo je u 2022. moralo da izdvoji 1737,54 € za električnu energiju. Trenutno, niko sa sigurnošću ne može da predvidi kako će se kretati cijena električne energije u Njemačkoj u 2023., ali su procjene da će prosječna tržišna cijena $c_{p,M}$, biti oko 0,47 €/kWh, što će se uzeti kao podatak za potrebe ovog rada.

Zakon o obnovljivim izvorima energije u Njemačkoj predviđa nekoliko načina subvencionisanja ugradnje PV

sistema i prelazak kupaca električne energije u status kupaca-proizvođača [6]. Jedan od najznačajnijih i nazastupljenijih načina subvencionisanja ogleda se kroz definisanje zagarantovane cijene kilovat-časa $c_{PV,M}$, proizvedenog u PV sistemu, po kojoj će se ta energija prodavati u distributivnu mrežu u narednih 20 godina (tzv. *feed-in* tarifa), pri čemu se kupcu-proizvođaču garantuje pravo prvenstva pri predaji energije u mrežu, tj. garantuje se da će sav višak energije proizvedene u PV sistemu biti prodat u distributivnu mrežu.

Na osnovu gore navedenog načina subvencionisanja, domaćinstvo opisano u radu razmatra instalaciju PV sistema na krov kuće i prelazak u status kupca-proizvođača, pri čemu bi dio sopstvene proizvodnje bio upotrijebljen za pokrivanje potrošnje u domaćinstvu, dok bi se eventualni višak proizvedene energije isporučivao u mrežu po cijeni $c_{PV,M}$, od 0,086 €/kWh, kako je definisano u posljednjoj verziji Zakona o obnovljivim izvorima energije u Njemačkoj. Ostatak potrošnje domaćinstva bi se pokrивao energijom iz distributivne mreže, po tržišnoj cijeni $c_{p,M}$. Krov je orijentisan prema jugu i nagnut je pod uglom od 30°, dok je snaga razmatranog PV sistema 6 kW. U prvom dijelu rada ispituje se isplativost ugradnje opisanog PV sistema.

Zbog pomenute energetske krize došlo je i do velikih poremećaja na tržištu nafte, što je dovelo do poskupljenja goriva za automobile sa SUS motorima, pa je tako cijena dizel goriva porasla sa prosječnih 1,39 €/l na kraju 2021. godine, na 1,79 €/l [7] na kraju 2022. godine, pri čemu je u pojedinim trenucima cijena dizel goriva išla i do 2,20 €/l. Motivisani naglim i nepredvidljivim povećanjem cijene dizel goriva, sa tendencijom rasta i u 2023. godini, članovi domaćinstva razmatraju da umjesto novog dizel vozila (DV), na početku 2023. godine kupe novo električno vozilo (EV) i na taj način povećaju sopstvenu potrošnju električne energije proizvedene PV sistemom. Drugi dio rada treba da pokaže kakav uticaj ima nabavka i upotreba EV umjesto DV na godišnje troškove domaćinstva, kao i na period otplate ugrađenog PV sistema.

III. METODOLOGIJA PRORAČUNA

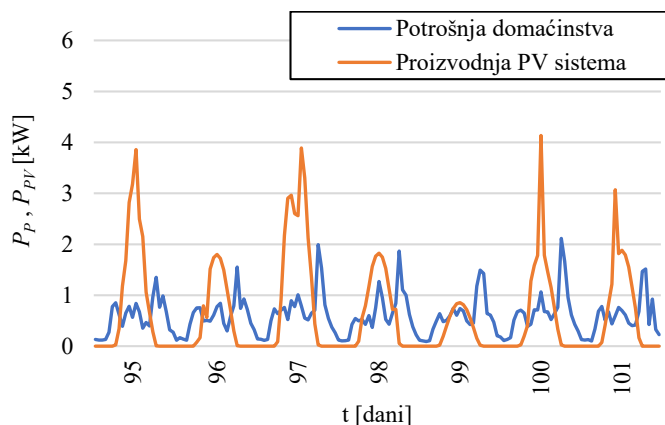
A. Modelovanje potrošnje

Na osnovu podatka o prosječnoj godišnjoj potrošnji električne energije četvoročlanog domaćinstva u Njemačkoj, koristeći programski paket HOMER [8] dobijeni su podaci o satnoj potrošnji domaćinstva (P_p), za cijelu godinu. Za područje na kojem se nalazi Njemačka kao mjesec sa najvećom potrošnjom odabran je januar, kada su ljudi više kući, svjetla se uključuju ranije i moguća je upotreba električne energije za grijanje, dok je za dnevnu potrošnju energije u simulaciji odabrano da ona varira za 10%. Na Sl. 1 prikazan je sedmodnevni dijagram snage potrošnje domaćinstva, pri čemu je dati period odabran proizvoljno i predstavlja period od 5. do 11. aprila, tj. od 95. do 101. dana u godini.

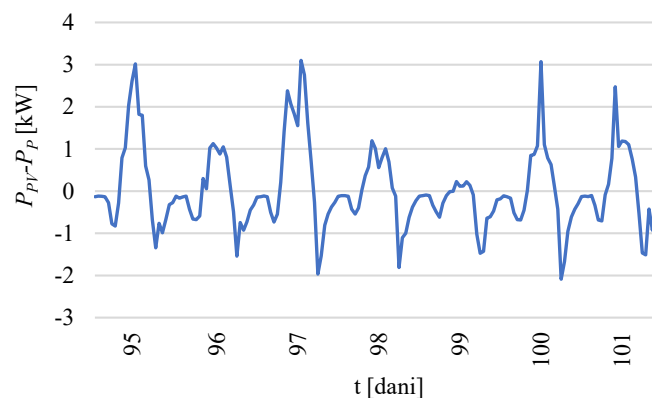
B. Modelovanje proizvodnje PV sistema

Podaci o godišnjoj proizvodnji PV sistema izračunati su metodom tipične meteorološke godine uz pomoć PVWatts kalkulatora američke laboratorije NREL [9]. Na Sl. 1 je prikazan dijagram proizvodnje PV sistema, dok je na Sl. 2

prikazana razlika između potrošnje P_p i proizvodnje PV sistema P_{PV} , gdje se vidi u kojim periodima dana je ta razlika pozitivna, a u kojim negativna.



Sl.1. Sedmodnevni dijagram potrošnje električne energije domaćinstva i proizvodnje PV sistema



Sl.2. Razlika između proizvodnje PV sistema i potrošnje domaćinstva

C. Modelovanje električnog vozila (EV)

Za potrebe ovog rada odabrano je električno vozilo tipa Nissan Leaf 39 kWh N-Connecta [10].

Vozilo se isporučuje sa baterijom kapaciteta 39 kWh, što omogućava vozilu da sa punom baterijom pređe 270 km. Podaci o vozilu dati su u tabeli I, pri čemu su osnovni podaci preuzeti od proizvođača, dok su neki podaci izvedeni na osnovu pretpostavke da je prosječna kilometraža koju vlasnik sa svojim vozilom prelazi u Njemačkoj u toku dana 75 km.

Ovo vozilo je izabrano za analizu jer je jedno od najprodavanijih električnih vozila u Njemačkoj, između ostalog i zbog ne tako visoke cijene za EV. Naime, navedeno vozilo ima mehaničku snagu od 150 KS i pripada C segmentu vozila. Poređenja radi, Škoda Octavia 2022, u osnovnoj opremi, sa dizel motorom snage 150 KS u Njemačkoj košta 35000 € i pripada C segmentu. Na osnovu ovih podataka, opravdano je iz rada izostaviti uticaj cijene novog vozila na godišnje troškove, s obzirom na pretpostavku da će domaćinstvo u 2023. godini svakako zamijeniti postojeće vozilo sa novim.

TABELA I. PODACI O EV

Nissan Leaf 39kWh N-Connecta		
Kapacitet baterije EV	39	kWh
Pređena distanca sa punom baterijom	270	km
80% kapaciteta baterije	31,20	kWh
Pređena distanca sa 80% kapaciteta	216	km
Prosječna dnevna pređena distanca	75	km
Prosječna godišnja pređena distanca	27375	km
Prosječna potrošnja na 100 km	14,44	kWh
Prosječna potrošnja po danu	10,83	kWh
Ukupna godišnja potrošnja $E_{p, EV, g}$	3954,17	kWh
Troškovi punjenja EV u 2023.*	1858,46	€
Cijena vozila (sa uračunatim subvencijama i Wallbox punjačem)	36200	€

*Ako bi se EV punilo isključivo energijom iz elektroenergetske mreže.

Kombinacija električnog vozila i PV sistema predstavlja veoma interesantno rješenje, s obzirom na to da EV posjeduje veliki sistem za skladištenje energije koji, umjesto da za punjenje stalno koristi energiju iz mreže po cijeni $c_{p,M}$, može da sakuplja višak energije iz PV sistema koji bi se u suprotnom prodavao u distributivnu mrežu po cijeni $c_{PV,M}$, koja je oko 5,5 puta niža od $c_{p,M}$. U idealnom scenariju, EV bi za punjenje preuzeo maksimalno moguću količinu energije iz PV, međutim, sa Sl. 1 se vidi da je proizvodnja PV sistema najveća u dijelu dana kada je većina ljudi na poslu i kada je potrošnja domaćinstva relativno niska. Kako EV dnevno u prosjeku prelazi 75 km, jasno je da se sa vozilom putuje na posao i nazad i da nije realno očekivati da će se EV konstantno puniti kod kuće energijom iz PV sistema. Iz tog razloga uvodi se faktor K , kojim se određuje koliki se dio ukupne energije potrebne za punjenje EV u toku godine može pokriti energijom iz PV sistema. Ovaj faktor polazi od 0, što podrazumijeva situaciju da se EV u toku godine nikako ne puni energijom iz PV sistema, tj. sva energija potrebna za punjenje EV u toku godine preuzme se iz distributivne mreže, i raste u zavisnosti od toga koliko se može preuzeti energije za punjenje direktno iz PV sistema, što zavisi od snage PV sistema i načina raspodjele energije dobijene iz PV sistema na potrošnju domaćinstva i punjenje EV. U analiziranom slučaju ispostaviće se da nije realno očekivati da faktor K bude veći od 0,63, dakle, da se energijom iz PV sistema pokrije više od 63% potrebne energije za punjenje EV u toku godine, jer je proračunom, na osnovu godišnjih dijagrama potrošnje domaćinstva i proizvodnje PV sistema, kao i potrebe EV za energijom, pokazano da to predstavlja maksimalnu količinu energije koju EV može preuzeti iz PV sistema snage 6 kW nakon što se pokriju potrebe domaćinstva za električnom energijom. Čak i kada bi PV sistem posjedovao dovoljno energije na raspolaganju da pokrije cjelokupnu potrošnju, ona ne mora biti potpuno iskoristiva ukoliko je, npr. baterija EV već puna jer iz nekog razloga ono nije voženo prethodni dan, ili ako vlasnik nije došao kući u planirano vrijeme i tako ostao bez mogućnosti da puni vozilo energijom koju je taj dan proizveo PV sistem itd. Teoretski, K može da ide do

vrijednosti 1, ako bi se vlasnik odlučio da EV prioritarno uzima proizvedenu energiju cijele godine i tako za punjenje preuzme svu potrebnu raspoloživu energiju iz PV sistema, pod uslovom da je PV sistem dovoljno veliki da proizvede svu potrebnu energiju za EV, međutim, nije očekivano da se ovakav scenario dogodi u realnosti. Jasno je da na vrijednost faktora K utiče dosta promjenljivih kao što su snaga PV u vremenu, raspodjela dolazaka vlasnika vozila kući, raspodjela pređene distance po danu, uticaj vikenda, praznika i godišnjih odmora itd., stoga je dobijanje tačne vrijednosti faktora K , zbog složenog matematičkog proračuna u pozadini, veoma komplikovano. Njegovo određivanje moglo bi se testirati Monte Carlo simulacijom uzimajući u obzir sve navedene promjenljive, međutim, takva simulacija izlazi iz okvira ovog rada i može biti tema nekog od budućih radova. Za potrebe ovog rada izvršen je proračun za nekoliko različitih vrijednosti faktora K i uočen je njegov uticaj na vrijeme otplate PV sistema.

D. Metod za proračun

Prvi dio rada razmatra slučaj ugradnje PV sistema i prelazak kupca električne energije u status kupac-proizvođač. Ukupna energija koju PV sistem proizvede u toku godine $E_{PV, g}$ računa se prema (1), dok se ukupna godišnja potrošnja domaćinstva $E_{p, D, g}$ računa prema (2)

$$E_{PV, g} = \sum_{h=1}^{8760} E_{PV} (h) \quad (1)$$

$$E_{p, D, g} = \sum_{h=1}^{8760} E_{p, D} (h) \quad (2)$$

29

gdje je sa h obilježen čas u godini. Energija iz PV sistema se koristi za pokrivanje potrošnje domaćinstva, ukoliko postoji višak proizvedene energije ona se šalje u mrežu po cijeni $c_{PV, M}$, a kada PV sistem ne proizvodi dovoljno energije za domaćinstvo, nedostatak se pokriva iz mreže po cijeni $c_{p, M}$. Razlika E_{Δ} između proizvedene energije i energije koja se potroši u domaćinstvu u toku godine dobija se iz izraza (3):

$$E_{\Delta} (h) = E_{PV, g} (h) - E_{p, D, g} (h) \quad (3)$$

Višak energije iz PV sistema $E_{PV, M, g}$, koji se na nivou godine proda u mrežu dobija se iz (4):

$$E_{PV, M, g} = \sum_{h=1}^{8760} E_{\Delta} (h) \quad \text{za} \quad E_{\Delta} (h) > 0 \quad (4)$$

Energija $E_{PV, D, g}$ koju PV sistem isporuči domaćinstvu u toku godine dobija se kao razlika ukupne energije koju PV proizvede u toku godine i energije koja se iz PV isporuči u mrežu i data je sa (5):

$$E_{PV, D, g} = E_{PV, g} - E_{PV, M, g} \quad (5)$$

Slijedi da se energija $E_{M, D, g}$ koju domaćinstvo, nakon ugradnje PV sistema, za pokrivanje potrošnje preuzme iz mreže na nivou godine dobija iz (6):

$$E_{M, D, g} = E_{D, g} - E_{PV, D, g} \quad (6)$$

Na osnovu ranije navedenih izraza, moguće je izračunati period otplate PV sistema, PO :

$$PO = \frac{c_i}{c_{p,D,g} - c_{M,D,g} + c_{PV,M,g} - c_{O\&M}} \quad (7)$$

gdje je $c_i = 10300 \text{ €}$ ukupna investicija u izgradnju PV sistema, $c_{O\&M}$ troškovi održavanja PV sistema koji godišnje iznose 2% od ukupne investicije, $c_{p,D,g}$ godišnji trošak energije koju domaćinstvo preuzme iz mreže bez instaliranog PV sistema, $c_{M,D,g}$ godišnji trošak energije koju domaćinstvo preuzme iz mreže sa instaliranim PV sistemom i $c_{PV,M,g}$ dobit ostvarena prodajom u mrežu viška energije iz PV sistema.

U drugom dijelu rada razmatra se uticaj kupovine EV na PO . Što se tiče punjenja EV, s obzirom na to da je ono u pokretu svaki dan i prelazi 75 km, pretpostavlja se da se EV svaki dan dopunjava do maksimalne napunjenosti. Ovo je opravdana pretpostavka, jer je cilj da baterija EV bude puna svaki dan prije vožnje, kako bi se, u slučaju nepredviđene vožnje duže od 75 km, izbjeglo punjenje EV na javnim punjačima, jer je cijena kilovat-časa energije iz javnih punjača viša od cijene koju plaća domaćinstvo za električnu energiju, a pogotovo na brzim DC punjačima, gdje cijena kilovat-časa može biti značajno veća [11]. S druge strane, klasični kućni punjač (engl. *wallbox*) ima snagu od 7 kW [12] i dovoljno je nekoliko sati da se baterija dopuni sa 20% do 100%. Energija $E_{EV,d}$, koju EV potroši u toku dana, tj. za pokrivanje distance od 75 km, iznosi 10,83 kWh.

Za razliku od prve situacije, kada smo imali proizvodnju PV sistema i potrošnju domaćinstva, čija razlika pokazuje kako se proizvedena energija raspoređuje između domaćinstva i mreže, sada imamo i električno vozilo, sa ciljem da se što više energije za punjenje EV preuzme iz PV sistema i tako poveća udio proizvedene energije u sopstvenoj potrošnji domaćinstva. Proizvodnjom iz PV sistema se sada zajedno pokrivaju potrošnja domaćinstva i punjenje EV, s tim da količina energije koja se uspije preuzeti iz sistema zavisi, između ostalog i od toga koliko vremena je EV parkirano kod kuće u doba dana kada PV sistem proizvodi energiju, tj. zavisi od faktora K . Ukoliko energija iz PV sistema nije dovoljna da u potpunosti pokrije zajedničku potrošnju, nedostatak energije preuzima se iz mreže po cijeni $c_{p,M}$, a u slučaju kada PV sistem pokriva kompletnu potrebu za energijom, višak proizvedene energije šalje se u mrežu po cijeni $c_{PV,M}$. Koliko će se energije iz PV sistema stvarno preuzeti za punjenje EV, zavisi od ranije pomenutog faktora K , tj. od toga koliko će vremena EV biti kući u toku proizvodnje PV sistema, kao i od toga za kakvu se raspodjelu energije između domaćinstva i EV odluči vlasnik, pa faktor K zapravo računamo na sljedeći način:

$$K = \frac{E_{PV,EV,g}}{E_{p,EV,g}} \quad (8)$$

Energija $E_{M,EV,g}$ koju EV preuzme iz mreže u toku godine računa se kao:

$$E_{M,EV,g} = (1 - K) E_{p,EV,g} \quad (9)$$

Višak energije $E_{PV,M,g}$ koji se iz PV sistema isporuči u mrežu dobija se iz:

$$E_{PV,M,g} = E_{PV,g} - K E_{p,PV,g} - E_{PV,D,g} \quad (10)$$

Na kraju, moguće je izračunati period otplate PV sistema u slučaju kupovine EV:

$$PO = \frac{c_i}{c_{p,D,g} + c_{DG} - c_{M,D,g} - c_{M,EV,g} + c_{PV,M,g} - c_{O\&M}} \quad (11)$$

gdje je c_{DG} godišnji trošak goriva koje potroši dizel vozilo ekvivalentno EV, pri istoj pređenoj distanci i $c_{M,EV,g}$ je trošak energije preuzet iz mreže za punjenje EV. Sve ostale promjenljive iz izraza (12) su već definisane i javljaju se u izrazu (7), u slučaju bez EV.

IV. REZULTATI

U Tabeli II prikazani su rezultati analize uticaja ugradnje PV sistema snage 6 kW, tj. efekti promjene stanja kupca u kupac-proizvođač. Izračunat je i period otplate PV sistema koji zavisi od količine energije koju PV sistem isporuči direktno u domaćinstvo, odnosno u mrežu.

TABELA II. REZULTATI ANALIZE NAKON UGRADNJE PV SISTEMA

Energija	[kWh]	Iznos	[€]
$E_{PV,D,g}$	1938,64	$c_{PV,D,g}$	911,16
$E_{PV,M,g}$	3918,06	$c_{PV,M,g}$	336,95
$E_{M,D,g}$	3076,19	$c_{M,D,g}$	1445,81
$E_{p,D,g}$	5016,00	$c_{p,D,g}$	2357,52

Na osnovu vrijednosti prikazanih u Tabeli II iz izraza (7) slijedi da je period otplate analiziranog sistema $PO = 9,88$ godina. Dakle, sa trenutnom cijenom električne energije $c_{p,M}$ u Njemačkoj, trenutnom garantovanom otkupnom cijenom $c_{PV,M}$ za kilovat-čas proizveden u PV sistemu i ukupnom godišnjom potrošnjom domaćinstva $E_{p,D,g}$, ovakav PV sistem se otplati za nepunih 10 godina.

Nakon što je određeno poslije kojeg perioda se otplati PV sistem, sljedeći korak je određivanje uticaja kupovine EV, kapaciteta baterije od 39 kWh, umjesto dizel vozila, na period otplate PV sistema. Kako je tačan udio energije proizvedene u PV sistemu u punjenju EV (faktor K) komplikovano odrediti, analiza je izvršena za više različitih vrijednosti faktora K , kako bi se grafički mogla prikazati zavisnost perioda otplate PV sistema od navedenog faktora, dok su u Tabeli III prezentovani rezultati opisane analize za četiri različite vrijednosti faktora K .

Situacija za $K = 0,63$ predstavlja specijalan slučaj u kojem EV preuzme svu moguću energiju iz PV sistema, ali tek nakon što se pokriju potrebe domaćinstva. To znači da PV sistem, nakon što zadovolji potrošnju domaćinstva, u najboljem slučaju može da pokrije 63% energije koja je godišnje potrebna za punjenje EV. Ako bi se punjenje EV postavilo kao prioritet u odnosu na potrošnju domaćinstva i ta energija preusmjerila ka EV, faktor K bi imao vrijednost veću od 0,63, ali sigurno manju od 1, jer postoje dani u godini kada

produkcija PV sistema nije dovoljna da pokrije dnevne potrebe EV za energijom, pa će u tom slučaju EV svakako morati dio potrebne energije da preuzme iz mreže.

TABELA III. REZULTATI ANALIZE NAKON KUPOVINE EV

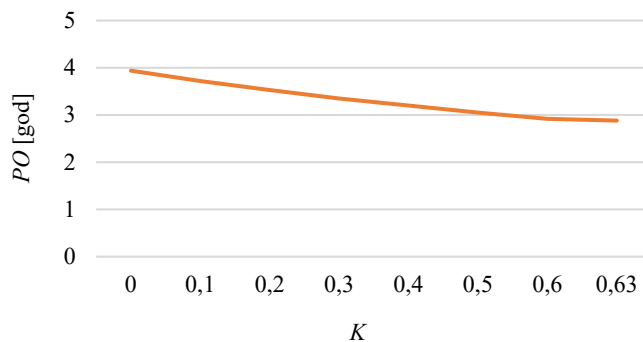
Energija [kWh]	$K = 0,63$	$K = 0,5$	$K = 0,1$	$K = 0$
$E_{PV,EV,g}$	2489,26	1976,47	395,12	0,00
$E_{PV,M,g}$	1428,80	1941,59	3522,94	3918,06
$E_{PV,D,g}$	1938,64	1938,64	1938,64	1938,64
$E_{M,D,g}$	3076,46	3076,46	3076,46	3076,46
$E_{M,EV,g}$	1463,69	1976,48	3557,83	3952,95
$E_{p,D,g}$	5016,00	5016,00	5016,00	5016,00
Iznos [€]	$K = 0,63$	$K = 0,5$	$K = 0,1$	$K = 0$
CPV,EV,g	1169,95	928,94	185,79	0,00
CPV,M,g	122,88	166,98	302,96	336,95
CPV,D,g	911,16	911,16	911,16	911,16
CM,D,g	1445,94	1445,94	1445,94	1445,94
CM,EV,g	687,94	928,94	1672,10	1857,89
CP,D,g	2357,52	2357,52	2357,52	2357,52
CD,G	3430,09	3430,09	3430,09	3430,09
PO	2,88	3,05	3,72	3,94

Smanjenjem faktora K ispod 0,63, smanjuje se energija koju EV uzima iz PV sistema, pri čemu količina energije koju domaćinstvo preuzima iz PV sistema ostaje fiksna i maksimalna, a povećava se energija koju PV sistem šalje u mrežu po cijeni znatno nižoj od tržišne, što dovodi do produženja perioda otplate PV sistema. U Tabeli III prikazani su rezultati analize za vrijednosti faktora K od 0,5, 0,1 i 0. Kao što se vidi iz Tabele III, za sve vrijednosti $K \leq 0,63$, energija $E_{PV,D,g}$, koju domaćinstvo primi iz PV sistema je konstantna i iznosi 1938,64 kWh, što i jeste, prema (5), maksimalni iznos energije koju PV sistem može isporučiti domaćinstvu u toku godine, u skladu sa usvojenim modelima potrošnje i proizvodnje PV sistema. Zavisnost perioda otplate od faktora K prikazana je na Sl. 3. Kada je $K = 0$, što odgovara slučaju da se električno vozilo puni samo energijom iz elektroenergetske mreže, jer npr. vozilo nije kod kuće tokom dana, period otplate je najduži i iznosi 3,94 godine. Ako faktor K ima vrijednosti veće od nule, to znači da se za punjenje EV koristi dio energije i iz PV sistema. Samim tim manji dio energije se uzima iz elektroenergetske mreže i smanjuje se period otplate PV sistema. Ako bi se iskoristila maksimalno moguća energija iz PV sistema za punjenje električnog vozila tada bi se period otplate smanjio na 2,88 godina. Dakle, kako se udio energije iz PV sistema u punjenju EV kreće između 0% i 63% od ukupne energije potrebne za punjenje EV u toku godine, period otplate PV sistema se kreće u opsegu od 3,94 do 2,88 godina.

S obzirom na to da period otplate PV sistema u slučaju bez EV traje 9,88 godina, vidi se da na skraćivanje perioda otplate PV sistema najviše utiče kupovina električnog vozila umjesto dizel vozila. Kako je i prikazano u rezultatima, godišnji

troškovi goriva za dizel vozilo iste snage i skoro iste cijene, za istu pređenu godišnju distancu, iznose $c_{DG} = 3430,09$ €, dok godišnji troškovi električne energije za punjenje električnog vozila u najnepovoljnijem slučaju iznose $c_{p,EV,g} = 1858,46$ €, tako da se u toku godine po tom osnovu ostvaruje ušteda od:

$$c_{\Delta,gor} = c_{DG} - c_{p,EV,g} = 1571,63 \text{ €}$$



Sl.3. Zavisnost perioda otplate PV sistema od faktora K

V. ZAKLJUČAK

U radu su razmatrani ekonomski efekti ugradnje PV sistema snage 6 kW na krov kuće koja se nalazi u okolini Štutgarta u Njemačkoj. Pokazano je za koliko vremena se otplati takav sistem, uzimajući u obzir trenutnu cijenu električne energije iz distributivne mreže u Njemačkoj, kao i zagarantovanu cijenu električne energije koja se iz PV sistema prodaje u mrežu, a prema aktuелnoj verziji Zakona o obnovljivim izvorima energije Njemačke. Za analizu je izabrano domaćinstvo koje ostvaruje prosječnu godišnju potrošnju električne energije jedne četveročlane porodice. Rezultati pokazuju da je investicija u PV sistem opravdana, jer je period otplate analiziranog sistema nepunih 10 godina, pri čemu se podrazumijeva da je životni vijek fotonaponskih sistema, sa redovnim održavanjem, najmanje 20 godina, što je upravo i period važenja garantovane otkupne cijene i prava prvenstva predaje energije proizvedene PV sistemom u distributivnu mrežu.

Dotadna analiza je pokazala i kakav se efekat ostvaruje ukoliko se domaćinstvo odluči da, paralelno sa ugradnjom PV sistema, kupi novo električno vozilo, umjesto novog dizel vozila. Pokazuje se da se pod ovim okolnostima postiže period otplate analiziranog sistema između 2,88 i 3,94 godine, što zavisi od raspoloživosti EV u periodu kada PV sistem proizvodi energiju. Bitna napomena je da u analizi nije uzet u obzir period otplate EV, jer se podrazumijeva da vlasnik nije zamijenio postojeće dizel vozilo električnim, nego je pri odabiru novog vozila odlučio da to bude EV, a ne dizel vozilo, kao što je to bio slučaj ranije, pri čemu su cijene oba vozila približne. Dakle, i u najnepovoljnijem slučaju, period otplate PV sistema je 3,94 godine, što nam govori da električno vozilo ima dominantan uticaj na skraćivanje perioda otplate PV sistema, u odnosu na proizvedenu energiju.

LITERATURA

- [1] Campos I., Pontes Luz G., Marin-Gonzalez E., Gähns S., Hall S., Holstenkamp L. Regulatory challenges and opportunities for collective renewable energy Prosumers in the EU. Energy Policy, ISSN 0301-4215, 2019.
- [2] Carlos Canelada Martinez, Prosumers role in a changing electricity system: the non-individual prosumer perspective. Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden 2022.
- [3] Strom Report, *News strompreisentwicklung: so stark steigen die strompreise 2022*, 2022, Strompreise 2022 - News & Charts zur Strompreisentwicklung (strom-report.de)
- [4] PV Magazine, *Germany raises feed-in tariffs for solar up to 750 kW* Marian Willuhn, 2022, Germany raises feed-in tariffs for solar up to 750 kW – pv magazine International (pv-magazine.com)
- [5] EnBW, *Rechnungserläuterung*, Erläuterung zu Ihrer Rechnung | EnBW
- [6] Fereidoon Sioshanasi, *Consumer, prosumer, prosumer: How service innovations will disrupt the utility business model*, London, Velika Britanija, 2019.
- [7] AutoBild, Christian Jess, *Sprit wieder leicht teurer – diese Regionen sind am besten dran*, 2023, Sprit wieder leicht teurer – diese Regionen sind am besten dran - AUTO BILD
- [8] HOMER software, HOMER Pro - Microgrid Software for Designing Optimized Hybrid Microgrids (homerenergy.com).
- [9] NREL, kalkulator solarnog zračenja, <http://pvwatts.nrel.gov/>
- [10] Europe Nissan CDN, *PreiFste (MY2022)*, 2022, leaf-preisliste.pdf (nissan-cdn.net)
- [11] Solar Energie, *Elektroauto unterwegs laden*, Ullrich Bemann, 2021, Elektroauto unterwegs laden (solarenergie.de)
- [12] We power your car, 7kW VS 22kW - Which is better? - We Power Your Car

ABSTRACT

The paper examines the cost-effectiveness of installing a photovoltaic (PV) system in a household, whereby the consumer becomes prosumer. The German case is observed, which is characteristic due to the large price ratio of purchased and sold electricity. The first part of the paper is devoted to the cost-effectiveness of installing a PV system solely, while the second part analyzes the additional improvements resulting from the purchase of an electric vehicle (EV). The numerical example shows that the installation of a PV system in Germany, under current market conditions, pays off in 9.88 years. Switching to EV use under such conditions significantly shortens the payback period of the PV system, which ranges between 2,88 and 3,94 years, depending on how much electricity from the PV system can be used to charge the EV. It is shown that the replacement of diesel vehicle with EV has a greater effect on the payback period of the PV system than production from the PV system.

COST-EFFECTIVENESS ANALYSIS OF THE INSTALLATION OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS BY PROSUMERS IN GERMANY
Miloš Janković, Čedomir Zeljković, Predrag Mršić

Енергетска и еколошка одговорност као принцип пројектовања

Зграда студентског дома у Универзитетском граду

Саша Чворо¹, Малина Чворо¹, Уна Окиљ¹, Зоран Уљаревић¹

¹Универзитет у Бањој Луци, Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет

sasa.cvoro@aggf.unibl.org, malina.cvoro@aggf.unibl.org, una.okilj@aggf.unibl.org, zoran.uljarevic@aggf.unibl.org

Сажетак— Побољшање услова живота, смањење потрошње енергије и очување животне средине подразумева пројектовање и изградњу објеката у складу са постављеним циљевима одрживог урбаног развоја. Енергетска и еколошка одговорност приказана је на примјеру објекта реализованог у односу на просторне потребе, тржишне и друштвене специфичности локалне средине. Студентски дом Никола Тесла, павиљон 4, налази се у склопу комплекса Универзитетског града Бања Лука – заштићеног подручја пејзажне архитектуре које има јавни карактер, док саму архитектуру дома одређују једноставност запремине зграде и умјерени архитектонски израз, рационалност у материјализацији и организацији простора.

У раду су представљени резултати добијени поједностављеном анализом структуре потрошене енергије у 4. павиљону студентског дома Никола Тесла у Бањој Луци, а за период од 2018. до 2022. године. Резултати су показали да је учешће соларне енергије, из обновљивих извора, у укупно испорученој енергији 4.19% за посматрани период од пет година. Циљ овог рада је приказати вриједности и промјену структуре у потрошњи енергије по годинама, указујући при том на важност дужине периода који се посматра.

Кључне ријечи — *архитектонско пројектовање, студентски смјештај, енергетска ефикасност, соларна енергија*

I. УВОД

Брз раст градова и еволуција технологија и производних метода имали су огроман утицај на развој урбаног свијета. Градови се развијају по веома сложеним обрасцима, са просторним, културним, еколошким и социо-економским карактеристикама. Растућа популарност модела дисперзивног града у 20. вијеку не само да је била у великој супротности са ранијим, компактнијим градовима 19. вијека, већ је створила и негативне посљедице на инфраструктуру и ресурсе. Као одговор, тражена су рјешења за раст са мањим утицајем на животну средину. Зелени урбанизам је дефинисан као пракса стварања заједница корисних и за људе и животну средину, гдје еколошки интегрисано и одрживо планирање града може да обезбједи и побољша еколошке користи на локалном, националном и међународном нивоу.

Град Бања Лука је усвојио Акциони план за зелени град са јасном визијом: „Град има за циљ да буде примјер иновативне, паметне и одрживе комуналне и саобраћајне инфраструктуре, подржане ефикасним системом коришћења земљишта и повећаном отпорношћу на климатске промјене и друге елементарне непогоде. Са здравом и динамичном изграђеном средином, мрежа зелене и плаве инфраструктуре заштитиће и унаприједити водне ресурсе, квалитет земљишта и биодиверзитет, те одржати репутацију Бање Луке као „града зеленила“ и дефинисао задатак којим Град Бања Лука треба „да успостави ефикасан систем кориштења енергије и сведе штетан утицај на околину на минималну могућу мјеру, побољша услове комфора и продуктивност у системима комуналних услуга.“ [1]

Природа у Универзитетском граду је најзначајнији парк у Бањалуци и стављен је под заштиту Републике Српске Одлуком Министарства просторног уређења, грађевинарства и екологије још 2012. године, а 2016. године је Одлуком Скупштине града Бања Лука проглашава се заштићено подручје са одрживим коришћењем природних ресурса као Споменик парковске архитектуре „Универзитетски град“ [2]. Парк чини богата хортикултура из различитих временских периода, 1.500 стабала, а истичу се низови платана од којих су неки стари и по неколико стотина година. Уз богату вегетацију овдје живи 48 врста птица од којих су неке законски заштићене, а једним дијелом границе протиче и ријека Врбас. Универзитетски град Бања Лука смјештен је у комплексу бивше касарне ЈНА „Врбас“ и са становишта архитектуре, ово подручје представља хетерогену групу објеката веома различите намјене, времена изградње, архитектонског облика и материјалне реализације. Изградња објекта на овако специфичном простору подразумева успостављање нових квалитета, начина понашања и успостављање реда а све у складу са просторним контекстом којим доминира постојећи природни амбијент [3].

II. ЕКОЛОШКИ И ЕНЕРГЕТСКИ ЕФИКАСНА АРХИТЕКТУРА

У урбанистичко-архитектонском приступу, зграда Дома студената и њен ауторски концепт слиједио је одређене принципе градње. Објекат студентског дома

чини dio ulичне фасаде западног прилаза Кампусу из правца центра града. Опсежан програм Дома и недвосмислени обликовни правци резултирали су уздужном волуметријом стамбене зграде чије су димензије упоредиве са сусједном стамбеном четврти Борик, урбаним стамбеним насељем типичним за период социјализма и изграђеним у духу интернационалног стила, који карактерише урбани стил чистих и голих форми, као и нова димензија функционализма. Обликовању објекта Студентског дома претходило је усклађивање намјене са пропорцијама сусједних зграда и визуелног пејзажа из Кампуса гдје се појављује. Основа предложеног концепта је функционална диференцијација садржаја објекта на заједничке (јавне) површине и приватне просторе (просторије) тако да се у централном дијелу отвара велика затворена структура зграде са транспарентном предњом фасадом која вертикално повезује заједничке садржаје.

Прекид који је направљен у формирању редослиједа студентских соба попуњавају преостали јавни садржаји зграде – улазни хол, комуникације, заједнички трпезаријски простор и заједнички дневни боравак. Ове зоне су окружене стакленим зидовима који омогућавају поглед ка споља, али такође означавају унутрашњу динамику коришћења зграде погледима споља. Приземље и подрум су dio јавног садржаја зграде која је у функцији административне управе, студентске амбуланте, учионица и служби. Предложено рјешење обезбјеђује капацитет од 280 лежачева. Просторије су оријентисане на исток и запад, имају природно освјетљење и вентилацију. Дуги ходници су подједнако организовани на свим спратовима и ритмично се помијерају упадљивим улазима у смјештајне јединице. Свака соба је предвиђена за смјештај по два студента и опремљена је кухињским блоком у холу и купатилом. Аутори су користили боју дајући тако живописност унутрашњем простору зграде, а различите боје пода користе се за креирање визуелног идентитета сваког појединачног спрата. Поглед на спољашњи простор у просторијама дефинисан је постојањем прелазне зоне, лође. Покретне металне сијенке на фасади дају кориснику могућност избора количине свјетлости или сјенке која улази у просторију. Заштита од сунца је остварена кроз форму динамичких елемената обликовања на фасади које је изведено у складу са распоредом предње фасаде. Поред тога, слободу у архитектонском изразу веома рационалног волумена објекта аутори су креирали употребом боје на фасади. Разиграни сет панела разних боја и димензија директна је асоцијација на младе станаре ове зграде.

Циљ пројекта зграде Дома студената је побољшати услове живота, смањити потрошњу енергије и очувати животну средину кроз јасно дефинисање основних елемената функционалне организације и архитектонске материјализације простора. Принципи пројектовања и начини реализације утицали су на очекивани ниво енергетске оптимизације и свих елемената комфора борава и рада људи у овом специфичном простору. Један од циљева аутора ове архитектуре био је да омогуће

задовољавајући ниво удобност у простору уз минималну потрошњу енергије у простору на рационалан начин. У смислу остварења оптималних услова просторног комфора и оптимизације енергије:

- испитани су утицајни фактори комфора /услови на лицу мјеста, микроклима, дневна свјетлост, загађивачи ваздуха, бука и др./,
- утврђене границе пожељних или прихватљивих услова комфора у простору /температура, освјетљеност, квалитет ваздуха и прихватљиви нивои буке/,
- контролисани промјенљиви параметри / топлота, ваздух, свјетлост и звук / уз помоћ пасивних средстава / карактеристике објекта / колико је то могуће и изводљиво,
- смањена потрошња енергије само на контролу и одржавање активних средстава за обезбјеђивање комфора /гријања, хлађења, вентилације, освјетљења, заштите од буке и сл./.

У овом раду су детаљно анализирани петогодишњи резултати уштеде добијене увођењем 100 кровних соларних панела на око 60 одсто укупне површине равног крова. Циљ њихове уградње био је омогућити загријавање санитарне топле воде у објекту који има 150 купатила и главни је потрошач те воде и то енергијом из обновљивих извора.



СЛ.1. 4. Павиљон Студентског дома, Бања Лука

III. ЕНЕРГИЈА КОРИШТЕНА ИЗ ОБНОВЉИВИХ ИЗВОРА

Четврти павиљон Студентског дома Никола Тесла има гријану бруто запремину $V_e=23030 \text{ m}^3$ са кондиционираном површином $A_u=7114 \text{ m}^2$ и фактором облика зграде $f_0=0.237 \text{ m}^{-1}$. Учешће провидних елемената у укупној површини омотача зграде је $z=32.0 \%$. Да би смањили губитке топлоте у преносу и категорисали енергетски ефикасне зграде, објекат је пројектован са U-вриједношћу спољашњег зида од $0.225 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\text{K}^{-1}$ са дебелином термоизолације 15 cm. Провидни елементи су прозори са двоструким застакљивањем са вишекоморним алуминијумским рамовима. Елементи равног крова су пројектовани са дебелином термоизолације од 15 cm и U-вриједношћу од $0.248 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\text{K}^{-1}$. Поред дефинисане геометрије, материјала и климатских параметара,

процјеном енергетских перформанси, по својим енергетским карактеристикама и са годишњом потребном енергијом за гријање зграда студентског дома припада С енергетској класи. [3][4]

На крову зграде постављени су соларни панели који производе енергију за припрему потрошне топле воде. Сто поликристалних соларних панела укупне ефективне површине 235 m² постављено је на раван кров, орјентисан ка југу и постављен под углом од $\theta=30^{\circ}$. У циљу процјене енергије коју генеришу соларни панели годишње, подаци о мјесечној глобалној зрачењу примљеном на површини насловљеној под углом од 30⁰ степени за координате (ширина = 44.77⁰, географска дужина = 17.21⁰) добијени су на основу сателитских осматрања. Стварна ефикасност процијењена је 2017. године на основу карактеристика соларних панела и спољашњих утицаја (процијењена разлика између улазне температуре колекторског флуида и температуре околине, примљеног глобалног сунчевог зрачења и сјенчења) [4]. Просјечна мјесечна ефикасност соларних ћелија је вршна у фебруару ($\eta=19,8\%$) и најнижа у јулу ($\eta=13,9\%$). Енергија генерисана из соларних панела добијена је помоћу једначине:

$$Q_{sol} = \eta \cdot H_t \cdot A$$

Гдје H_t представља средње суме сунчевог зрачења на јужно орјентисану површину, а A је укупна ефективна површина кровног соларног панела. Енергија коју генеришу соларни панели на нивоу једне године је 78,2 MWh и представља дио укупне енергије која се троши за припрему топле воде.

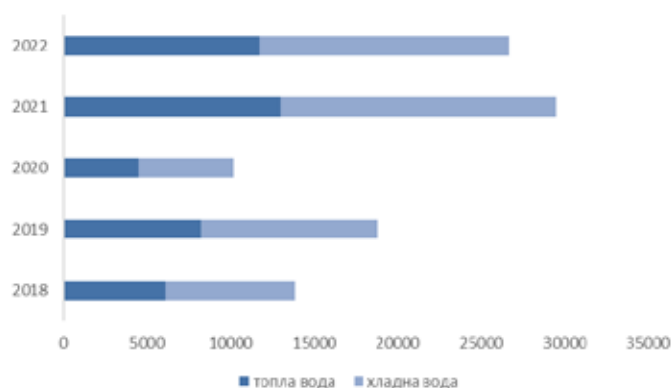
Вода у рециркулацијском систему се загријава са три котла од 1000 литара до температуре $\theta_{w,del}=50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура доводне воде током године осцилира од $\theta_{w,0}=8\text{ }^{\circ}\text{C}$ зими до $\theta_{w,0}=14\text{ }^{\circ}\text{C}$ лети. Потрошња енергије за загријавање воде за домаћинство се процјењује на основу сљедеће једначине:

$$Q_w = \rho_w \cdot c_w \cdot V_w \cdot (\theta_{w,del} - \theta_{w,0})$$

Гдје је ρ_w густина воде и c_w специфични топлотни капацитет воде ($\rho_w \cdot c_w = 1.16\text{ kWh/m}^3\text{K}$) [5]. На овај начин процијењена је годишња потрошња енергије за припрему потрошене топле воде и то за сваку годину посматраног периода. Укупна потрошња воде у објекту по годинама, 2018., 2019., 2020., 2021. и 2022. године, приказана је на Слици 2.

Бруто финална потрошња енергије зграде током године може се подијелити на испоручену топлотну енергију, енергију утрошену за припрему потрошне топле воде и електричну енергију утрошену на све осим припреме топле воде. Вриједности очитане са рачуна за потрошену топлотну енергију за гријање и укупно утрошена електрична енергија кориштене су за добијање укупне годишње испоручене енергије за посматрани период. Укупно утрошена електрична енергија је збир очитаних вриједности са рачуна по годинама и енергија добијена из соларних панела. Ове вриједности приказане су на Слици 3 и 4, док је учешће енергије добијене из обновљивих извора у годишњој испорученој енергији, као и њено учешће у укупно утрошеној електричној енергији,

односно у енергији за загријавање топле воде, током 2018., 2019., 2020., 2021. и 2022. године приказано је у Слици 3 и 5.



СЛ. 2. Потрошња воде на основу рачуна и оптерећења

	2018	2019	2020	2021	2022	УКУПНО
годишња испоручена енергија зграде [MWh]	2,345.12	1,498.84	1,696.96	1,905.74	1,876.60	9,323.26
укупно утрошена електрична енергија [MWh]	708.84	953.74	915.36	1,040.24	1,172.80	4,790.98
укупна енергија за загријавање топле воде [MWh]	276.51	373.85	202.94	587.41	530.96	1,971.67
енергија за загријавање топле воде добијена из соларних панела [MWh]	78.20	78.20	78.20	78.20	78.20	391.00
учешће енергије из соларних панела у испорученој енергији [%]	3.33	5.22	4.61	4.10	4.17	4.19
учешће енергије из соларних панела у укупно утрошеној ел.ен. [%]	11.03	8.20	8.54	7.52	6.67	8.16
учешће енергије из соларних панела у енергији за загријавање воде [%]	28.28	20.92	38.53	13.31	14.73	19.83

СЛ. 3. Показатељи вриједности и структуре потрошене енергије

Годишња испоручена енергија била је највећа у 2018. години, а најмања у 2019., сразмјерно потрошњи топлотне енергије за гријање, која је у 2018. години била највиша у посматраном периоду а троструко већа него у 2019. години. Управо у овим годинама добијена је највиша за 2019. од 5.22% и најнижа за 2018. годину од 3.33% енергије из обновљивих извора. Укупно утрошена електрична енергија била највиша у 2022. а најнижа у 2018. години. Тако су у 2018. години кад је забиљежена најнижа потрошња електричне енергије, а највиша годишња испоручена енергија добијене екстремне вриједности. Укупна електрична енергија утрошена за загријавање топле воде највиша је у 2021. а најнижа у 2020. години, сразмјерно потрошњи (топле) воде, што је дало резултат од 13.31% за 2021., односно 38,53 за 2020. годину.



СЛ 4. Вриједност и структура потрошене енергије



СЛ 5. Учешће (%) енергије из соларних панела у потрошњи енергије

IV. ЗАКЉУЧАК

Зграда 4. павиљона студентског дома Никола Тесла у Бањој Луци примјер је енергетске и еколошке одговорности, гдје је одговорено на просторне потребе, тржишне и друштвене специфичности локалне средине, али и енергетско питање, па се енергија добијена из обновљивих извора користи за припрему топле воде. У раду су представљени резултати добијени поједностављеном анализом структуре потрошене енергије за период од 2018. до 2022. године. Испитано је учешће енергије добијене из соларних панела у утрошеној енергији не само за припрему топле воде, већ и у годишњој испорученој енергији зграде. Анализа се заснивала на мјесечним рачунима за испоручену топлотну енергију за гријање, за воду и за струју, те на прорачуном добијену потребну енергију за припрему топле воде и енергију добијену из сто поликристалних соларних панела на крову зграде. Приликом анализе нису уобзирени губитци система гријања нити система за припрему топле воде. Циљ овог рада је приказати вриједности и промјену структуре у потрошњи енергије по годинама, указујући при том на важност дужине периода који се посматра.

Резултати су показали да је учешће соларне енергије из обновљивих извора у укупно испорученој енергији 4.19% за посматрани период од пет година. Учешће енергије из соларних панела у укупно утрошеној електричној енергији током истог периода има средњу вриједност од

8.16%, док је енергија добијена из обновљивих извора учествовала са 19.83% у укупној енергији утрошеној за припрему топле воде. Овакав ред величина је очекиван, но екстремаријабилност вриједности овог учешћа посматрано појединачно по годинама је последица варијабилности у укупној потрошњи енергије и воде, као и других фактора.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] EBRD Green Cities, 2020., <https://ebrdgreencities.com/assets/Uploads/PDF/EBRD-Banja-Luka-GCAP-LL.pdf>, приступљено феб. 2023.
- [2] Заштићено подручје „Универзитетски град“, <https://igr.unibl.org/index.php?idsek=156>, приступљено феб. 2023.
- [3] Чворо С., М. Чворо, У. Умићевећ, 2016., *COMFORT QUALITY IN THE ARCHITECTURAL TRANSFORMATION OF EXISTING FACILITIES*, 3. Међународна научна конференција „Places and Technologies 2016“, Универзитет у Београду, стр. 109-118
- [4] Правилник о вршењу енергетског прегледа зграда и издавању енергетског сертификата, 2015., *Службени гласник Републике Српске*, број 30, стр. 36-57
- [5] Чворо М., С. Чворо, А. Јанковић, 2018., *ARCHITECTURAL ASPECTS OF ENERGY AND ECOLOGICALLY RESPONSIBLE DESIGN OF STUDENT HOUSE BUILDINGS*, 5. Међународна научна конференција „Places and Technologies 2018“, Универзитет у Београду, стр. 326-331
- [6] Правилник о методологији за израчунавање енергетских карактеристика зграда, 2015., *Службени гласник Републике Српске*, број 30, стр. 24-36

ABSTRACT

Improving living conditions, reducing energy consumption and preserving the environment means designing and building facilities in accordance with the goals set in sustainable urban development. Energy and environmental responsibility is shown on the example of an object realized in relation to the spatial needs, market and social specificities of the local environment. The student dormitory Nikola Tesla is located within the complex of the University City of Banja Luka. The architecture of the dormitory in protected area of landscape architecture is determined by the simplicity of the building's volume and moderate architectural expression, rationality in the materialization and organization of space.

The paper presents the results obtained by a simplified analysis of the structure of energy consumed in the 4th pavilion of the Nikola Tesla dormitory in Banja Luka for the period from 2018 to 2022. The results showed that the share of solar energy, from renewable sources, in the total delivered energy was 4.19% for the observed period of five years. The aim of this paper is to show the values and the change in the structure of energy consumption by year, pointing out the importance of the length of the observed period.

Keywords — architectural design, student accommodation, energy efficiency, solar energy

ENERGY AND ENVIRONMENTAL RESPONSIBILITY AS DESIGN PRINCIPLE – STUDENT HOUSING BUILDING IN THE UNIVERSITY KAMPUS
Saša Čvoro, Malina Čvoro, Una Okilj, Zoran Uljarević

Развој студијских програма и предмета у оквиру пројекта ERASMUS+ ELEMEND (Electrical Energy Markets and Engineering Education)

Платон Совиљ¹, Ђорђе Новаковић¹, Сања Мандић¹, Драган Пејић¹, Здравко Готовац¹, Немања Газивода¹

¹Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Нови Сад, Србија

platon@uns.ac.rs, djordjenovakovic@uns.ac.rs, sanja.mandic@uns.ac.rs, pejicdra@uns.ac.rs, zdravko.gotovac@uns.ac.rs, nemanjagazivoda@uns.ac.rs

Сажетак— У оквиру пројекта ERASMUS+ ELEMEND (Electrical Energy Markets and Engineering Education) развијени су одговарајући студијски програми и предмети. Ови студијски програми и предмети имају улогу да будући инжењери буду подучени у технологијама паметних мрежа и микро мрежа, у контексту тржишта електричне енергије. У овом раду је дат осврт на пројекат ELEMEND и на примере акредитованих студијских предмета у склопу пројекта ELEMEND.

Кључне ријечи—ERASMUS+; ELEMEND; образовање инжењера; акредитација;ћ

I. Увод

Нове парадигме електричних мрежа и тржишта захтевају да особље запослено на пословима везаним за електричну енергију, као и крајњи корисници електричне енергије буду на одговарајући начин образовани и обучени. Наставни планови и програми из електротехнике у земљама Западног Балкана, раније су формиран у складу са традиционалним моделом једне велике електроенергетске мреже, која је у власништву једне компаније, па је препозната потреба да се ови планови и програми прилагоде новим условима [1].

Пројекат Erasmus+ KA2 ELEMEND (Development of master curricula for Electrical Energy Markets and Engineering Education) је осмишљен да омогући да наставни програми из електротехнике у земљама Западног Балкана буду конкурентни кроз подучавање и обуку у технологијама паметних мрежа и микро мрежа, у контексту тржишта електричне енергије. Развијени су курсеви на нивоу основних академских студија (ОАС) и мастер академских студија (МАС) на Факултету техничких наука, Универзитета у Новом Саду, као и у пројектним партнерским установама Западног Балкана; академско и техничко особље је пролазило одговарајућу обуку и кориштени су нови алати из домена ИКТ (информационо-комуникационих технологија), као што су платформе за е-учење и гејмификовани садржаји заједно са комбинованим учењем [1].

Лабораторије у склопу пројекта ELEMEND су

Овај рад је подржан од стране Факултета техничких наука у Новом Саду, Центра за метрологију, у оквиру реализације пројекта под називом "Развој научно-стручних метода у области мерно-информационих технологија, научне и индустријске метрологије, и

организоване тако да су доступне свим партнерима и као такве представљају и базу за истраживачки рад, док се од дипломираних инжењера очекује да имају повећану стопу запошљивости и да имају водећу улогу у својој области [1].

Предмети развијени на Факултету техничких наука, Универзитета у Новом Саду, развијени су једним делом у сарадњи са пројектним партнерима, а једним делом на основу увида у потребе савремених тржишта. Такође, једним делом, предмети су развијени као нови предмети, а једним делом су развијени као измена постојећих предмета. На овај начин су обухваћени (и иновирани) студијски програми ОАС Мерење и регулација (eng. Measurement-Information Technologies and Control Engineering), ОАС Енергетика, електроника и телекомуникације (eng. Power, Electronics and Communication Engineering), МАС Мерење и регулација (eng. Measurement-Information Technologies and Control Engineering) и МАС Енергетика, електроника и телекомуникације (eng. Power, Electronics and Communication Engineering) [2].

II. ПРИМЕРИ АКРЕДИТОВАНИХ СТУДИЈСКИХ ПРЕДМЕТА У СКОЛУ ПРОЈЕКТА ELEMEND

Кључне катедре Факултета техничких факултета у Новом Саду за имплементацију наведених студијских програма су Катедра за електрична мерења, Катедра за енергетску електронику и претвараче и Катедра за аутоматско управљање. Примери акредитованих студијских предмета су дати на сликама од 1 до 5.

Лабораторијске вежбе за предмете Катедре за електрична мерења се изводе у следећим лабораторијама: Лабораторија за метрологију, Лабораторија за електрична мерења, Лабораторија за електронска мерења, Лабораторија за мерно-информационе системе.

Лабораторија за метрологију има специфично усмерење ка лабораторијским инструментима и системима највеће тачности и прецизности, као и мерним методама најмање мерне несигурности. Имајући то у виду, ова лабораторија представља темељни ниво у метролошкој хијерархији наведених лабораторија.

Студијски програм:	Мерење и регулација
Назив предмета:	17.EIEEM1 Електрична и електронска мерења у индустрији
Наставник/наставници:	Пејић В. Драган, Ванредни професор Томић Ј. Јосиф, Ванредни професор
Статус предмета:	Изборни
Број ЕСПБ:	7
Услов:	Нема
Предмети предуслови:	Нема
Циљ предмета	
СТИЦАЊЕ ЗНАЊА ИЗ ОБЛАСТИ ЕЛЕКТРИЧНИХ И ЕЛЕКТРОНСКИХ МЕРЕЊА, ПОСЕБНО У ИНДУСТРИЈСКОМ ОКРУЖЕЊУ.	
Исход предмета	
РАЗУМЕВАЊЕ И ДОБРО ПОЗНАВАЊЕ УПОТРЕБЕ, ПРИНЦИПА РАДА И СТРУКТУРЕ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРНИХ ИНСТРУМЕНАТА; СТИЦАЊЕ ИСКУСТВА И ОБУЧЕНОСТ ИЗ ОБЛАСТИ ОБРАДЕ РЕЗУЛТАТА ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЊА; СПОСОБНОСТ ПРЕТРАЖИВАЊА РЕЛЕВАНТНЕ ЛИТЕРАТУРЕ И ДРУГИХ ОБЛИКА ИНФОРМАЦИЈА ИЗ ОБЛАСТИ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЊА И СПОСОБНОСТ ПРЕЗЕНТАЦИЈЕ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА.	
Садржај предмета	
Физичке величине и мерне јединице. Електрични мерни инструменти. Електромеханички мерни инструменти. Инструмент са кретним калемом. Проширивање мерног подручја инструмента са кретним калемом. Проширивање мерног опсега мерних инструмента. Електронски мерни инструменти. Мерење неелектричних величина електричним путем. Мерни системи. Мерни прибор. Counter-timer. Бројање. Мерење временских интервала. Мерење фреквенције и периоде. Мерење односа фреквенција. Мерење фазне разлике. Дигитално-аналогни конвертори. Генератори функција. Аналогно-дигитални конвертори. Дигитални мултиметри. Осцилоскопи. Временске базе. Вишеканални осцилоскопи. Дигитални осцилоскопи. Осцилоскопске сонде. Мерење параметара сигнала осцилоском. Мерни мостови. Једносмерни мерни мостови. Витстонов мост. Келвинов мост. Неуравнотежени Витстонов мост. Наизменични мерни мостови. Мерни мостови са више извора. Мерни компензатори. Једносмерни мерни компензатори. Мерење електричне струје, напона, отпорности, импедансе, снаге, капацитивности и индуктивности. Опште карактеристике мерних инструмената. Статичка карактеристика. Осетљивост. Линеарност. Резолуција. Мерни опсег/распон. Скала/сказаљка/дисплеј. Улазна/излазна импеданса. Тачност. Стабилност. Нормални/гранични/референтни услови. Ознаке. Динамичке карактеристике. Обрада резултата мерења. Грешке мерења. Грубе грешке. Систематске грешке. Случајне грешке. Мерна несигурност. Стандардна мерна несигурност. Комбинована мерна несигурност. Проширена мерна несигурност. Мерна информација. Квалитет мерне информације.	

Sl. 1. Параметри студијског предмета Електрична и електронска мерења у индустрији [2].

Студијски програм:	Мерење и регулација
Назив предмета:	17.E133 Електроенергетски претварачи
Наставник/наставници:	Думнић П. Борис, Ванредни професор Васић В. Веран, Редовни професор Орос В. Ђура, Ванредни професор
Статус предмета:	Обавезан
Број ЕСПБ:	7
Услов:	Нема
Предмети предуслови:	Нема
Циљ предмета	
СТИЦАЊЕ ОСНОВНИХ ЗНАЊА ИЗ ОБЛАСТИ ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧКОГ ПРЕТВАРАЊА ЕНЕРГИЈЕ, ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИНА, УРЕЂАЈА ЕНЕРГЕТСКЕ ЕЛЕКТРОНИКЕ И ЕЛЕКТРОМОТОРНИХ ПОГОНА.	
Исход предмета	
- разумевање основних принципа електромеханског претварања енергије - разумевање основних особина и начина рада ротационих електричних машина - разумевање основних особина и начина рада статичких електричних машина-трансформатора - разумевање основних особина и начина рада уређаја енергетске електронике и њихове примене - разумевање основе електромоторних погона	
Садржај предмета	
Основни принципи електромеханског претварања енергије. Енергетски биланс електричне машине. Типови ротационих електричних машина. Машине наизменичне струје. Теслино обртно поље. Синхроне машине. Асинхроне машине. Машине једносмерне струје. Статичке електричне машине-Трансформатори. Остале електричне машине. Уређаји енергетске електронике. Основе електромоторних погона.	

Sl. 2. Параметри студијског предмета Електроенергетски претварачи [2].

Студијски програм:	Мерење и регулација
Назив предмета:	17.EIDMS1 Микропроцесорски мерно-информациони системи 1
Наставник/наставници:	Совиљ М. Платон, Ванредни професор
Статус предмета:	Изборни
Број ЕСПБ:	7
Услов:	Нема
Предмети предуслови:	Нема
Циљ предмета	
СТИЦАЊЕ ЗНАЊА ИЗ ОБЛАСТИ МИКРОПРОЦЕСОРСКИХ МЕРНО-ИНФОРМАЦИОНИХ СИСТЕМА.	
Исход предмета	
РАЗУМЕВАЊЕ ПРИМЕНЕ И АРХИТЕКТУРЕ МИКРОПРОЦЕСОРСКИХ МЕРНО-ИНФОРМАЦИОНИХ СИСТЕМА; СПОСОБНОСТ РАДА У ИНТЕРДИСЦИПЛИНАРНИМ ТИМОВИМА НА РАЗУМЕВАЊУ И РЕШАВАЊУ ПРОБЛЕМА ВЕЗАНИХ ЗА ПРИМЕНУ МИКРОПРОЦЕСОРСКИХ МЕРНО-ИНФОРМАЦИОНИХ СИСТЕМА; СПОСОБНОСТ ПРЕТРАЖИВАЊА РЕЛЕВАНТНЕ ЛИТЕРАТУРЕ И ДРУГИХ ОБЛИКА ИНФОРМАЦИЈА ИЗ ОБЛАСТИ МИКРОПРОЦЕСОРСКИХ МЕРНО-ИНФОРМАЦИОНИХ СИСТЕМА И СПОСОБНОСТ ПРЕЗЕНТАЦИЈЕ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА; ДОБРО ПОЗНАВАЊЕ И РАЗУМЕВАЊЕ МОДУЛА МИКРОПРОЦЕСОРСКИХ МЕРНО-ИНФОРМАЦИОНИХ СИСТЕМА;	
Садржај предмета	
Појам мерно-информационих система. Увод у аквизицију података. Архитектура микропроцесорских мерно-информационих система (претварачи аналогних сигнала, кондиционери аналогних сигнала, модули за А/Д и Д/А конверзију, микропроцесори, микроконтролери, DSP, програмабилни логички елементи,...). Рачунарски и ембедед мерно-аквизициони системи. Примена персоналних рачунара, микроконтролера и ембедед процесора. Врсте и архитектура микроконтролера и ембедед процесора. Стандардни хардверски интерфејси и протоколи у мерно-аквизиционим системима (серијски, паралелни, IEEE 488, USB, етхернет LAN, бежични). Plugin картице за аквизицију података. Обрада и анализа података у мерно-аквизиционим системима. Складиштење података и технике компресије. Преглед комерцијалних производа за аквизицију података. Развојни системи и алати. Увод у развој фирмвера и софтвера микропроцесорских мерно-аквизиционих система. Увод у виртуелну мерно-аквизициону инструментацију. Увод у дистрибуиране мерно-аквизиционе системе. Улога мерења и аквизиције у SCADA системима. Увод у веб базиране мерно-аквизиционе системе. Развој микропроцесорских мерно-аквизиционих система базираних на PIC фамилији микроконтролера.	

Sl. 3. Параметри студијског предмета Микропроцесорски мерно-информациони системи 1 [2].

Студијски програм:	Мерење и регулација
Назив предмета:	17.EEI310 Индустриски системи и протоколи
Наставник/наставници:	Марчетић П. Дарко, Редовни професор
Статус предмета:	Изборни
Број ЕСПБ:	6
Услов:	Нема
Предмети предуслови:	Нема
Циљ предмета	
УПОЗНАВАЊЕ СТУДЕНАТА СА ПРОГРАМАБИЛНИМ ЛОГИЧКИМ КОНТРОЛЕРИМА (ПЛЦ) И СА ЊИХОВОМ ОСНОВНОМ ПРИМЕНОМ У ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦИ. УПОЗНАВАЊЕ СТУДЕНАТА СА ОСНОВНИМ ПРИНЦИПИМА ЛОКАЛНОГ УПРАВЉАЊА СА ПЛЦ У ИНДУСТРИЈСКОМ ОКРУЖЕЊУ. УПОЗНАВАЊЕ СТУДЕНАТА СА ОСНОВНИМ ПРИНЦИПИМА ДИСТИБУИРАНОГ УПРАВЉАЊА СА ПЛЦ И МОДЕРНИМ ИНФОРМАЦИОНИМ ТЕХНОЛОГИЈА У ИНДУСТРИЈИ И ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦИ.	
Исход предмета	
1) Добро познавање рада елементарног микрорачунара и рада индустриских уређаја и система базираних на микрорачунарима, 2) одлично познавање најчешће коришћених индустриских комуникационих протокола, 3) као и упознавање са основним принципима повезивања уређаја на интернет.	

Sl. 4. Параметри студијског предмета Индустриски системи и протоколи [2].

Студијски програм:	Мерење и регулација
Назив предмета:	17.AU44 Пројектовање система аутоматског управљања
Наставник/наставници:	Кулић Ј. Филип, Редовни професор
Статус предмета:	Изборни
Број ЕСПБ:	4
Услов:	Нема
Предмети предуслови:	Нема
Циљ предмета	
Овладавање студента основним принципима пројектовања система аутоматског управљања и формирањем пројектне документације у складу са важећим прописима и законском регулативом и основама аутоматског управљања у области енергетике.	
Исход предмета	
Стечена знања могу се користити у решавању конкретних инжењерски проблема, а такође представљају основу даље праћење стручних предмета	
Садржај предмета	
Увод (дефинисање проблема; пројектни задатак; типови пројеката и њихов садржај: студија оправданости, идејни, генерални, главни, изводачки и пројекат изведеног стања; ревизија пројекта; прописи и препоруке за пројектовање). Стандарди (структура и садржај стандарда везаних за израду пројеката и пројектне документације у електротехници, машинству и процесној индустрији, , домаћи и значајнији међународни стандарди: SRPS, ANSI, ISA, ISO, IEEE, IEC, DIN, VDE...). Техничка документација (стандардни граfiчки симболи; ознаке; шеме; дијаграми; табеле). Савремени софтвер за израду техничке документације (E-plan, AUTOCAD, MS Project...). Надзор и извођење. Израда конкретног пројекта везаног за одредену проблематику (процесна индустрија; електро моторни погони; системи дистрибуције воде (топле/хладне), електричне енергије и гаса; транспортни систем...). Мере заштите на раду и техничке мере заштите од електричног удара у индустрији. Актуатори у индустрији, физичке особине и карактеристике окружења. Примена система аутоматског управљања у оквиру моторних погона у индустријским постројењима. Пројектовање савремених управљачких система у индустрији.	

Sl. 5. Параметри студијског предмета Пројектовање система аутоматског управљања [2].Закључак

У оквиру пројекта ELEMEND, развијени су курсеви на Факултету техничких наука, Универзитета у Новом Саду у оквиру студијских програма ОАС Мерење и регулација (eng. Measurement-Information Technologies and Control Engineering), ОАС Енергетика, електроника и телекомуникације (eng. Power, Electronics and Communication Engineering), МАС Мерење и регулација (eng. Measurement-Information Technologies and Control Engineering) и МАС Енергетика, електроника и телекомуникације (eng. Power, Electronics and Communication Engineering). Ови курсеви имају улогу да будући инжењери буду подучени у технологијама паметних мрежа и микро мрежа, у контексту савремених тржишта електричне енергије.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] <https://elemend.ba/>
[2] <http://ftn.uns.ac.rs/1802705465/studijski-programi--akreditacija-2020->

ABSTRACT

Within the ERASMUS+ ELEMEND (Electrical Energy Markets and Engineering Education) project, appropriate study programs and courses were developed. These study programs and courses have the role of educating future engineers in smart grid and micro grid technologies, in the context of the electricity market. This paper provides an overview of the ELEMEND project and examples of accredited study courses within the ELEMEND project.

DEVELOPMENT OF STUDY PROGRAMS AND COURSES WITHIN THE PROJECT ERASMUS+ ELEMEND (ELECTRICAL ENERGY MARKETS AND ENGINEERING EDUCATION)

Platon Sovilj, Đorđe Novaković, Sanja Mandić, Dragan Pejić, Zdravko Gotovac, Nemanja Gazivoda

Privremene intervencije na gradskim trgovima u zimskom periodu i toplotni komfor – Trg u Kragujevcu

Lazar Mandić^{1,2}, Aleksandra Đukić², Jelena Marić²

¹Univerzitet u Beogradu, Arhitektonski fakultet, Beograd, Republika Srbija

²JP Urbanizam - Kragujevac, Kragujevac, Srbija

archlazarmandic@gmail.com, adjukic@afrodita.rcub.bg.ac.rs, jelena.maric1989@yahoo.com

Sažetak— U radu su prikazani rezultati analize ankete posetilaca jednog gradskog trga i mikroklimatskih parametara prikupljenih na terenu tokom dva vremenska perioda u ukupnom trajanju od 15 dana, pre i posle postavljanja privremene intervencije u javnom prostoru u zimskom periodu. Izvršeno je anketiranje 210 korisnika radi ispitivanja subjektivnih stavova, ocena o ličnom toplotnom komforu u otvorenom javnom prostoru pre i posle postavljanja montažnog objekta namenjenog rekreaciji svih starosnih grupa: javnog klizališta sa opremom za korišćenje. Cilj rada je analiza efekata klimatski senzitivnog urbanog dizajna kroz proveru povezanosti pojedinačnih mikroklimatskih parametara (temperature vazduha, brzine vetra, relativne vlažnosti vazduha, vazdušnog pritiska, temperature crnog globus termometra), aktivnosti metabolizma i odevnosti ispitanika. U radu je izvršena provera subjektivne ocene toplotnog komfora i skale toplotnog komfora za PET indeks nakon postavljanja javnog klizališta u otvorenom javnom prostoru. Prikazani su identifikovani subjektivni faktori zagrevanja i hlađenja na trgu, kao i moguća dalja usmeravanja istraživanja u cilju formulisanja odgovarajućeg modela toplotno senzitivnog urbanog (re)dizajna gradskih trgova.

Ključne reči — *toplotni komfor; senzitivni urbani dizajn; gradski trg; Kragujevac;*

I. UVOD

Gradovi su generatori klimatskih promena, ali su i mesto za postizanje najvećih promena za njihovo smanjenje [1]. Javni otvoreni prostori u gradovima i prilagođavanje na klimatske promene, predstavljaju strateško mesto savremenog urbanog dizajna. Odgovarajućim dizajnom javnih prostora utiče se na način njihovog korišćenja, ponašanje i izbor aktivnosti različitih korisnika, uz istovremeno podizanje njihovog kvaliteta u smislu životnosti, komfora i atraktivnosti.

U okviru novog međuvladinog izveštaja za promenu klime, izneta su očekivanja da će se hladni ekstremni vremenski uslovi umanjiti po učestanosti i intenzitetu, ali da će hladno vreme ostati značajna pretnja za gradove, posebno za regione sa blažom klimom, gde će biti većih temperaturnih razlika između „normalnih“ zimskih dana i hladnih ekstrema, a manje kapaciteta za adaptaciju [2].

U prethodnih 50 godina, a naročito u prethodnih 20 godina, sprovedene su brojne studije i objavljeni su brojni naučni radovi o ispitivanju zavisnosti aktivnosti ljudi i toplotnog komfora u otvorenom prostoru u Evropi i u svetu i njihov broj je u porastu, što se može videti iz preglednih radova [3]–[7].

Klimatski senzitivni urbani dizajn (Climate Sensitive Urban Design – CSUD) je urbani dizajn koji ublažava klimatske rizike, umanjuje korišćenje resursa i emisije i produžava period komforog perioda u otvorenom prostoru, predstavlja svestan napor da se kreira prijatan javni otvoreni prostor koristeći dostupne dizajn alate [8]. CSUD podrazumeva intervencije koje se tiču ublažavanja i prilagođavanja na klimatske promene koje su pretežno vezane za tople periode, ali u poslednje vreme povećava se interes i za hladne periode, odnosno istražuju se mogućnosti formiranja prijatnih prostora kroz urbanističke promene i prilagođavanje vremenu za zimske gradove, odnosno za gradove u hladnom zimskom periodu [9].

Organizovanje privremenih klizališta u gradskim centrima u toku zimskog perioda je relativno nov trend u gradovima u Srbiji i nije vezan za posebne politike urbanog dizajna ili urbanih strategija. Klizalište u Kragujevcu, u čijoj je neposrednoj blizini sprovedeno istraživanje, je obezbedila lokalna gradska uprava, a namenjeno je najširoj populaciji, dostupno svim starosnim grupama, finansijski pristupačno sa simboličnom cenom korišćenja. Pozitivna slika o klizanju i klizalištu u gradu, je uneta u jugoslovenski, odnosno lokalni kulturni diskurs, nakon drugog svetskog rata iz američkog uticajnog područja i danas se vezuje za najpoznatije klizalište u Njujorku – Rokfeler plac. Posebnu popularnost klizanje na ledu je steklo nakon Zimskih olimpijskih igara organizovanih u Sarajevu 1984. godine. Klizališta se takođe vezuju za romantizovan narativ detinjstva i igre u dvorištu kuće, ili zajedničkog prostora za igru oko zgrade. Danas klizanje na ledu ima i statusni simbol s obzirom da važi za skup sport i da nije pristupačno svima.

Cilj ovog rada je da odgovori na pitanja: povezanosti privremenih intervencija u javnom otvorenom prostoru u toku zimskog perioda i subjektivne ocene toplotnog osećaja; povezanosti pojedinačnih mikroklimatskih parametara i

subjektivne ocene toplotnog komfora; povezanosti pojedinih aktivnosti u javnom prostoru i subjektivne ocene toplotnog komfora; da proveriti skalu toplotnog komfora za PET indeks uvođenjem subjektivnog faktora - klizališta; i da identifikuje subjektivni faktor rashlađivanja i zagrevanja lokacije..

II. TEORIJSKI OKVIR

A. *Toplotni komfor kao deo kvaliteta dizajna otvorenog javnog gradskog prostora*

Značajan za razumevanje subjektivne ocene kvaliteta javnog prostora je savremeni koncept prostora koji je proširen psihološkom i sociološkom komponentom, definisan kao sistem doživljaja koji uključuje lične, društvene i kulturno značajne aspekte [10]–[13]. Ovako definisani koncept koji se sastoji od tri aspekta: fizičkog (forme i prostora), funkcionalnog (aktivnosti) i psihološkog (emocionalnog i kognitivnog, značenjskog) proširio je dodatno klimatom i memorijom Knez [14], [15].

Značaj dizajna javnih prostora, koji je u skladu sa osnovnim željama čoveka, prepoznao je Jan Gel, u knjizi *Život među zgradama: Korišćenje javnog prostora* [16].

Racionalni i adaptivni pristup u određivanju toplotnog komfora

Toplotni komfor je najčešće definisan prema široko prihvaćenom standardu ISO 7730, kao „stanje uma koje izražava zadovoljstvo toplotnim okruženjem“ SRPS EN ISO 7730: , [17]. Iako navedena definicija naglašava psihološku prirodu termalnog komfora u naučnom i stručnom okviru pretežno se primenjuje racionalni, odnosno kvantitativni pristup u oceni toplotnog komfora.

Parametri koji određuju toplotni komfor su 1. fizički: temperatura vazduha, srednja temperatura zračenja, relativna brzina vazduha i vlažnost vazduha; i 2. lični parametri čoveka: nivo fizičke aktivnosti (metabolizam), oblačenje, starost i pol i masa čoveka. Najčešće korišćeni racionalni indeksi ocene toplotnog komfora su „Fangerovi indeksi“ PMV (Predicted Mean Vote) očekivani stepen izjašnjenja na skali od sedam stepena (+3 vrelo, +2 toplo, +1 mlako, 0 neutralno, -1 malo hladno, -2 hladno, -3 ledeno) i PPD (Predicted Percentage Dissatisfied) pretpostavljeni procenat nezadovoljnih toplotnim komforom; SET (standardna efektivna temperatura / standard effective temperature) - standardna efektivna temperatura [18]–[21] i PET (psihološki ekvivalentna temperatura/ physiologically equivalent temperature) [22], [23].

Danas se u okviru adaptivnog pristupa ocene toplotnog komfora, sve veći značaj pridaje i psihološkim, odnosno kulturološkim i kontekstualnim uticajima [24]–[27] s obzirom da je komfor psihološki koncept, koji ne može biti opisan samo fiziološkim elementima. Korisnici prostora ne sagledavaju kao pasivni prijemnici, već imaju aktivnu ulogu u ulogu u kreiranju sopstvenih toplotnih preferencija [28].

B. *Privremene prostorne intervencije tokom zime i toplotni komfor*

Privremene intervencije u javnim prostorima grada, odnosno gradskim trgovima su uobičajene za određene periode godine u urbanom životu grada (prodaja na trgu – pokretna, mobilna pijaca, održavanje koncerta, i rekreativnih aktivnosti – zajednička vežbanja, plesne igre, klizanje na ledu i sl. aktivnosti). Ove intervencije po pravilu uvek dovode do znatno većeg korišćenja javnog prostora, poboljšavaju lokalnu ekonomiju i učvršćuju osećaj zajedništva. Jan Gel prepoznaje značaj funkcionisanja javnih prostora tokom cele zime i povezuje ga sa aktivnostima komercijalnog sektora i održive ekonomije, uz opasku da takvi aranžmani podrazumevaju dodatnu zaštitu od klimatskih prilika [16].

Male privremene intervencije su one kojima se redizajnira javni prostor, kojima se menja svakodnevnica grada i jača lokalna zajednica, a koji su mali u smislu budžeta, veličine i vremena potrebnog da se efikasno transformišu u okviru ograničenih resursa [29], [30].

Kako bi odgovorilo na hladni toplotni stres u javnom prostoru, za gradove sa hladnom klimom razvijene su dve strategije: fokusiranje na rešavanje problema hladnoće, i fokusiranje na borbu sa emocijama. Prva strategija se odnosi na razvoj što veće zaštite korišćenjem tehnologije za kreiranje veštačkog povoljnog okruženja – zagrevanjem, veštačkim nadstrešnicama, platnenim zastorima, staklenim panelima i drugim zaštitama. Druga je da se ljudi ne štite od prirode, već da se omogući da se spoje sa prirodom i na što pozitivniji način, u društvu, da dožive zimsku idilu. Postoji i treća opcija, a to je da se omogući optimalni balans između zaštite od najlošijih vremenskih uslova uz izlaganje benefitima zimskih doživljaja [31].

Brojna istraživanja otvorenih javnih prostora kako hladnih, tako i toplih klimatskih regiona, sa velikom sigurnošću ukazuju na značaj umanjenja kvaliteta života u gradu tokom ekstremnih toplotnih događaja, uključujući pre svega umanjenje ličnog toplotnog komfora u spoljnim uslovima koji dovode do povećane anksioznosti, depresije umanjene fizičke aktivnosti, društvenih interakcija, radne sposobnosti, turizma i rekreacije. Pojedini istraživači su primetili da ukoliko su prostori dovoljno interesantni i nude različite vrste stimulacija, da će ljudi imati veću toleranciju na ekstremne uslove pod uslovom da nisu suviše opasni, nego što bi bili pod običnim uslovima [26].

III. METODOLOGIJA I MATERIJAL

U radu se ispituje efekat privremeno postavljenog klizališta dimenzija 17,0 x 12,0 m na javnoj površini – Trgu svetog Đorđa u Kragujevcu, na subjektivni doživljaj toplotnog komfora. Klizalište je postavljeno u okviru novogodišnjeg programa u organizaciji grada Kragujevca pod nazivom „Korzo na ledu“, od 31. januara 2023. godine do 16. februara

2023. godine. Klizalište je bilo otvoreno tokom za posetioce tokom svakog dana najčešće u dva termina od 10 – 14 h i od 17 – 22 h, osim u periodu kada vremenski uslovi to nisu dozvoljavali zbog jakog sunca, odnosno temperature vazduha iznad 15°C, usled čega se topila ledena ploča klizališta, ili usled lošeg vremena - kiše. Maksimalni broj jednovremenih korisnika klizališta je 80 klizača.

A. Prikaz upitnika

Podaci o subjektivnoj oceni mikroklimatskih uslova su obezbeđeni iz ankete posetilaca prostora, uz istovremeno merenje mikroklimatskih uslova na trgu pokretnom meteorološkom stanicom i datalogerima istovremeno dok je vršeno anketiranje koje je trajalo 5 - 10 min po anketi. Anketa je vršena u dva perioda u ukupnom trajanju od 14 dana: 1) pre postavljanja klizališta – prvi period: 17. decembar 2022 – 23. decembar 2022.god, 2) nakon postavljanja klizališta - drugi period 21. januara 2023 - 27. januara 2023, u okviru različitih vremenskih uslova u periodu od 10 00 do 17 00 h. Tokom oba perioda ispitivanja temperatura vazduha je bila pretežno ispod 10°C i bez padavina.

Anketa se sastojala iz tri dela: prvi deo se odnosi na lične karakteristike ispitanika (pol, starost, dužina života povedenog u Kragujevcu, aktivnost pre intervjuja, odevenost). Drugi deo se odnosio na subjektivnu ocenu vremenskih uslova (ocena temperature vazduha, vetra, sjaj sunca i nivo oblačnosti) i dodatne subjektivne ocene koje su u vezi sa toplotnim komforom (osećaj promrzlina, željena temperatura, osećaj komfora, zdravstveno stanje). Treći deo upitnika se odnosio na subjektivnu ocenu dizajna javnog prostora (dizajn pre intervencije, dizajn posle intervencije, zaštita od vetra, zaštita od kiše i snega, zaštita od sunca i nivo ozelenjenosti lokacije) u okviru ovog dela našla su se i pitanja vezana za osnovni razlog dolaska i učestanost dolaska na lokaciju. Poslednji deo odnosio se na identifikovanje osnovnog subjektivnog faktora hlađenja odnosno zagrevanja lokacije.

Pitanja su postavljena u vidu upitnika sa ponuđenim skalabilnim odgovorima, najčešće sa pet stepena intenziteta, osim za ocenu toplotnog komfora za koji je korišćena skala sa devet stepeni koju su u svojim istraživanjima primenjivali Knez i Torsonova [27].

Za svaki pojedinačni upitnik, odnosno za svakog ispitanika, beleženo je vreme sprovođenja ankete, dok su parametri temperature vazduha, relativne vlažnosti vazduha, brzina vetra i temperatura globus termometra, utvrđivani naknadno, uparivanjem sa automatskim zapisima meteoroloških instrumenata.

Parametari PET i srednja radijantna temperatura (MRT) određivani su posebno, kroz proračun, korišćenjem softvera RayMan 1.2 [32]–[34]. Srednja radijantna temperatura je parametar indikacije kompleksnog fenomena radijacije urbanog okruženja, uz uvažavanje karakteristika okruženja, izgrađenosti, nivoa zračenja sunca, oblačnosti, karakteristika

ispitanika (starost, fizička konstitucija, nivo metabolizma i odevenost) [35].

Ukupni broj ispitanika koji je učestvovao u anketi bio je 210 i to 103 pre postavljanja klizališta i 107 nakon postavljanja klizališta. Procenat ispitanika prema polu je bio skoro izjednačen i to 55,2 % muških i 44,8 % ženskih ispitanika. Najveći broj ispitanika bio je starosti od 15 do 18 godina 27,6 %, nakon čega slede ispitanici starosti od 18 do 35 godina 24,8 %, zatim oni starosti do 15 godina 23,3 %, starosti od 35 do 65 godina 14,3 % i oni starosti preko 65 godina sa 10,0 %. Prema aktivnosti obavljanoj neposredno pre ankete, najviše ispitanika se izjasnilo da je bilo u šetnji i to 35,5 %, u kupovini u zatvorenom prostoru 20,0 %, sedenje u zatvorenom prostoru 14,8 %, sedenje u otvorenom prostoru 9,0 %, klizanje 8,1 % i druga aktivnost 3,8 %.

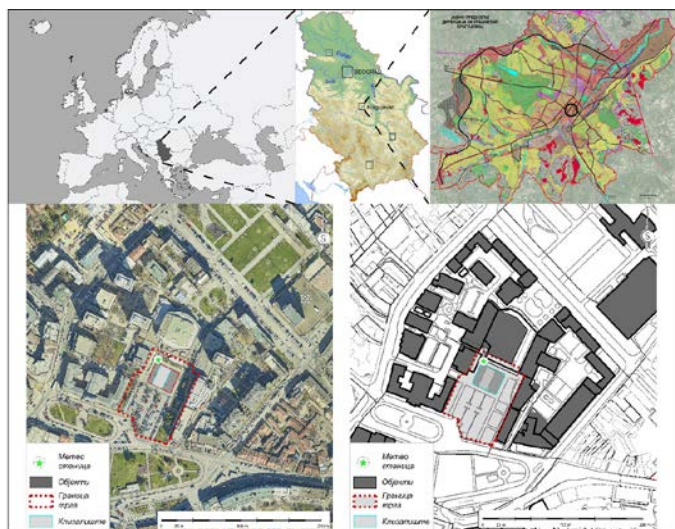
TABELA I. KARAKTERISTIKE UPITNIKA

		pre postavljanja klizališta	posle postavljanja klizališta	Ukupno	
		N=103	N=107	N=210	N=210
Pol	muški	26,7%	28,8%	55,2%	116
	ženski	22,4%	22,4%	44,8%	94
Starosna grupa	do 15 godina	10,0%	13,3%	23,3%	49
	15-18 godina	15,2%	12,4%	27,6%	58
	18-35 godina	13,8%	11,0%	24,8%	52
	35-65 godina	5,7%	8,6%	14,3%	30
	preko 65 godina	4,3%	5,7%	10,0%	21
Aktivnost	sedenje u zatvorenom prostoru	7,1%	7,8%	14,8%	31
	kupovina u zatvorenom prostoru	11,0%	9,0%	20,0%	42
	šetnja u otvorenom prostoru	5,7%	3,3%	9,0%	19
	šetnja u otvorenom prostoru	8,1%	5,7%	13,8%	29
	klizanje	16,2%	14,3%	30,5%	64
	klizanje	0,0%	8,1%	8,1%	17
	druga aktivnost	1,0%	2,8%	3,8%	8

B. Lokacija istraživanja

Za područje istraživanja „Sl. 1“, određen je Trg svetog Đorđa u gradu Kragujevcu u Srbiji (44° N, 20° E, 173 m mnv). Lokacija je izabrana s obzirom da je Kragujevac tipski grad srednje veličine, četvrti grad po veličini u Srbiji sa 171 628 stanovnika RZS, [36], oko 120 km udaljen od Beograda, politički, kulturni, obrazovni, naučni, zdravstveni, privredni i ekonomski centar Šumadijskog upravnog okruga kog čine 7 jedinica lokalne samouprave. Trg je lociran u samom centru grada, formiran kao deo veće urbanističke celine „Prodor“, koja je koncipirana nakon drugog svetskog rata na principima moderne, kroz proces radikalne urbanističke rekonstrukcije [37], [38]. Trg je okružen zgradama sa tri strane visine od P+2 do P+6, dok je sa četvrte strane oivičen saobraćajnicom. Dimenzije trga su približno 60 h 80 m. U postojećem stanju trg se sastoji od popločanih pešačkih staza širine oko 5 m koji se pružaju pravcem sever – jug, travnatom zelenom površinom u središtu trga i površinom za automobilski parking. Materijalizacija pešačkih staza je delom od behaton i delom od granitnih ploča, dok je automobilski parking izrađen od asfalta. U zoni parkinga postoje stabla visokog drveća kao i u delu trga uz objekte. Objekti koji okružuju trg su različitih pretežnih namena: administracija – reprezentativni zgrada u

kojoj je bio smešten osnovni i okružni sud, trgovina – objekat robne kuće Beograd, ugostiteljstvo – pekara „Vega“, poslovanje – kancelarijski prostori i višeporodične stambene zgrade.



Sl. 1. Lokacija istraživanja Trg svetog Đorđa u Kragujevcu

C. Klimatske karakteristike Kragujevca

Kragujevac se nalazi u zoni umereno kontinentalne klime, bez sušnog perioda i toplim letima (Dfb), sa tendencijom prelaska u zonu umereno suprotropske klime, bez sušnog perioda i toplim letima (Cfb), što je u zavisnosti od posmatranih perioda, a i s obzirom na efekte promene klime i globalnog zagrevanja [39], [40].

Klimatske karakteristike za grad Kragujevac RHMZ, [41] za standardni klimatološki period 1981-2012 su određene na osnovu merenja u klimatološkim terminima u 7, 14 i 21 h, na meteorološkoj stanici Kragujevac. Najviša vrednost srednje maksimalne temperature je u avgustu i iznosi 28,8°C, dok je najniža vrednost srednje minimalne temperature u januaru i iznosi -2,6°C. Prosečna godišnja temperatura (normalna vrednost) za posmatrani period iznosi 11,6°C. Najhladniji mesec je januar sa srednjom temperaturom vazduha (normalna vrednost) od 0,9°C, a najtopliji mesec je jul sa srednjom temperaturom vazduha od 21,9°C. Prosečna godišnja vrednost relativne vlažnosti vazduha iznosi 72 %. Prosečno isijavanje sunca je 2062,9 časova. Srednja vrednost godišnjih ledenih dana iznosi 15,0, dok srednja vrednost broja mraznih dana iznosi 80,1. Najučestaliji vetar je severozapadni 92 %, srednje brzine 2,8 m/s. Za mesece koji su obuhvaćeni istraživanjem: Za mesec decembar srednja maksimalna temperatura je 6,2°C, a srednja minimalna -1,1°C, prosečna vrednost relativne vlažnosti 81 %. Za mesec januar srednja maksimalna temperatura je 5,2°C, dok je srednja minimalna -2,6°C, prosečna vrednost relativne vlažnosti 79 %.

D. Način sprovođenja mikrometeoroloških merenja i karakteristike mernih instrumenata

Vremenski podaci su prikupljeni korišćenjem mobilne meteorološke stanice Conrad WH2080 i kontrolnog data logera Dostman Log 220 sa frekvencijom automatskog zapisa od 5 min. Za temperaturu crnog globus termometra korišćen je LogTag TREX-8 Data Logger Recorder sa eksternom sondom ST-10S-30, na koju je nadograđena ofarbana crna kugla – teniska loptica ofarbana u mat crnu boju. Navedeni instrumenti u najvećoj meri zadovoljavaju standard SRPS EN ISO 7726:2008 Ergonomija toplotne sredine - Instrumenti za merenje fizičkih količina [42]. Parametri su mereni na 1,2 m prilagođena prema centru gravitacije odraslog čoveka [22].

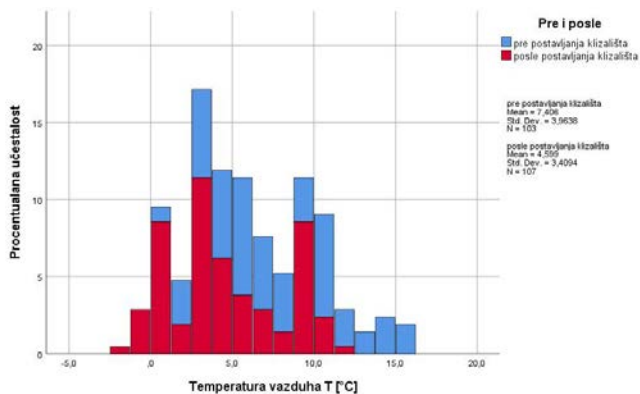
TABELA II. KARAKTERISTIKE KORIŠĆENIH MERNIH INSTRUMENATA

Instrument	Parametar	Tačnost	Rezolucija	Jedinica
Conrad WH2080	Temperatura vazduha	+/- 1	0,1	T _a [°C]
	Relativna vlažnost vazduha	+ / - 5 %	1	rH [%]
	Brzina vetra	+ / - 1	0,1	v [m/s]
	Vazdušni pritisak	+ / - 1,5	0,1	hPa
Dostman Log 220	Temperatura vazduha	+/- 0,5	0,1	°C
	Relativna vlažnost vazduha	+ / - 3 %	0,1	rH [%]
	Vazdušni pritisak	+ / - 1	0,1	hPa
LogTag TREX-8 Data Logger + LogTag ST-10S-30 sa crnom kuglom	Temperatura crnog globus termometra	N/A	0,1	T _g [°C]

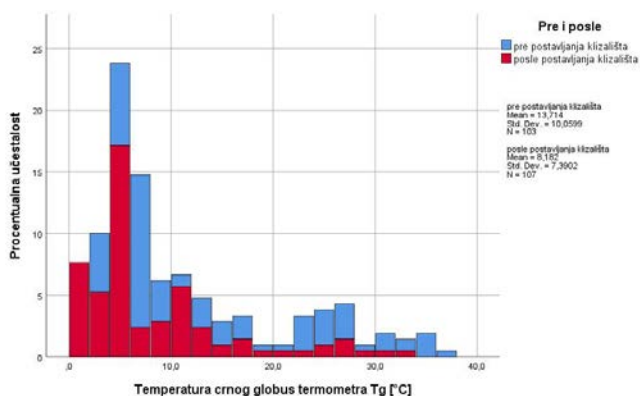
IV. REZULTATI MERENJA I ANKETE

Najveći broj intervjuua pre i posle postavljanja klizališta na trgu, je sproveden u rasponu temperatura od 0-10 °C „Sl. 2“, najčešća temperatura crnog termometra bila je oko 4-6 °C, a najviše izmerene i temperature bile su do 38 °C „Sl. 3“. Za oko 40 % uzoraka brzina vetra bila je nula odnosno - bez vetra, a relativna vlažnost vazduha se kretala u rasponu od 48 – 92 % što je vidljivo na „Sl.4“.

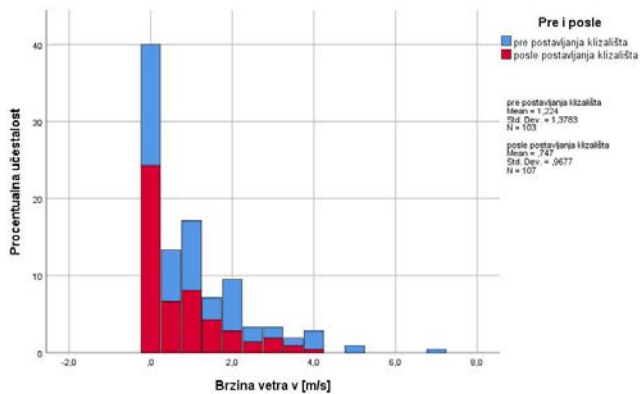
Iako su posmatrani periodi bili relativno slični, prema odgovorima ispitanika, kod ocene trenutnog subjektivnog toplotnog komfora uočeno je da se nakon postavljanja klizališta značajno više anketiranih – oko 25 % izjasnilo za blago hladno, dok je uočljivo da pre postavljanja klizališta ocena ledeno se takođe izdvaja u odnosu na set podataka prikupljenih nakon postavljanja klizališta. U oba slučaja uočeno je da su ženski ispitanici imali više odgovora ocenjenih nižim ocenama toplotnog komfora od muških „Sl. 5“. Takođe kod muških ispitanika pojavljuje se i jedan broj odgovora sa ocenama blago toplo što ukazuje na veću toleranciju muških ispitanika na hladne uslove okruženja.



Sl. 2. Odnos procentualne učestalosti i temperature vazduha pre i posle postavljanja klizališta



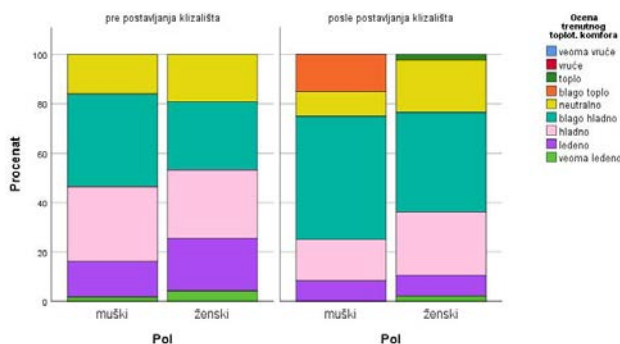
Sl. 3. Odnos procentualne učestalosti temperature crnog globus termometra pre i posle postavljanja klizališta



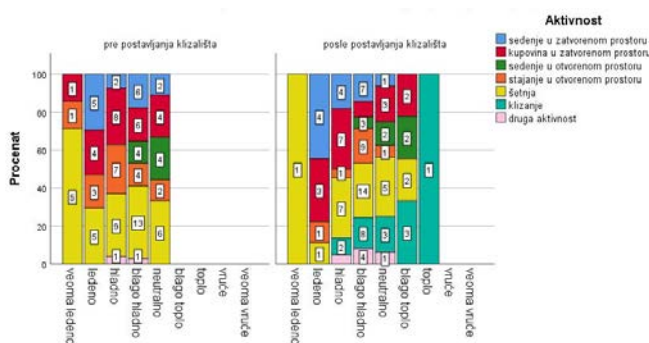
Sl. 4. Odnos procentualne učestalosti brzine vetra pre i posle postavljanja klizališta

Odnos raspodele ocena toplotnog komfora i pojedinačnih aktivnosti ispitanika pre i posle postavljanja klizališta govori o značaju ličnog metabolizma i boravka u zatvorenom ili otvorenom prostoru neposredno pre ankete. Uočljivo je da su ocenom toplo, blago toplo i neutralno označavali svoj subjektivni toplotni osećaj oni ispitanici koji su obavljali intenzivniju fizičku aktivnost (šetnja, klizanje i sl.) dok su se za hladnije ocene opredeljivali oni koji su pre ankete boravili u zatvorenom prostoru (kupovina u zatvorenom prostoru i

sedenje u zatvorenom prostoru). Takođe za toplotno pozitivne ocene izjasnili su se i oni koji su pre ankete sedeli u otvorenom prostoru, najčešće na suncu. Oni koji su stajali u otvorenom prostoru pre postavljanja klizališta pretežno su odgovarali ocenama hladno i ledeno, dok nakon postavljanja klizališta, pretežno su ocenjivali toplotni osećaj blago hladno.

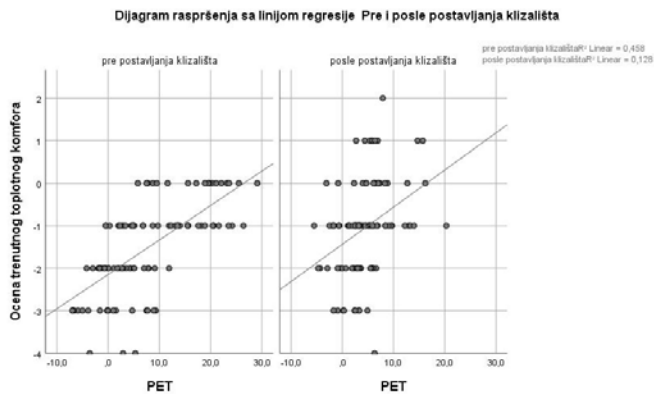


Sl. 5. Odnos procenta Ocene trenutnog toplotnog komfora i pola pre i posle postavljanja klizališta

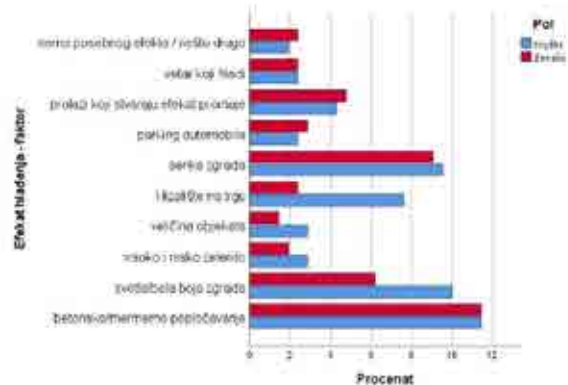


Sl. 6. Odnos procenta Ocene trenutnog toplotnog komfora i pola ispitanika pre i posle postavljanja klizališta

Da bi istražili da li postoji i kakav je uticaj postavljanja klizališta na trgu, urađen je dijagram raspršenja koji prikazuje odnos ocene trenutnog subjektivnog toplotnog komfora i PET indeksa, uz prikaz regresione linije. Za period pre postavljanja klizališta koeficijent determinacije je $R^2=0,458$ dok je nakon postavljanja klizališta $R^2=0,128$. Ova razlika ukazuje na to da pre postavljanja klizališta model psihološki ekvivalentne temperature funkcioniše odnosno postoji značajna relacija, dok uvođenjem klizališta, kao novog subjektivnog faktora, ovaj model prestaje da funkcioniše sa jakom relacijom i daje slabije predikcije. Iz grafikona se vidi da su ocene koje odstupaju od PET modela, u zoni viših ocena. Ovo se može tumačiti time da je jedan broj ispitanika pod uticajem klizališta promenio svoje ocene subjektivnog toplotnog komfora čime je narušen osnovni model.

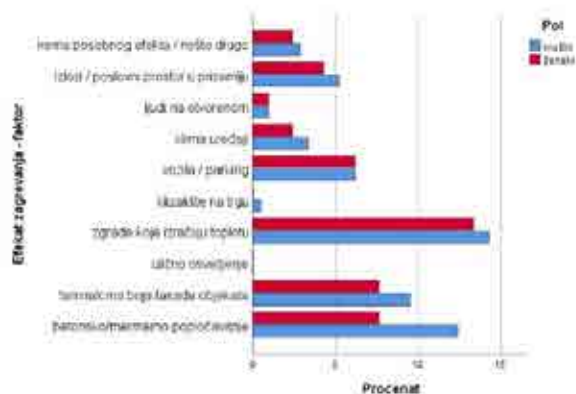


Sl. 7. Dijagram raspršenja sa linijom regresije Ocena trenutnog toplotnog komfora i PET indeksa pre i posle postavljanja klizališta

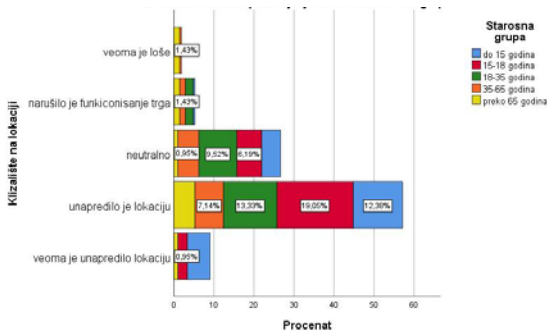


Sl. 9. efekat hlađenja-faktor - procenat prvog izbora

Dodatno je izvršena analiza odnosa ocene efekta postavljanja klizališta i starosne grupe ispitanika. Većina ispitanika (preko 55 %) se izjasnilo da je klizalište unapredilo lokaciju trga. Prema starosnoj strukturi to su najmlađi do 15 godina - 12 %, od 15 do 18 godina - 19%, od 18 do 35 godina - 13,5%. Sledeći najčešći odgovor na pitanje o oceni postavljanja klizališta je bio neutralan – oko 25 %, dok su ostali odgovori bili zastupljeni za manje od 10 %.



Sl. 10. efekat zagrevanja-faktor - procenat prvog izbora



Sl. 8. Odnos ocene efekta postavljanja klizališta na trgu i starosne grupe ispitanika

Od ispitanika je kroz jedno od pitanja traženo da identifikuju osnovni faktor rashlađivanja i zagrevanja lokacije, kroz izbor tri ponuđena odgovora uz mogućnost dopisivanja. Pokazalo se na osnovu odgovora „Sl. 9“ i „Sl. 10“ da nije moguće izdvojiti jedan određeni faktor zagrevanja ili hlađenja na lokaciji koji je ključan. Najveći broj ispitanika je kao prvi faktor zagrevanja lokacije identifikovao zgrade koje izračuju toplotu, betonsko/mermerno popločavanje i tamna/crna boja fasade objekata. Ostali ispitanici su kao faktore zagrevanja identifikovali izloge i poslovni prostor u prizemlju zgrada, klima uređaje i ljude u otvorenom prostoru.

Za prvi faktor hlađenja lokacije najčešći izbor je bio betonsko/mermerno popločavanje, svetla boja zgrada i senka zgrada. Takođe jedan broj ispitanika identifikovao je i klizalište na trgu, vetar koji hladi, veličina objekta i visoko i nisko zelenilo kao faktor hlađenja lokacije.

V. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Ova studija je obuhvatila studiju jednog slučaja toplotno senzitivnog urbanog dizajna sprovedenu u Kragujevcu u toku 14 zimskih dana, pre i posle postavljanja klizališta. Statistička analiza je pokazala odstupanja stvarnih ocena subjektivno toplotnog komfora od očekivanih rezultata toplotnih indeksa određenih softverskim alatima u smeru povišenja toplotnih ocena u slučaju sa privremenim klizalištem na ledu. Privremene intervencije na gradskim trgovima u zimskom periodu mogu da imaju značajne efekte na povećanje životnosti u gradovima uticanjem na dužinu vremena provedenu u javnom prostoru, a samim tim stvaranjem povoljnijih uslova za razvoj gradske ekonomije i energetskih ušteda. Postavljanje klizališta u otvorenom javnom prostoru, gradskom trgu, doprinosi povećanju tolerantnosti pešaka na niske temperature, kao i subjektivnom tendencijom toplijeg doživljaja otvorenih prostora tokom zime, posebno kod mladih. Utvrđeno je da model PET indeksa slabi u uvođenjem novog subjektivnog faktora – klizališta, koji pozitivno utiče na subjektivni osećaj toplote u zimskom periodu. U narednom periodu potrebno je dodatno istražiti za koje starosne grupe i u kojoj meri važi ova subjektivna zavisnost. Takođe potrebno je identifikovati i istražiti druge privremene intervencije na gradskim trgovima i drugim javnim prostorima koje mogu da budu deo šire strategije urbanog dizajna u toku zimskog

perioda kojom se može uticati na način života i podizanje kvaliteta života u gradovima u Srbiji.

Ograničenja ovog istraživanja ogledaju se u relativno malom uzorku ispitanika, s obzirom na veliki broj faktora i mogućih uticaja na subjektivni doživljaj toplotnog komfora. Takođe vremenski uslovi nisu omogućavali proveru u okviru temperatura koje su niže od $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$, kao i kratki vremenski intervali većih brzina vetra, koji nije dovoljno ispitan u ovoj studiji. Ovaj rad predstavlja deo obimnijeg istraživanja koje se sprovodi na gradskim trgovima u Srbiji, radi formulisanja odgovarajućeg modela toplotno senzitivnog urbanog (re) dizajna gradskih trgova.

LITERATURA

- [1] IPCC, Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland: IPCC, 2014.
- [2] IPCC et al., "IPCC AR6 WGII Chapter 6 – Cities, Settlements and Key Infrastructure," 2022, pp. 907–1040. doi: 10.1017/9781009325844.008.
- [3] Humphreys, "Field studies of thermal comfort compared and applied," *Applied Ergonomics*, vol. 7, no. 4, p. 230, Dec. 1976, doi: 10.1016/0003-6870(76)90104-6.
- [4] L. Chen and E. Ng, "Outdoor thermal comfort and outdoor activities: A review of research in the past decade," *Cities*, vol. 29, no. 2, pp. 118–125, Apr. 2012, doi: 10.1016/j.cities.2011.08.006.
- [5] J. Dunjić, "Outdoor thermal comfort research in urban areas of Central and Southeast Europe: A review," 1, vol. 23, no. 4, Art. no. 4, Dec. 2019, doi: 10.5937/gp23-24458.
- [6] D. Lai et al., "A comprehensive review of thermal comfort studies in urban open spaces," *Sci. Total Environ.*, vol. 742, p. 140092, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140092.
- [7] M. H. Elnabawi and N. Hamza, "Behavioural perspectives of outdoor thermal comfort in urban areas: a critical review," *Atmosphere*, vol. 11, no. 1, p. 51, 2020.
- [8] T. R. Oke, G. Mills, A. Christen, and J. A. Voogt, *Urban climates*. Cambridge University Press, 2017.
- [9] D. Chapman, K. Nilsson, A. Rizzo, and A. Larsson, "Updating winter: The importance of climate-sensitive urban design for winter settlements," *Arctic yearbook*, 2018.
- [10] D. Canter, *The psychology of place*. London: Architectural Press, 1977.
- [11] E. Relph, *Place and placelessness*, vol. 67. Pion London, 1976.
- [12] D. Canter and K. Craik, "Environmental psychology," *Journal of Environmental Psychology*, vol. 1, no. 1, Art. no. 1, 1981.
- [13] D. Canter, "The Facets of Place," in *Toward the Integration of Theory, Methods, Research, and Utilization*, G. T. Moore and R. W. Marans, Eds. Boston, MA: Springer US, 1997, pp. 109–147. doi: 10.1007/978-1-4757-4425-5_4.
- [14] I. Knez, "Climate: A nested physical structure in places," in *The 5th international conference on urban climate (ICUC-5)*, Lodz, Poland, 2003.
- [15] I. Knez, "Attachment and identity as related to a place and its perceived climate," *J. Environ. Psychol.*, vol. 25, no. 2, pp. 207–218, Jun. 2005, doi: 10.1016/j.jenvp.2005.03.003.
- [16] J. Gel, *Život među zgradama: Korišćenje javnog prostora*. Beograd: Urbanistički zavod Beograda, 2010.
- [17] ISO Međunarodna organizacija za standardizaciju, "SRPS EN ISO 7730:2008 Ergonomija toplotne sredine - Analitičko utvrđivanje i interpretacija toplotnih komfora korišćenjem proračuna PMV i PPD pokazatelja i lokalnih kriterijuma komfora (objavljen 9. oktobra 2008. godine)." 2008.
- [18] A. P. Gagge, J. A. J. Stolwijk, and J. D. Hardy, "Comfort and thermal sensations and associated physiological responses at various ambient temperatures," *Environmental Research*, vol. 1, no. 1, pp. 1–20, Jun. 1967, doi: 10.1016/0013-9351(67)90002-3.
- [19] A. P. Gagge, J. A. J. Stolwijk, and Y. Nishi, "An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response," *Memoirs of the Faculty of Engineering, Hokkaido University*, vol. 13, no. Suppl, pp. 21–36, 1971.
- [20] A. P. Gagge, Y. Nishi, and R. R. Gonzalez, "Standard effective temperature," in *CIB Commission W45-Symposium on thermal comfort and moderate heat stress*, 1972.
- [21] R. Gonzalez, Y. Nishi, and P. Gagge, "Experimental evaluation of standard effective temperature a new biometeorological index of man's thermal discomfort," *International journal of biometeorology*, vol. 18, no. 1, pp. 1–15, 1974.
- [22] H. Mayer and P. Höppe, "Thermal comfort of man in different urban environments," *Theoretical and applied climatology*, vol. 38, no. 1, pp. 43–49, 1987.
- [23] P. Höppe, "The physiological equivalent temperature—a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment," *International Journal of Biometeorology*, vol. 43, no. 2, pp. 71–75, 1999.
- [24] M. Humphreys and F. Nicol, "Understanding the adaptive approach to thermal comfort," *ASHRAE Transactions*, vol. 104, pp. 991–1004, Jan. 1998.
- [25] M. Nikolopoulou, N. Baker, and K. Steemers, "Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter," *Solar Energy*, vol. 70, no. 3, pp. 227–235, Jan. 2001, doi: 10.1016/S0038-092X(00)00093-1.
- [26] M. Nikolopoulou and K. Steemers, "Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces," *Energy and Buildings*, vol. 35, no. 1, pp. 95–101, Jan. 2003, doi: 10.1016/S0378-7788(02)00084-1.
- [27] I. Knez and S. Thorsson, "Influences of culture and environmental attitude on thermal, emotional and perceptual evaluations of a public square," *International Journal of Biometeorology*, vol. 50, no. 5, pp. 258–268, 2006, doi: 10.1007/s00484-006-0024-0.
- [28] R. De Dear and G. S. Brager, "Developing an adaptive model of thermal comfort and preference," *ASHRAE Transactions*, vol. 104, pp. 145–167, 1998.
- [29] J. Lerner, *Urban Acupuncture*. Washington, DC: Island Press/Center for Resource Economics, 2014. doi: 10.5822/978-1-61091-584-7.
- [30] J. Stanković, D. Stupar, and I. Karan, "Small interventions: Research method for [small] public spaces redesign," *SAJ-Serbian Architectural Journal*, vol. 13, no. 3, pp. 213–236, 2021.
- [31] S. Li, "Users' behaviour of small urban spaces in winter and marginal seasons," *Architecture and Behaviour*, vol. 10, no. 1, pp. 95–109, 1994.
- [32] A. Matzarakis, F. Rutz, and H. Mayer, "Estimation and calculation of the mean radiant temperature within urban structures," *WCASP-50, WMO/TD*, vol. 1026, pp. 273–278, 2000.
- [33] A. Matzarakis, F. Rutz, and H. Mayer, "Modelling radiation fluxes in simple and complex environments—application of the RayMan model," *International journal of biometeorology*, vol. 51, pp. 323–334, 2007.
- [34] A. Matzarakis, F. Rutz, and H. Mayer, "Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model," *International journal of biometeorology*, vol. 54, pp. 131–139, 2010.
- [35] N. Kántor and J. Unger, "The most problematic variable in the course of human-biometeorological comfort assessment — the mean radiant temperature," *cent.eur.j.geo.*, vol. 3, no. 1, pp. 90–100, Mar. 2011, doi: 10.2478/s13533-011-0010-x.
- [36] Republički zavod za statistiku Republike Srbije, "Saopštenje: Prvi rezultati Popisa stanovništva, domaćinstava i stanova 2022," Dec. 21, 2022. <https://publikacije.stat.gov.rs/G2022/Html/G20221350.html> (accessed Jan. 30, 2023).
- [37] V. Trifunović, *Građenje Kragujevca od 1945. do 1965. godine*. Kragujevac: Udruženje Kragujevac naš grad, Koraci, 2018.
- [38] V. Trifunović and L. Mandić, "Urbanistički pristupi u planiranju i realizaciji prostora – Gradski centar Prodor u Kragujevcu," in *Zbornik radova: I Urbanističko i prostorno planiranje u poslednjoj deceniji, II Upravljanje geoprostornim podacima – Republički geodetski zavod, III*

Izdavanje građevinskih dozvola – E dozvola, IV Sprovođenje novog zakona o stanovanju, Vršac 2017, pp. 36–49.

- [39] B. Milovanović, "Climate regionalization of Serbia according to Köppen climate classification," Zbornik radova Geografskog instituta "Jovan Cvijić" SANU, vol. 67, no. 2, pp. 103–114, 2017.
- [40] J. Mihajlović, "Primena savremenih klasifikacija klimata na klimatsku regionalizaciju Srbije," Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Geografski fakultet, 2018.
- [41] Republički hidrometeorološki zavod, "Hidrometeorološki uslovi u postupku izrade Generalnog urbanističkog plana 'Kragujevac 2030' - Klimatske karakteristike, varijabilnost klime i klimatske promene na teritoriji grada Kragujevca." 2016.
- [42] ISO Međunarodna organizacija za standardizaciju, "SRPS EN ISO 7726:2008 Ergonomija toplotne sredine - Ergonomija toplotne sredine - Instrumenti za merenje fizičkih količina (objavljen 9. oktobra 2008. godine)." 2008.

ABSTRACT

The paper analyzes the interdependence of the subjective evaluation of the thermal sensation based on a survey of

visitors to the city square and microclimate parameters collected on the field during 15 days, before and after the installation of the ice rink. A survey of 210 users was carried out in order to examine subjective attitudes, evaluations of personal thermal comfort in an open public space before and after the installation of a prefabricated object intended for recreation of all age groups: a public ice rink with equipment for use. The identified subjective factors of heating and cooling in the square are shown, as well as possible further direction of the research in order to formulate an appropriate model of heat-sensitive urban (re)design of city squares.

TEMPORARY INTERVENTIONS ON THE CITY SQUARE IN WINTER AND THERMAL COMFORT - SQUARE IN Kragujevac

Lazar Mandić, Aleksandra Đukić, Jelena Marić

Зелена димензија компактног града

Универзитетски град у Бањој Луци

Малина Чворо¹, Уна Окиљ¹, Саша Чворо¹, Зоран Уљаревић¹

¹Универзитет у Бањој Луци, Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет, Бања Лука, Република Српска
malina.cvoro@aggf.unibl.org, una.okilj@aggf.unibl.org, sasa.cvoro@aggf.unibl.org, zoran.uljarevic@aggf.unibl.org

Сажетак— Одговорно и рационално урбанистичко планирање огледа се кроз интегрални и мултидимензионални приступ развоју града. Савремене теорије одрживог и отпорног урбаног планирања подразумевају јасну визију и стратегију развоја града наглашавајући његов идентитет, специфичности и вриједности. Град Бања Лука штити свој задани идентитет зеленог града кроз визију и акционе планове, док се стварно кретање развоја препознаје у правцу компактног града. Рад се бави двијема теоријама, зеленог и компактног града, гдје су обје мотивисане еколошким и енергетским планирањем. Циљ рада је, на примјеру Универзитетског града у Бањој Луци, показати значај зелене димензије компактног града у једној и усвајање принципа компактности у зеленом граду у другој размјери, како би се испитао њихов допринос кроз синергијско дјеловање.

Кључне ријечи—компактни град; зелени град; одрживо планирање; зелено острво;

I. УВОД

Последњих деценија свједочимо све већој потрошњи енергије и процесу преласка на електричне системе, као и све учесталијем заговарању уштеда и борби за смањење штетних утицаја на животну средину. Политички догађаји из 2022. године додатно су појачали енергетску кризу присутну од седамдесетих година XX вијека и натјерали човјечанство да још дубље размисли о начину живота и свакодневним навикама које би довеле до смањене потрошње енергије. Са аспекта урбанистичко-архитектонске струке питање се питање проналаска оптималнијих рјешења и дизајна за нове изазове са којима се суочава читава планета.

Ефикасна урбана форма, као трајно друштвено добро које обликује услове и начин живота његових житеља, представља приоритет планирања и нових стратегија развоја града. Многе урбане политике које се баве питањем форме града еволуирају промовишући одрживост, квалитет живота и зелене просторе. У том погледу компактно планирана урбана форма може бити ефикасан алат за побољшање квалитета ваздуха, смањење саобраћајних гужви (што директно утиче на мањи број незгода, мању употребу енергије и мање загађење животне средине), повећање социјалне интеракције и физичке активности [1]. Компактнија форма града и густина насељености су у директној вези са знатно нижим емисијама NO_x и испарљивих органских једињења (VOC) по глави становника [2], што имплицира да разуђеније форме града имају већу емисију по глави становника од компактнијих форма града.

Кључне идеје еколошке и енергетске одговорности, према Ахерну, које су релевантне за одрживе градове укључују: прилаз на нивоу различитих размјера са препознатљивим обрасцима, процесне односе и повећану физичку и функционалну повезаност у одговарајућим размјерама: метрополитанско подручје или град, дистрикт или сусједство и појединачне површине, простори [3].

Погрешно је мишљење или недовољна информисаност о томе да се контрола кориштења енергије и највеће уштеде могу остварити првенствено приликом пројектовања појединачних грађевина, користећи одговарајуће ЕЕ грађевинске материјале и технолошка рјешења. Доминантно се и истраживања у области енергетске ефикасности дешавају у овом подручју које адекватно прати и законска регулатива. На нивоу урбанистичког планирања, по питању енергије потребно је одговорити, управо бирањем одговарајућег просторног модела града који не подразумева само ширење урбаних простора на нова подручја него и реконструкцију постојећих напуштених индустријских зона, касарни, браунфилд локација и сл. [1].

Према теоријским разматрањима, проблем животне средине глобално лежи у развоју неразвијених земаља и повећању броја градског становништва, односно интезивном развоју урбаних подручја. Осим економске и социјалне димензије града, у савременом планирању важне су и претпоставке које у еколошком смислу чине град прихватљивијим за живот [2].

II. ЗЕЛЕНА ДИМЕНЗИЈА КОМПАКТНОГ ГРАДА

Бања Лука ће бити компактан град са одрживим и ефикасним системом кориштења земљишта и повезаном мрежом зелених површина како би задржала свој статус „града зеленила“ [4]

Прошло је 50 година од како су Дантзиг и Сати увели термин „компактног“ града са јасно дефинисаним параметрима и организацијом, који и са данашњег гледишта можемо назвати утопијском замисли [1]. Такав град као строго дефинисана цијелина није се још појавио, али његове принципе можемо препознати у градовима: Урбана форма са јасним границама и густом концентрацијом становништва мање зависних од аутомобилског превоза; Просторна разноврсност са мјешовитим функцијама; Социјална једнакост и самоодрживост [5]. Такав концепт планирања и пројектовања у урбанизму заснован је на ефикасном систему јавног превоза, промоцији пјешачења и

бициклизма у циљу смањења потрошње енергије и загађења. Урбане форме треба да буду кохерентне са економијом, док витално друштво које је инклузивно, праведно и здраво, треба да има висок квалитет живота и животне средине. Урбана форма као физички облик и образац коришћења земљишта градова и насеља има различите атрибуте: локална приступачност, равнотежа између радних мјеста и становања, регионалну повезаност, уличну мрежу и компатибилност програма приликом коришћења земљишта [1].

Истраживањем развоја урбаних подручја могуће је испитати међузависност модела развоја и њиховог утицаја на потрошњу енергије. Емпиријско истраживање о компактном граду важно је за тумачење идеје о компактном граду као граду будућности и релевантан је за урбану форму Бања Луке. Повећање густине постојеће изграђене структуре, доприноси смањењу енергије потрошене у саобраћају потребном за функционисање нових дијелова града. У том смислу, важан је и добро организован јавни превоз, те алтернативни видови саобраћаја. Поступком повећања изграђености смањује се и укупна потреба за енергијом у граду путем избора типа грађевина, јер је потрошња енергије у кориштењу стамбене јединице у вишестамбеној згради знатно мања од стамбених јединица у слободностојећим породичним кућама). У процесу планирања изразито су важни елементи лоцирања насеља и грађевина (конфигурација терена, нагиб терена, расположива инфраструктура,...) као и микроклима (брзина и смјер вјетрова, осунчање, загађеност ваздуха) и зелене структуре приказане на „Сл. 1.“, јер су у директној или индиректној вези са потрошњом енергије. Постоји потреба за даљим истраживањима у подручју планирања која би била усмјерена према рационалном кориштењу не само простора, што је један од примарних циљева, већ и према планирању које ће управо кроз управљање простором омогућити рационално кориштење енергије, те у складу с тим дјеловати по принципима одрживог планирања градова.

Иако је компактни град концептуално позициониран унутар дебате о одрживој урбаној форми, постоји потреба да се интегришу дискурси климатских промјена у свјетлу важног доприноса који може дати адаптација зграда [6]. Ово је шире контекстуално питање које би требало да утиче на сав урбани развој и на становнике широм свијета, али је, нажалост, предмет политичког контекста који може или не мора спомињати (или признавати) климатске промјене. Ово је дебата у коју се сада треба укључити не само због све већег обима ефеката климатских промјена које доживљава свијет, углавном земље у развоју, већ зато што постоји потреба да се разумију начини на који се потенцијални концептуални сукоби могу рјешити [6]. Да би се ово постигло, потребан је нови фокус политике на више нивоа (регионалне, градске, локалне) на којима је неопходно одговорити на практичне изазове ублажавања климатских промјена и прилагођавања.



Сл. 1. Изграђеност и зеленило Бања Луке (прилог аутора)

Компактни град као концепт урбаног планирања и урбаног дизајна, у оквиру којег се преферира релативно велика густина стамбених објеката, помијешаних са другим урбаним функцијама, принцип је по којем се Бања Лука развија у својој пост-социјалистичкој и транзицијској историји, од 90-тих година до данас. У компактним градовима се промовише пјешачење, возња бицикла и масовно кориштење јавног градског превоза, са циљем смањења загађења ваздуха и ефикаснијег кориштења енергије. Као још један од бенефита компактног град често се истиче и већа могућност социјалне интеракције, обзиром на концентрацију великог броја становника на релативно малом простору. Бројна истраживања о ефикасности овог типа урбанизације су спроведена на примјеру градова широм свијета, те су дала врло различите резултате. Овај рад се бави анализом Универзитетског града у Бањој Луци као зеленог острва и елемента зелене инфраструктуре у компактном граду.

Урбано топлотно острво је уобичајена појава широм свијета, која описује повишену температуру урбаних средина у поређењу са њиховом околином. Разумијевање ове појаве је од велике важности у дискусији о одрживом урбанистичком планирању. Посебно када знамо да постоји константан пораст температуре посљедњих деценија и топлотни таласи су упорнији и чешћи. Према подацима добијеним од стране Републичког хидрометеоролошког завода 2022. година је била најтоплија година, са средњом измјереном температуром од 13.47 °С. Средња годишња температура од 13°C била је највиша забиљежена од 1863. године, и до 2014. године средња годишња температура није достигла исту вриједност [5]. У „ТАБЕЛИ I. ПОРАСТ ТЕМПЕРАТУРЕ У БАЊА ЛУЦИ У ПЕРИОДУ 1961.-2022. ГОДИНЕ“ представљени су подаци добијени од стране Института за генетичке ресурсе, Универзитета у Бањој Луци, као издвојене вриједности средње годишње температуре за период од 1961 до 2020, односно 2022. године.

ТАБЕЛА I. ПОРАСТ ТЕМПЕРАТУРЕ У БАЊА ЛУЦИ У ПЕРИОДУ 1961.-2022. ГОДИНЕ [5] [7] [8]

	Средња годишња температура	Најнижа годишња T_{cp}	Највиша годишња T_{cp}
1961-1970	10.26	9.72	11.03
1971-1980	10.57	9.88	11.22
1981-1990	10.86	9.71	11.66
1991-2000	11.36	10.28	12.82
2001-2010	11.95	10.71	12.80
2011-2020	12.70	12.16	13.41
2021	13.30		
2022	13.47		

Стратегије компактних градова морају бити дизајниране тако да генеришу значајан синергијски ефекат са најсавременијим стратегијама урбаног развоја, а не као основни нити алтернативни модел. Потребно је планирати добро усклађене урбане функције у одрживом урбаном

облику како би се спријечили потенцијални негативни утицаји политике компактних градова, укључујући саобраћајне гужве, топлотна острва и деградацију градског пејзажа [9].

III. ЗЕЛЕНО ОСТРВО – УНИВЕРЗИТЕТСКИ ГРАД

Да ли је компактни град и зелени град? Потребно је више истраживања о томе како густа урбана насеља укључују зелене отворене просторе. Ови простори можда нису увијек јавно доступни или видљиви. Ако се ради о становању зелени простори могу бити приватни или јавни. Заједнички зелени простори све више преовлађују у стамбеним зонама велике густине због великог удјела станова са ограниченим могућностима кориштења зелене површине унутар блока. Тамо гдје постоје могућности за формирање зелених структура, нпр. у облику зелених кровова и балкона, постоји потреба за емпиријским доказима како би се испитао стварни утицај који они имају не само на хлађење у периоду топлотних таласа, већ и на становнике, на вриједност имовине као и станишта биодиверзитета. Постоји све већи број истраживачких докумената и урбаних политика о концепту „зелене инфраструктуре“ [10]. Пројекти истраживања и развоја зелене инфраструктуре увелико варира од земље до земље. Постоје случајеви гдје такви пројекти представљају преко 51% укупног пакета стимулација у одрживости у Белгији, 18% у Француској и 32% у Кореји. Док су у другим земљама проценти били мањи, али свеједно заједно износе милијарде долара у новим инвестицијама које имају за циљ очување или побољшање квалитета животне средине и смањење потрошње ресурса [11]. Може ли компактни град допринијети повезаној мрежи зелених структура?

Управо се урбане зелене структуре сматрају одговарајућим начином за смањење утицаја урбаних топлотних острва и пружање удобности станарима у близини. Поред хлађења стварног простора, урбане зелене структуре могу да утичу и на околни простор, а овај феномен се назива ефекат хлађења помоћу урбаних зелених острва [12]. Најважнија питања у погледу ефеката хлађења помоћу урбаних зелених површина су густина и интензитет хлађења, што може играти велику улогу за урбане планере у суочавању са урбаним топлотним острвом. Ефекат хлађења великих урбаних паркова је дуго био од великог интереса за урбанисте. Захваљујући великој површини и локацији у срцу града, ови паркови често имају значајан утицај на температуру градских простора. Ефекат хлађења ових паркова зависи од неколико фактора, укључујући величину и облик парка, врсту и количину вегетационог покривача и регионалну климу. Тако зелена острва у граду у облику великих паркова од 20 ха, имају љети од 2°C до 5 °С температуру нижу од измјерене у граду [13]. Према доступним подацима за 2016. и 2022. годину, однос средње годишње температуре у граду Бања Лука и у Универзитетском граду приказан је у „ТАБЕЛИ II. СРЕДЊА ГОДИШЊА ТЕМПЕРАТУРА, T_{cp} У БАЊОЈ ЛУЦИ И УНИВЕРЗИТЕТСКОМ ГРАДУ ЗА 2016. И 2022. ГОДИНУ“.

ТАБЕЛА II. СРЕДЊА ГОДИШЊА ТЕМПЕРАТУРА, T_{cp} У БАЊОЈ ЛУЦИ И УНИВЕРЗИТЕТСКОМ ГРАДУ ЗА 2016. И 2022. ГОДИНУ [5] [8] [14]

	Бања Лука	Универзитетски град	
		T_{cp}	T_{cp} годишња T_{cp} период вегетације
2016	12.42	10.50	16.90
2022	13.47	13.38	17.49

Град Бања Лука је 2020. године усвојио Акциони план за зелени град гдје зелене површине представљају један од приоритетних еколошких изазова и то у два правца: ограничене јавне зелене површине и низак ниво урбанизације (неконтролисано ширење града). Стратешки циљеви који се односе директно на зелене површине у овом документу су у истом смијеру: 1) Смањити неконтролисано ширење града и 2) Повећати обим, квалитет и разноликост зелених површина и друге зелене инфраструктуре. Код неконтролисаног ширења града, када је у питању Бања Лука, имамо примјер дисперзног града, као модела ширења урбаних подручја на најнеповољнији начин у смислу одрживости. Ширење града које подразумијева ниске густине изграђености, има за резултат низ неповољних утицаја на природну средину. То су првенствено велика потрошња енергије те константно ширење и заузимање нових простора (веома често се ради о пољопривредном земљишту). Ширење града у овом случају захтијева већа улагања у пратећу инфраструктуру – саобраћајну и комуналну. Настају велике просторне дистанце које је неопходно савладати како би се задовољиле основне животне потребе осим становања (рад, трговина, образовање, култура...). Занемарујемо чињеницу да је могуће учинити велике уштеде енергије самим процесом просторног и урбанистичког планирања путем усклађивања интереса различитих корисника у простору, а у циљу одрживог развоја. Бања Лука озбиљније процесе просторне трансформације града и процесе урбане обнове запуштених зона започиње почетком 21. вијека. У стратешки посебно привлачним и квалитетним зонама традиционалног градског центра те ширег градског центра (слободне површине, комплекси напуштених фабрика, касарни и сл.), неолиберални капитал види прилику да створи нови урбанистичко-архитектонски ресурс [15].

Комплекс “Универзитетски град” Универзитета у Бањој Луци настао је као аустроугарски војни објекат у току окупације и анексије и од тада до краја двадесетог вијека стално имао војну намјену на укупној површини од 28 хектара [14]. У мају 2012. године, министар за просторно уређење, грађевинарство и екологију Републике Српске, у предмету проглашавања заштићеног подручја, по захтјеву Универзитета у Бањој Луци, а по претходно прибављеном мишљењу Министарства пољопривреде, шумарства и водопривреде и Републичке управе за геодетске и имовинско правне послове, донио је Рјешење којим се комплекс „Универзитетски град“ у Бањој Луци ставља под заштиту као заштићено подручје за управљање ресурсима [7]. Одлуком Скупштине града Бања Лука 2016. проглашава се заштићено подручје са одрживим коришћењем природних ресурса под називом Споменик парковске архитектуре „Универзитетски град“. Због богатства дендрофлоре која је сађена у различитим

периодима и чињенице да је ријека Врбас са природном вегетацијом и фауном птица источна граница комплекса, сигурно је да је то еколошки и пејзажно изузетно вриједан простор у центру Бања Луке. Од настанка, због своје војне намјене, комплекс је био скривен од јавности, тако да се тек по доласку у цивилне руке отворио са свим својим природним и створеним потенцијалом.

Дрвореди и паркови према класификацији у систему зеленила сваког града, па тако и Бање Луке, припадају објектима пејзажне архитектуре јавног кориштења. Међутим, специфичност објекта „Универзитетски град“ је у томе што је функционално заокружен као парк једног универзитетског центра приказан на „Сл. 2.“, гдје поред своје естетске, рекреационе, здравствене и опште оплемењујуће функције има и едукативни, научни и културно-историјски значај. Ботаничка башта Универзитета у Бањој Луци налази се у обухвату заштићеног подручја споменик парковске архитектуре „Универзитетски град“, и заузима површину од 5 хектара [7] [14].

Објекти комплекса некадашње касарне „Врбас“ су једним дијелом реконструисани и прилагођени новој прије свега едукативној намјени и на овај начин је створен универзитетски центар, у коме се данас налазе: Ректорат и административни центар Универзитета; Институт за генетичке ресурсе са ботаничком баштом; Академија наука; Медицински факултет; Факултет политичких наука; Филозофски факултет; Филозофски факултет; Пољопривредни факултет; Факултет физичког васпитања и спорта; Архитектонско – грађевинско - геодетски факултет; Рачунарски центар; Спортска и атлетска дворана; Остали пратећи садржаји и помоћни објекти приказани на „Сл. 2.“. Становање у оквиру предметног обухвата је заступљено у форми објеката типа студентских домова (III и IV павиљон Студентског центра „Никола тесла“), са смјештајним капацитетом од око 780 мјеста [14]. Регулационим планом предвиђена је изградња још једног новог павиљона, спратности По+П+6. Уз IV павиљон студентског дома изграђен је објекат позоришта и простора за окупљање студената, спратности По+П. Пословање у оквиру предметног обухвата подразумијева услужне дјелатности у оквиру објекта студентске кантине, објекта привременог карактера, као и расадник Института за генетичке ресурсе, гдје се врши производња садница [7] [14].

У унутрашњости обухвата постоје изграђене саобраћајне површине, које су највећим дијелом наслеђене из времена када је простор био војна касарна. Ријеч је о интерним саобраћајницама, које омогућавају контролисани приступ свим постојећим садржајима. Унутар обухвата постоји велики број пјешачких стаза, тако да се може рећи да је највећи проценат кретања која се врше унутар Универзитетског града пјешачки [14].

IV. ЗАКЉУЧАК

Град има за циљ да буде примјер иновативне, паметне и одрживе комуналне и саобраћајне инфраструктуре, подржане ефикасним системом коришћења земљишта и повећаном отпорношћу на климатске промјене и друге елементарне непогоде. Са здравом и динамичном изграђеном средином, мрежа зелене и плаве инфраструктуре заштитиће и унаприједити водне ресурсе, квалитет земљишта и биодиверзитет, те одржати репутацију Бање Луке као „града зеленила“ [4].

Предложени модел синергије изграђеног и зеленог простора, надамо се, може да подстакне дискурс о потенцијалним везама и даље развој компактног и зеленог приступа планирању градова. У будућности, комбиновани приступ би могао бити даље развијен у иновативни концепт планирања који обухвата сложеност и динамика друштвено-еколошких система у урбаним срединама и подржава циљеве политике као што су одрживи развој, еколошка правда, социјална кохезија или отпорност града. Ипак постоје захтијеви за ефикасне мјере и заштите зелених структура и за ублажавање ефекта топлотног острва, односно хлађења градова.

Успостављање зелених острва као контрапункт постојању топлотних, посматра се у раду и као аспект територијалног капитала који може значајно утицати на схватање одрживости урбаног простора. У том контексту, унапређење процеса одрживог планирања градова кроз успостављање зелене инфраструктуре треба базирати на развоју јединственог приступа животној средини који подразумева стварање услова и смјерница које ће помоћи локалној заједници да препозна елементе одрживог просторног, економског и друштвеног развоја.

Објекти комплекса некадашње касарне „Врбас“ су једним дијелом реконструисани и прилагођени новој, образовној намјени и на тај начин започиње процес стварања „Универзитетског града“. Проглашавањем комплекса за заштићено подручје, под називом „Споменик парковске архитектуре“, насљеђени простор искоришћен је за унапређење еколошке слике града. У времену глобалног загријавања, повећане потрошње ресурса и производње отпада, поновна употреба објеката омогућила је уштеду ресурса. Очување старих зграда смањило је новоградњу на зеленим и обрадивим површинама и тиме испунила један од циљева контролисаног ширења града.

Евидентно је одсуство обавезујућих стратешких докумената заснованих на истраживањима територије и спроведених путем израде студија. Важно је истаћи чињеницу да се ефикасно управљање енергијом у подручју архитектуре и урбанизма догађа на свим нивоима и у свим размјерама. Реализација политичких идеја у физичком простору градова (одрживост, уштеда енергије, развој по принципима зеленог града, компактни градови итд) одвијаће се кроз процес планирања на свим његовим нивоима од Стратегије просторног развоја Републике Српске преко просторних планова, урбанистичких планова градова до детаљних, регулационих планова.



Сл. 2. Аксонометријски приказ Универзитетског града (прилог аутора)

ЛИТЕРАТУРА

- [1] OECD, (2014); "Compact City Policies: Korea: Towards Sustainable and Inclusive," OECD Publishing, London, https://www.oecd-ilibrary.org/urban-rural-and-regional-development/compact-city-policies-korea_9789264225503-en
- [2] Frank, L., S. Kavage, T. Litman, (2006); "Promoting public health through Smart Growth", Smart Growth B.C. , Vancouver, https://www.vtpti.org/sgbc_health.pdf
- [3] Ahern, J. (2007); "Green Infrastructure for Cities: The Spatial Dimension", Cities of the Future: Towards integrated sustainable water and landscape management," Edited by Novotny, V., Breckenridge, L., Brown, P., IWA Publishing, London, UK P. 267-283, https://people.umass.edu/jfa/pdf/Chapter17_Ahern2%20copy.pdf
- [4] Градска управа Бања Лука, (2020); „Акциони план за зелени град Бања Лука – 2020“ <https://ebrdgreencities.com/assets/Uploads/PDF/EBRD-Banja-Luka-GCAP-LL.pdf>
- [5] Републички хидрометеоролошки завод Републике Српске, (2022); <https://rhmrzs.com/meteorologija/klimatologija/https-rhmzrs-com-meteorologija-klimatologija-mjesečni-pregledi/>
- [6] Jenks, M., E.Burton, K.Williams (1996); „The Compact City: A Sustainable Urban Form?“, Oxford Brookes University, Oxford, <https://www.routledge.com/The-Compact-City-A-Sustainable-Urban-Form/Burton-Jenks-Williams/p/book/9780419213000>
- [7] Институт за генетичке ресурсе, Универзитет у Бањој Луци <https://igr.unibl.org/index.php?idsek=156&tema=%D0%97%D0%B0%D1%88%D1%82%D0%B8%D1%9B%D0%B5%D0%BD%D0%BE%20%D0%BF%D0%BE%D0%B4%D1%80%D1%83%D1%87%D1%98%D0%B5>
- [8] Увидом у документацију доступну у Институту за генетичке ресурсе 15.02.23.
- [9] Donovan, S., I. Munro,(2013) "Impact of urban form on transport and economic outcomes," The New Zealand Transport Agency, Wellington, <https://www.nzta.govt.nz/assets/resources/research/reports/513/docs/513.pdf>
- [10] Dempsey, N., M. Jenks, (2010) „The Future of the Compact City” Built Environment „Alexandrine Press, Vol. 36, No. 1, The Compact City Revisited, 116-121 , <https://www.jstor.org/stable/23289987>
- [11] Hammer, S. et al. (2011), "Cities and Green Growth: A Conceptual Framework", OECD Regional Development Working Papers 2011/08, OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/5kg0tflmzx34-en>
- [12] Bowler, D., L. Buyung-Ali, T.M. Knight, A.S. Pullin, (2010) „Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence“, Centre for Evidence-Based Conservation, School of Environment, Natural Resources and Geography, Bangor University, UK,147-155
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169204610001234>
- [13] Aram, F., E.H. García, E. Solgi, S. Mansournia, (2019) „Urban green space cooling effect in cities“, Heliyon, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844019300702>
- [14] Регулациони план споменика парковске архитектуре „Универзитетски град“, Универзитет у Бањој Луци , Урбис центар (2017), <https://www.banjaluka.rs.ba/gradska-uprava/prostorno-uredjenje-i-gradjenje/regulacioni-planovi/gallery/%d0%bc%d0%b7-%d0%b1%d0%be%d1%80%d0%b8%d0%ba-2/>
- [15] Полић, Д. ,(2016) „СПЕЦИФИЧНОСТИ ПРОЦЕСА УРБАНЕ РЕГЕНЕРАЦИЈЕ ГРАДОВА СРЕДЊЕ ВЕЛИЧИНЕ“ 4. МЕЂУНАРОДНА КОНФЕРЕНЦИЈА Савремена достигнућа у грађевинарству. Суботица, СРБИЈА, зборник радова, стр. 755-765

ABSTRACT

Responsible and rational urban planning is reflected through an integral and multidimensional approach to city development. Contemporary theories of sustainable and resilient urban planning underpin a clear vision and strategy of city development emphasizing its identity, specifics and values. The city of Banja Luka protects its default identity as a green city through vision and action plans, while the actual trend of development is recognized in the direction of a compact city. The paper deals with two theories, the green and the compact city, where both are motivated by ecological and energy planning. The aim of the paper is to show the importance of the green dimension of a compact city on the one hand and the adoption of the principle of compactness in a green city on the other scale, using the example of the University City in Banja Luka, in order to examine their contribution through synergistic action.

THE GREEN DIMENSION OF A COMPACT CITY UNIVERSITY CAMPUS BANJA LUKA

Malina Čvoro, Una Okilj, Saša Čvoro, Zoran Uljarević

Energetski pokazatelj individualnog stambenog objekta u Banjaluci

Biljana Antunović¹, Adnan Murguz², Darija Gajić¹, Jelena Rašović¹

¹Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, Banja Luka, Republika Srpska

²Bauprojekt d.o.o. Rd Pfeiler GmbH, Grac, Austria

biljana.antunovic@aggf.unibl.org, a.murguz@bauprojekt.ba, darija.gajic@aggf.unibl.org, jelena.rasovic@aggf.unibl.org

Sažetak—U radu je prikazana analiza energetske efikasnosti individualnog stambenog objekta u Banjaluci. Postojeće stanje objekta ocijenjeno je na osnovu detaljne analize strukturalnih elemenata omotača (zidovi, podovi i krovovi) i toplotnih performansi zgrade (toplotne karakteristike omotača dobijene proračunima i mjerenjima i sistem grijanja). Proračun je pokazao da koeficijenti prolaza toplote elemenata omotača kao i koeficijent specifičnih transmisionih gubitaka ne zadovoljavaju granične vrijednosti propisane nacionalnim propisima Pravilnikom o minimalnim zahtjevima za energetske karakteristike zgrada, odnosno da su gubici toplote veći od dozvoljenih. Mjerenjima koja su izvedena na omotaču nisu detektovana mjesta povećanih toplotnih gubitaka, niti prisustvo vlage na omotaču. Za sve vrste zgrada propisan je najniži energetski razred „C“, dok prema izvedenom proračunu, objekat u postojećem stanju pripada energetskom razredu „G“.

Ključne riječi—energetska efikasnost; stambeni objekat; toplotne performanse; energetski razred;

I. UVOD

Danas su zgrade najveći pojedinačni potrošači energije, a time i veliki zagađivač životne sredine. Zbog dugog životnog vijeka zgrada njihov uticaj na životnu sredinu je kontinuiran i veoma značajan. Prema dostupnim podacima oko 40 % potrošnje energije i oko 17 % emisija CO₂ u Evropskoj Uniji dolazi iz građevinskog sektora, tako da ovaj sektor nudi najveći potencijal za efikasnije korišćenje energije [1]. Sa druge strane, u Republici Srpskoj (RS) potrošnja energije u građevinskom sektoru je još veća i iznosi čak oko 55 % ukupne potrošnje energije [2]. Uzrok velikoj potrošnji energije u RS je nepostojeća ili loša toplotna izolacija zgrada. Potrošnja energije zgrade zavisi od njenih karakteristika (orijentacije faktora oblika, kvaliteta i karakteristika ugrađenih materijala i proizvoda, itd.), karakteristika energetskih sistema u njoj (sistema grijanja, električnih uređaja i rasvjete, itd.), ali i klime područja u kojem se zgrada nalazi. Energetska efikasnost podrazumijeva skup sveobuhvatnih mjera koje se primjenjuju u cilju smanjenja potrošnje energije, pri čemu se ostvaruje isti ili čak i viši stepen komfora korisnika.

Sa ciljem određivanja energetske efikasnosti, odnosno energetskog razreda individualnog stambenog objekta u Banjaluci, urađen je proračun toplotnih performansi omotača u skladu sa metodologijom propisanom u trenutno važećim podzakonskim regulativama [3]-[5] u Republici Srpskoj. Pri tome, detaljno su razmatrani pojedini elementi omotača zgrade, određeni koeficijenti prolaza toplote svih elemenata

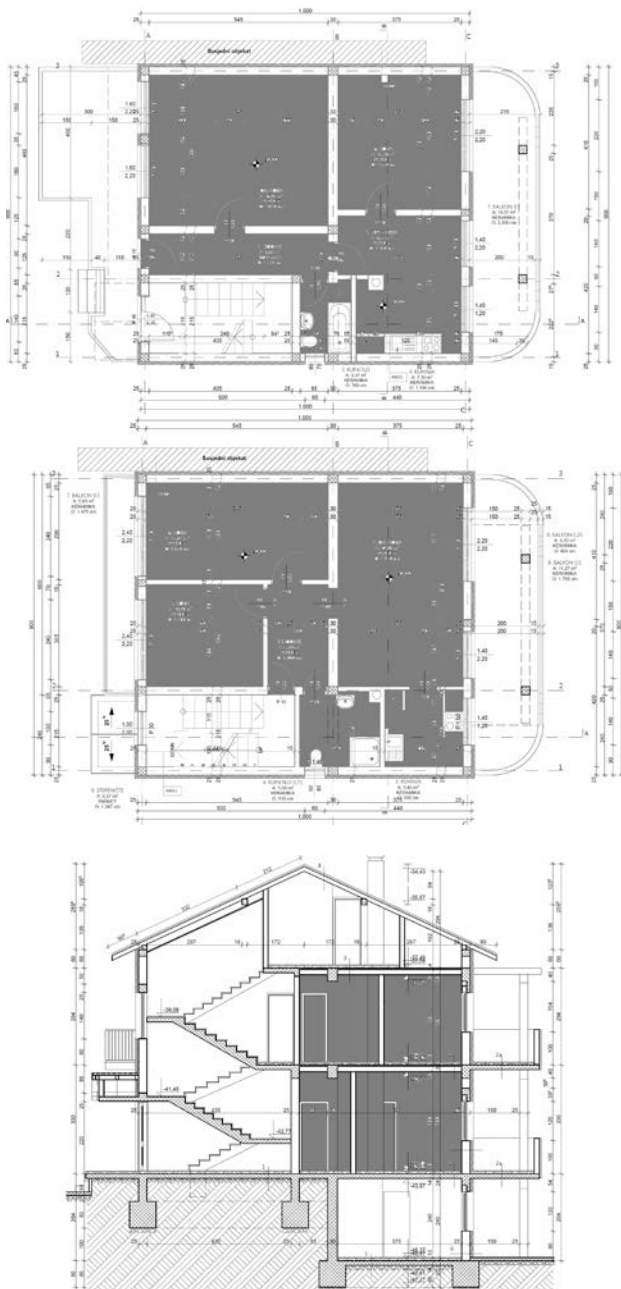
omotača, zatim koeficijenti transmisionih, specifičnih transmisionih i ventilacionih toplotnih gubitaka kao i toplotni dobici (solarni i interni). Pored navedenog, sprovedena su i mjerenja na omotaču (termovizijsko snimanje omotača i dijelova omotača sa unutrašnje i spoljašnje strane i mjerenje koeficijenta prolaza toplote na karakterističnom spoljašnjem zidu) u skladu sa važećim standardima. Dobijeni rezultati mjerenja su potvrdili kvalitet projektovanog stanja postojećeg objekta, kao i adekvatan pristup u proračunu karakteristika analiziranog spoljašnjeg zida s obzirom na nedostupnost preciznih podataka i starost objekta.

Na kraju, prema zahtjevima o racionalnoj upotrebi energije i toplotnoj zaštiti u zgradama, izračunata je potrebna toplotna energija za grijanje, te određena energetska efikasnost, odnosno, energetski razred objekta.

II. METODOLOGIJA

A. Podaci o objektu

Energetski pokazatelj, potrebna energija za grijanje, analizirana je na individualnoj stambenoj kući, koja je karakteristična za gradnju u Bosni i Hercegovini, nakon 1980. godine. Na početku upotrebe predmetna kuća nije imala toplotnu izolaciju na omotaču, a korisnici su samoinicijativno nakon 2000. godine unaprijedili samo vidni spoljašnji omotač (fasadni zid i novi prozori). Kako je kuća izgrađena u Banjaluci, pripada klimatskoj regiji Sjever. Spratnost kuće je Su+P+1+Pk, pri čemu se ne griju prostori suterena, tavana i stepenica. Kod stepenišnog prostora zidovi su sa spoljašnje strane obloženi toplotnom izolacijom, dok su unutrašnji grijani prostori stanova odvojeni, od tog negrijanog prostora, ulaznim vratima "Sl. 1". Korisna površina grijanog dijela objekta i ukupna površina grijanog omotača iznose 156,25 m² i 471,33 m², redom. Bruto zapremina objekta je 773,18 m³, a zapremina grijanog prostora 587,61 m³. Faktor oblika zgrade iznosi 0,61 m⁻¹, a udio transparentnih površina u omotaču je ~15 %. Objekat se grije sistemom centralnog grijanja [6].



Sl. 1. Osnove prizemlja i sprata i presjek, grijani prostori (slike gore redom); izgled kuće ulazni front (dolje lijevo) i pogled iz dvorišta (dolje desno).

B. Minimalni tehnički zahtjevi za energetske karakteristike zgrade

Proračun i mjerenja energetskih karakteristika zgrade urađeni su u skladu sa važećim međunarodnim standardima i pravilnicima Republike Srpske [3]-[5]. Pravilnicima su propisani minimalni tehnički zahtjevi za energetske karakteristike predmetnog objekta koji se odnose na racionalnu upotrebu energije i toplotnu zaštitu, koji treba da budu ispunjeni prilikom projektovanja i građenja, a određeni su:

- 1) Najvećom dopuštenom godišnjom potrebnom toplotnom energijom za grijanje po jedinici korisne površine zgrade, odnosno po jedinici zapremine grijanog dijela zgrade;
- 2) Najvećim dopuštenim koeficijentom transmisivnog gubitka toplote po jedinici površine omotača grijanog dijela zgrade;
- 3) Sprečavanjem pregrijavanja prostorija zgrade zbog djelovanja sunčevog zračenja tokom ljeta;
- 4) Ograničenjima zaptivenosti omotača zgrade;
- 5) Najvećim dopuštenim koeficijentima prolaza toplote pojedinih građevinskih dijelova omotača zgrade;
- 6) Smanjenjem uticaja toplotnih mostova na omotaču građevine;
- 7) Najvećom dopuštenom kondenzacijom vodene pare unutar građevinskog dijela zgrade;
- 8) Sprečavanjem površinske kondenzacije vodene pare, ako ovim pravilnikom nije drugačije određeno.

C. Fizičke veličine i parametri za određivanje toplotnih performansi omotača

Metodologija za određivanje toplotnih gubitaka zgrade zasniva se na određivanju niza veličina kojima se opisuju transmisivni i ventilacioni toplotni gubici, kao i toplotni dobici zgrade.

Za proračun transmisivnih gubitaka toplote, prvo se određuju koeficijenti prolaza toplote U $W/m^2 \cdot K$ svih elemenata omotača zgrade, koeficijenti transmisivnog $H_{tr, adj}$ W/K i specifičnog transmisivnog gubitka toplote $H'_{tr, adj}$ $W/m^2 \cdot K$. Pri tome, neophodno je uzeti i u obzir i dodatne gubitke toplote koji nastaju usljed pojave toplotnih mostova.

Koeficijent prolaza toplote U $W/m^2 K$ predstavlja količinu toplote koja u jedinici vremena protekne kroz jediničnu površinu pregradnog elementa sa strane toplijeg na stranu hladnijeg vazduha, pri razlici njihovih temperatura od 1 K. Koeficijent prolaza toplote elementa konstrukcije proračunava se u zavisnosti od vrste elementa omotača.

Za ravan višeslojan zid koeficijent prolaza toplote, (U -vrijednost $W/m^2 \cdot K$), predstavlja recipročnu vrijednost toplotnog otpora zida [7]):

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_u} + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_s}}, \quad (1)$$

gdje su t_u °C, t_s °C temperature unutrašnjeg i spoljašnjeg vazduha, redom, λ W/m·K koeficijent toplotne provodljivosti sloja materijala, d m debljina sloja materijala, a α_u W/m²K i α_s W/m²K koeficijenti prelaza toplote između unutrašnjeg, odnosno spoljašnjeg vazduha i zida, redom.

Koeficijent prolaza toplote transparentnog elementa omotača (prozori i balkonska vrata) određuje se prema izrazu [8]:

$$U_W = \frac{U_f A_f + U_g A_g + l_g \psi_g}{A_g + A_f}, \quad (2)$$

gdje je A_g m² površina zastakljenja, A_f m² površina okvira, U_g W/m²K koeficijent toplotnog zastakljenja okvira bez uticaja toplotnog mosta (zavisi od širine proreza, visine proreza i gasa u prorezu, emisivnosti površine stakala u prorezu), U_f W/m²K koeficijent toplotnog prenosa okvira bez uticaja toplotnog mosta, l_g m dužina spoja staklo/okvir, ψ_g W/m·K koeficijent toplotnog prenosa prozora sveden na dužinu (faktor korekcije temperature za spoj staklo/okvir).

Koeficijent transmisionog toplotnog gubitka zgrade $H_{tr,adj}$ W/K, uzimajući u obzir dodatne gubitke usljed toplotnih mostova, računa se prema izrazu [9]:

$$H_{tr,adj} = \sum_i U_i \cdot A_i \cdot F_i + \Delta U \cdot A, \quad (3)$$

gdje je U_i W/m²·K koeficijent prolaza toplote i-te komponente, A_i m² odgovarajuća površina koju zahvata ta komponenta, F_i faktor korekcije temperature odgovarajuće komponente, ΔU W/m²·K korekcija U -vrijednosti usljed postojanja toplotnih mostova, a A m² površina termičkog omotača.

Koeficijent transmisionog toplotnog gubitka po jedinici površine omotača grijanog dijela zgrade $H'_{tr,adj}$ W/m²·K određuje se prema formuli [9]:

$$H'_{tr,adj} = \frac{H_{tr,adj}}{A}. \quad (4)$$

Prema pravilniku svaka stambena zgrada mora biti projektovana i izgrađena na način da koeficijent transmisionih gubitaka toplote po jedinici površine omotača grijanog dijela zgrade, $H'_{tr,adj}$ W/m²·K, zavisno od faktora oblika zgrade, f_0 m⁻¹, nije veći od vrijednosti utvrđene jednačinom [4]:

$$H'_{tr,adj} = 0,30 + 0,15 / f_0, \quad (5)$$

kada je srednja mjesečna temperatura vanjskog vazduha najhladnijeg mjeseca na lokaciji zgrade $\theta_{min} \leq 3^\circ\text{C}$ (regija Banja Luka [3]).

Za određivanje ventilacionih toplotnih gubitaka koristi se koeficijent ventilacionog gubitka toplote H_V W/K [10] fizički parametar koji predstavlja kvantitativnu mjeru gubitka toplote infiltracijom vazduha kroz omotač zgrade:

$$H_V = \rho_a \cdot c_a \cdot n \cdot V, \quad (6)$$

gdje je $\rho_a = 1,2$ kg/m³ gustina vazduha pri 20 °C, $c_a = 1000$ J/kg·K specifični toplotni kapacitet vazduha, a n h⁻¹ broj izmjena vazduha na čas (pokazuje koliko je objekat zaptiven i predstavlja odnos zapremine vazduha koji ventilacijom

dospijeva u prostoriju u toku jednog časa i zapremine prostorije). Kod zgrada sa prirodnom ventilacijom broj izmjena vazduha na čas se prema važećem Pravilniku o minimalnim zahtjevima za energetske karakteristike zgrada Republike Srpske [4] u kojem su preuzeti parametri iz standarda [9] grubo procjenjuje na osnovu izloženosti vjetru, klase zaptivenosti i zaklonjenosti objekta, što može dovesti do značajnih grešaka u proračunu.

Kada su poznati koeficijenti transmisionih i ventilacionih gubitaka i temperature unutrašnjeg i spoljašnjeg vazduha mogu se odrediti ukupni toplotni gubici objekta, kao zbir transmisionih i ventilacionih gubitaka toplote:

$$Q_{H,ht} = Q_{tr} + Q_{ve}. \quad (7)$$

Toplotne dobitke čine solarni i interni toplotni dobitci:

$$Q_{H,gn} = Q_{sol} + Q_{int}. \quad (8)$$

Solarni dobitci toplote kroz transparentne površine omotača zavise od orijentacije, površine, odnosa okvira i stakla, kvaliteta, zaprljanosti i zaklonjenost transparentnog dijela omotača:

$$Q_{sol} = F_{sh} \cdot A_W \cdot g_{gl} \cdot (1 - F_F) \cdot I_{sol}, \quad (9)$$

gdje je F_{sh} faktor umanjenja ukupnog zasjenčenja, g_{gl} efektivni stepen propustljivosti energije, A_W m² površina prozora, F_F faktor okvira/rama i I_{sol} W/m² količina Sunčevog zračenja za zadati mjesec.

Unutrašnje toplotne dobitke Q_{int} čine dobitci od korisnika/ljudi Q_{lj} i dobitci koji nastaju odavanjem toplote od rasvjete i električnih uređaja Q_{el} :

$$Q_{int} = Q_{lj} + Q_{el}. \quad (10)$$

Toplotni dobitci od ljudi i rasvjete/el.uređaja određuju se prema sljedećim jednačinama, redom:

$$Q_{lj} = A_k \cdot q_{lj} \cdot h \cdot N, \quad Q_{el} = A_k \cdot q_{el} \cdot N, \quad (11)$$

gdje je A_k m² korisna grijana površina zgrade, q_{lj} W/m² gustina toplotnog fluksa koju odaju ljudi, h prisutnost korisnika prostora u časovima u toku dana, q_{el} W/m² doprinos toplotnim dobitcima od rasvjete i električnih uređaja (snaga i procjena rada u časovima), N – broj dana u mjesecu.

Objekti u Republici Srpskoj se certifikuju prema $Q_{H,nd}$ vrijednosti, odnosno godišnjoj potrebnoj toplotnoj energiji za grijanje, koja se izračunava prema normi BAS EN ISO 13790[10]:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn}, \quad (12)$$

gdje su $Q_{H,ht}$ kWh/a - ukupni toplotni gubici, $\eta_{H,gn}$ - faktor iskorištenja dobitaka toplote i $Q_{H,gn}$ kWh/a - ukupni toplotni dobitci. Faktor iskorištenja toplotnih dobitaka pokazuje u kojoj mjeri se Sunčevo zračenje i unutrašnji toplotni dobitci od ljudi i uređaja pretvaraju u toplotu za zagrijavanje zgrada. Zavisi od vrste i materijalizacije konstrukcije zgrade i sposobnosti akumulacije toplote u građevinskim konstrukcijama.

III. ANALIZA STANJA OBJEKTA

A. Koeficijenti prolaza toplote

Koeficijenti prolaza toplote pojedinačnih elemenata konstrukcije dati su u tabeli „TABELA I. KOEFICIJENTI PROLAZA TOPLOTE SPOLJAŠNJIH ELEMENATA KONSTRUKCIJE“, s tim što na objektu postoje 3 veličine balkonskih vrata i 10 veličina prozora sa PVC okvirima ($U_f = 1,40 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ i zastakljenim jedinicama $U_g = 1,10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$), te je za ove elemente dat raspon U -vrijednosti ugrađenih elemenata. Kao što se može vidjeti iz tabele, za sve netransparentne elemente omotača izračunate vrijednosti su više od propisanih i ne ispunjavaju Pravilnikom propisane uslove, dok transparentni elementi ispunjavaju minimalni zahtjev.

TABELA I. PROSJEČNI KOEFICIJENTI PROLAZA TOPLOTE DOMINANTNIH ELEMENATA KONSTRUKCIJE OMOTAČA

Elementi omotača	U-vrijednosti ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$)	
	Izračunata vrijednost	Propisana vrijednost
Pod – MK iznad negrijanog podruma bez toplotne izolacije	0,58	0,30
Zid – ošupljena opeka sa toplotnom izolacijom/ 10 cm EPS-a	0,32	0,30
Krov – MK ispod negrijanog tavana bez toplotne izolacije	2,42	0,30
Balkonska vrata	1,31-1,59	1,60
Prozori	1,26-1,55	1,60

Karakteristike spoljašnjeg zida iz tabele „TABELA I. KOEFICIJENTI PROLAZA TOPLOTE SPOLJAŠNJIH ELEMENATA KONSTRUKCIJE“ prikazane su u tabeli „TABELA II. KARAKTERISTIKE SPOLJAŠNJEG ZIDA OBJEKTA“. Koeficijent prolaza toplote $U = 0,32 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ postojećeg dominantnog zida (cementni malter debljine 2 cm, ošupljena opeka 25 cm, TI EPS 10 cm i fasadni malter 1 cm) ne zadovoljava vrijednost propisanu Pravilnikom ($U_{max} = 0,30 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ za stambeni objekat u klimatskoj zoni sjever).

TABELA II. KARAKTERISTIKE SPOLJAŠNJEG ZIDA OBJEKTA

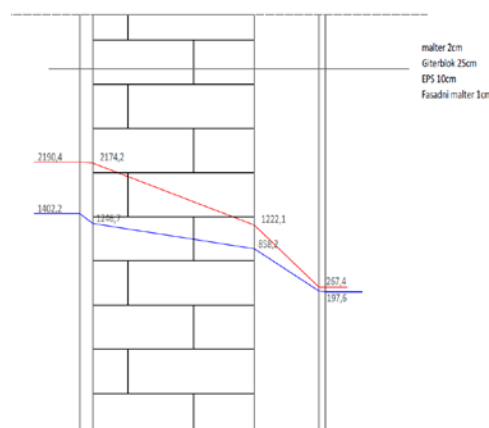
Materijal	Karakteristični dominantni spoljašnji zid			
	Debljina, $d(\text{cm})$	Gustina, $\rho(\text{kg/m}^3)$	Koeficijent toplotne provodljivosti, $\lambda(\text{W/mK})$	Faktor otpora vodene difuzije, $\mu(-)$
Cem. malter	2,00	2100	1,4	30
Giter opeka	25,00	1400	0,48	6
EPS	10,00	15	0,041	25
Završni fasadni sloj	1,00	1800	0,92	10

Pošto ne postoji podatak o toplotnoj provodljivosti EPS-a postavljenog na fasadi, pri proračunu U -vrijednosti pretpostavljeno je da EPS ima toplotnu provodljivost ($\lambda =$

$0,041 \text{ W/m}\cdot\text{K}$). Da je pri ovom proračunu korišten EPS sa boljim toplotno-izolacionim svojstvima tj. toplotnom provodljivošću $\lambda = 0,038 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ koeficijent prolaza toplote bi bio $U = 0,29 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ čime bi bio ispunjen gorenavedeni uslov.

B. Kondenzacija vodene pare unutar i na površini zida

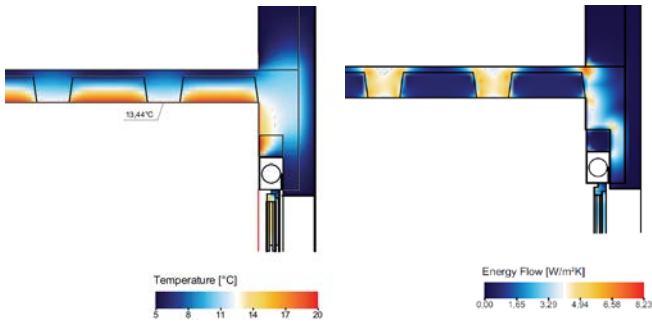
U skladu sa Pravilnikom o minimalnim zahtjevima za energetske karakteristike zgrada urađen je proračun difuzije i kondenzacije vodene pare (Glazerov analitičko-grafički postupak) unutar elemenata. Izračunati su pritisci zasićenja i parcijalni pritisci, te pokazano da se kriva pritiska zasićenja i parcijalnog pritiska ne sijeku ni u jednom elementu konstrukcije, što znači da ne dolazi do unutrašnje kondenzacije. Primjer raspodjele pritisaka za zid iz tabele „TABELA I. KOEFICIJENTI PROLAZA TOPLOTE SPOLJAŠNJIH ELEMENATA KONSTRUKCIJE“ prikazan je na slici „Sl. 2“. Pored toga, urađena je i provjera uslova pojave površinske kondenzacije za elemente omotača i pokazano je da ni na jednom elementu, osim međuspratne konstrukcije, prema negrijanom tavanu nije ispunjen uslov površinske kondenzacije. Na tavanici prema negrijanom tavanu proračun je pokazao da se vrijednosti temperatura mijenjaju u zavisnosti od mjesta presjeka na konstrukciji, zbog promjene debljine slojeva. U presjeku kroz opekarski blok ne dolazi do površinske kondenzacije, jer je temperatura na unutrašnjoj strani $16,35 \text{ }^\circ\text{C}$, ali kroz betonske gredice, gdje je temperatura $10,32 \text{ }^\circ\text{C}$ postoji mogućnost pojave površinske kondenzacije jer je temperatura niža od temperature tačke rose koja je $12 \text{ }^\circ\text{C}$.



Sl. 2. Raspodjela parcijalnog pritiska (plava linija) i pritiska zasićenja (crvena linija) spoljašnjeg zida predmetnog objekta (TABELA I).

Za detaljni proračun kondenzacije na ovom građevinskom elementu korišten je program EcoDesigner. Rezultat simulacije prikazan na slici „Sl.3“ pokazao je da površinska temperatura plafona iznosi $13,44 \text{ }^\circ\text{C}$, a pošto je viša od tačke rose na ovoj površini neće doći do kondenzacije. Sa slike „Sl.3“ – desno je vidljivo da najviše toplote prolazi kroz betonske gredice. Takođe, pregled objekta je pokazao da na

plafonu nema vidljivih oštećenja niti posljedica vlage koje bi nakon 45 godina postojanja i upotrebe objekta bili vidljivi.



Sl. 3. Rezultat simulacije raspodjele temperatura prema negrijanom tavanu (lijevo) i energetskog toka (desno)

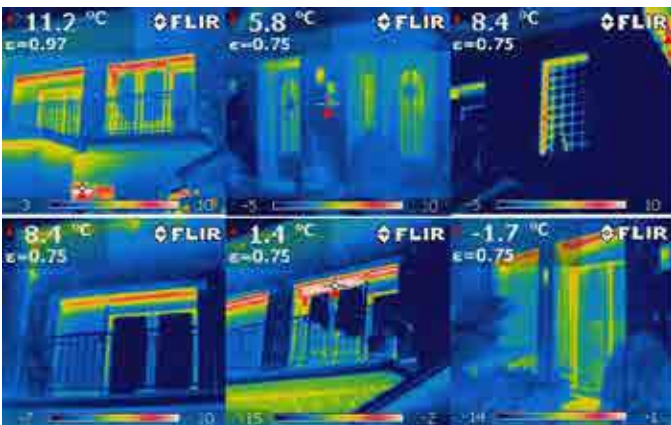
C. Koeficijenti toplotnih gubitaka

Koeficijent transmisionih toplotnih gubitaka, uzimajući u obzir uticaj toplotnih mostova ($\Delta U = 0,10 \text{ W/m}^2\text{-K}$ po površini omotača) i faktor oblika zgrade iznosi $H_{tr,adj} = 361,1 \text{ W/K}$. Za stambenu zgradu u klimatskoj regiji sjever datog faktora oblika najviša dozvoljena vrijednost koeficijenta specifičnog transmisionog gubitka toplote je $H'_{tr,adj} = 0,55 \text{ W/m}^2\text{-K}$. Međutim, za ovaj objekat dobijena je vrijednost $H'_{tr,adj} = 0,77 \text{ W/m}^2\text{-K}$, što znači da ni ovaj minimalni zahtjev za energetske karakteristike zgrada nije ispunjen.

Prema standardu BAS EN ISO 13790 [10], na osnovu zaklonjenosti i zaptivenosti zgrade pretpostavljena je druga klasa, tako da je uzet broj izmjena vazduha po satu, $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$. Koeficijent infiltracionih toplotnih gubitaka iznosi $H_v = 97,94 \text{ W/K}$.

D. Mjerenja na omotaču

Sa ciljem provjere stanja omotača sa aspekta gubitaka toplote izvedeno je termovizijsko snimanje prednje i zadnje fasade objekta i mjerenje koeficijenta prolaza toplote na karakterističnom spoljašnjem zidu. Za termovizijsko snimanje korišten je uređaj FLIR b60, a mjerenja su izvedena u skladu sa standardom (ISO 6781-1983, EN 13187:1998) [11].



Sl. 4. Termovizijski snimak prednje (gore) i zadnje (dolje) fasade

Snimanje objekta je urađeno 22.01.2022 godine po oblačnom danu u jutarnjim satima, pri čemu je spoljašnja temperatura vazduha iznosila -5°C , a temperaturna razlika unutrašnjeg i spoljašnjeg vazduha 26°C . Kao rezultat snimanja, na osnovu intenziteta elektromagnetnog zračenja koje površina emituje, dobijene su termovizijske slike raspodjela temperature na površini zgrade “Sl. 4”. Na omotaču nisu uočeni povećani gubici toplote, a takođe ni prisustvo vlage sa unutrašnje ili spoljašnje strane objekta.

Mjerenje koeficijenta prolaza toplote je izvršeno uređajem Testo 435-2 i odgovarajućim sensorom. „Sl.5“, u skladu sa standardom [12] u januaru 2022. godine po oblačnom danu kada nije bilo padavina, u periodu od 72 sata, sa intervalima mjerenja od 15 min. Unutrašnja temperatura vazduha je varirala između 21°C i 24°C , dok je spoljašnja temperatura varirala između -5°C i 5°C , tako da su zadovoljeni uslovi propisani odgovarajućim standardom.



Sl. 5. Prikaz pozicije mjernih uređaja termometar (gore lijevo), fluksmetar, (gore desno) i pozicija na omotaču (dolje)

Izmjerena je prosječna vrijednost koeficijenta prolaza toplote $U = 0,327 \text{ W/m}^2\text{-K}$, te se može zaključiti da se, u okviru eksperimentalne greške, izmjerena slaže sa proračunom U -vrijednošću koja iznosi $U = 0,32 \text{ W/m}^2\text{-K}$ “TABELA II. KARAKTERISTIKE SPOLJAŠNJEG ZIDA OBJEKTA”.

E. Toplotni dobici

Udio površina transparentnih elemenata u omotaču je 15 %. S obzirom na to da ne postoje podaci o prosječnom toplotnom fluksu od unutrašnjih izvora toplotne energije i susjednoj nekondicioniranoj prostoriji može se, prema Pravilniku, koristiti pojednostavljena metoda određivanja unutrašnjih dotoka sa usvajanjem vrijednosti koje su preporučene. Ukupni toplotni dobici sa parametrima

potrebnim za proračun su prikazani u tabeli "TABELA III. TOPLOTNI DOBICI".

TABELA III. TOPLOTNI DOBICI

	Toplotni dobici			
	$I_s(kWh/m^2)$	Koef. solarne propustljivosti, g	Površina, $A(m^2)$	Dobici toplote, (kWh)
Sjever	145	0,50	17,66	1280,35
Istok	310	-	0,00	0,00
Jug	455	0,31	19,32	2725,09
Zapad	310	0,62	1,51	290,22
Ukupni sol.dobici	Q_{sol}			4295,66
Interni dobici	Q_{int}			1033,20
Ukupni dobici	$Q_{H,gn}=Q_{sol}+Q_{int}$			5328,86

Iz tabele se može zaključiti da su interni toplotni dobici relativno niski prema solarnim dobicima, odnosno oko četiri puta manji.

F. Energetski razred zgrade

Za razmatrani individualni stambeni objekat, u skladu sa Pravilnikom, najveća dopuštena godišnja potrebna toplotna energija za grijanje po jedinici korisne površine objekta, iznosi $Q''_{H,nd} = 72,39 kWh/m^2 \cdot a$. Potrebna godišnja toplotna energija za grijanje svedena na korisnu površinu objekta iznosi $Q'_{H,nd,ref} = 195 kWh/m^2 \cdot a$, što znači da je oko 2,7 puta veća od najviše dozvoljene potrebne toplotne energije za grijanje. Na osnovu navedenih veličina može se zaključiti da godišnja potrebna toplotna energija za grijanje ne zadovoljava propisane zahtjeve te da zgrada pripada energetskom razredu „G”.

IV. ZAKLJUČAK

U radu je predstavljena detaljna analiza energetske efikasnosti individualnog stambenog objekta u Banjaluci koja pripada klimatskoj regiji sjever. Energetski pregled zgrade uključivao je i mjerenja koeficijenta prolaza toplote i termovizijsko snimanje omotača. Analiza i proračun su pokazali da koeficijenti prolaza toplote elemenata omotača kao i koeficijent specifičnih toplotnih gubitaka i godišnja potrebna toplotna energija za grijanje ne ispunjavaju minimalne propisane zahtjeve. Za individualni stambeni objekat, prema Pravilniku o vršenju energetskog pregleda i izdavanju energetskog certifikata, zahtjevana godišnja potrebna energija za grijanje po jedinici površine za energetski razred „C“ iznosi $\leq 65 kWh/m^2$. Za ovakav tip individualne kuće prema važećem Pravilniku o minimalnim zahtjevima za energetske karakteristike zgrada Republike Srpske dopuštena potrebna energija $72,39 kWh/m^2 \cdot a$. Prema proračunu, razmatrani objekat u postojećem stanju, iako energetski unaprijeđen, pripada energetskom razredu „G“, jer godišnja potrebna energija za grijanje po jedinici površine zgrade iznosi $195 kWh/m^2 \cdot a$. Glavni uzrok velikoj potrošnji energije i

energetskoj neefikasnosti objekta je toplotno neizolovana betonska ploča ispod krova, koja u značajnoj mjeri propušta toplotu zbog slabih izolacijskih svojstava betona, a čiji udio u toplotnim gubicima iznosi 33,4%. Istraživanje, između ostalog, ukazuje da propisani energetski razredi nisu u skladu sa minimalnim zahtjevima.

LITERATURA

- [1] Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja, Smjernice za zgrade gotovo nulte energije – DRUGI DIO [namijenjene za stručnu zainteresiranu javnost], 2019.
https://mgipu.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/EnergetskaUcinkovito%20st/Smjernice_2_dio_nZEB_mgipu.pdf pristupljeno: februar 2023.
- [2] Vlada Republike Srpske, Energetski bilans Republike Srpske, plan za 2019.
- [3] Pravilnik o vršenju energetskog pregleda i izdavanju energetskog certifikata, Sl. gl. RS br. 30/15V.
- [4] Pravilnik o minimalnim zahtjevima za energetske karakteristike zgrada, Sl. gl. RS br. 30/15
- [5] Pravilnik o metodologiji za izračunavanje energetskih karakteristika zgrada, Sl. gl. RS br. 30/15
- [6] A. Murguz, „Analiza stanja individualnog stambenog objekta u Banjaluci nakon nadogradnje sa adekvatnim mjerama unapređenja energetske efikasnosti“, master teza, Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-gradevinsko-geodetski fakultet, Banja Luka, 2022.
- [7] EN ISO 6946:2006 Building components and building elements -- Thermal resistance and thermal transmittance -- Calculation method
- [8] EN ISO 10077-1:2006 Thermal performance of windows, doors and shutters -- Calculation of thermal transmittance -- Part 1: General
- [9] EN ISO 13789:2007 Thermal performance of buildings -- Transmission and ventilation heat transfer coefficients -- Calculation method
- [10] BAS EN ISO 13790:2008 Energy performance of buildings - Calculation of energy use required for space heating and cooling
- [11] ISO 6781:1983, EN 13187 Thermal insulation -- Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes -- Infrared method
- [12] ISO 9869-1:2014, Thermal insulation - Building elements - In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance--Part 1: Heat flow meter method

ABSTRACT

The paper presents an analysis of the energy efficiency of an individual residential building in Banja Luka. The assessment of the existing condition is based on a detailed thermal performance of the building (structural elements (walls, floors, and roofs) and the heating system. The calculation showed that the heat transfer coefficients of the envelope elements, as well as the coefficients of specific transmission heat losses, do not meet the limit values prescribed by the Rulebook on minimum requirements for energy characteristics of buildings. The measurements on the envelope did not detect places of increased heat loss or the presence of moisture. The lowest energy class "C" is prescribed for all building types, while according to the calculation, the building in its current state belongs to energy class "G".

ENERGY INDICATOR OF INDIVIDUAL RESIDENTAL BUILDING IN BANJALUKA

Biljana Antunović, Adnan Murguz, Darija Gajić, Jelena Rašović

Uticaj vegetacionih modularnih elemenata za zidove omotača na energetske bilans zgrade

Prof.dr Budimir Sudimac¹, doc.dr Branko Slavković², prof.dr Radojko Obradović¹

¹Univerzitet u Beogradu, Arhitektonski fakultet, Beograd, Srbija

²Državni Univerzitet u Novom Pazaru, Novi Pazar, Srbija
sudimac@arh.bg.ac.rs, bslavkovic@np.ac.rs, robradovic@hotmail.com

Cilj ovog istraživanja je optimizacija fasadnog omotača, arhitektonskog objekta, integracijom vegetacionih modularnih elemenata. U radu se istražuju potencijali vegetacionih zidova u smanjenja utroška energije potrebne za hlađenje objekta u letnjem periodu. Istraživanje je obuhvatilo analizu energetske specifičnosti vegetacionih zidova i njihovu programsku integraciju u urbanim gradskim ambijentima. Korišćenje elemenata vegetacionih zidova u arhitekturi otvorilo je nove projektantske mogućnosti i stvorilo izazove za projektante sa ciljem povećanja energetske efikasnosti objekata. U radu se vegetacioni zidovi tretiraju kao elementi zaštite arhitektonskih objekata od toplotnog pregrevanja. Analize su pokazale da vegetacija smanjuje kontaktnu temperaturu površina strukturalnih zidova objekta, dok isparavanje obezbeđuje pasivno hlađenje. Cilj istraživanja je da se ispituju metode i tehnike, kojima se obezbeđuje široka primena vegetacionih zidova u arhitekturi postojećih i novih objekata kroz ispitivanja i pronalaženja preporuka za unapređenjem termičkih karakteristika fasadnih omotača objekta.

Ključne riječi—vegetacija; modularni sistem; temperatura; energetske performanse;

I. UVOD

Korišćenje elemenata vegetacionih zidova u arhitekturi otvorilo je nove projektantske mogućnosti i stvorilo izazove za projektante sa ciljem povećanja energetske efikasnosti objekata. U radu se analiziraju arhitektonski fasadni elementi koji doprinose smanjenju ekstremnih uticaja na komfor boravka ljudi u našim klimatskim uslovima. Vegetacioni zidovi su predstavljeni kao deo procesa ukupne energetske optimizacije arhitektonskog objekta. Pojava zelenila na fasadama nije nov koncept u realizaciji fasadnih omotača. Integracija vegetacije može da bude održiv pristup za fasade novih i postojećih objekata. Vertikalno ozelenjeni zidovi istovremeno doprinose i poboljšanju energetske karakteristika objekata, biodiverziteta, oblikovnih vrednosti i u velikoj meri omogućavaju smanjenje vazdušnog zagađenja [1,2]. S obzirom da se kroz omotač zgrade odvija interakcija između spoljašnje sredine i unutrašnjeg prostora, on predstavlja ključan element u rešavanju zavisnosti između ostvarivanja uslova komfora u objektu, spoljašnjeg izgleda objekta i energetske bilansa objekta. Istraživanje je zasnovano na potrebama urbanog čoveka ostvarivanja mogućnosti aktivnog korišćenja vegetacije u procesu smanjenja potrošnje energije. Ozelenjavanje i očuvanje urbanog prostora postalo je važno pitanje u razmatranju uslova za projektovanje arhitektonskih objekata i redefinisane odnosa između

tehnologije, energije i oblikovanja. Povod za ovo istraživanje pronađen je u činjenicama neophodnosti rešavanja problema održivosti sistema i uspostavljanje novih modela "Sl.1", za rešavanje energetske, oblikovne i tehnološke problema savremenih objekata, uključujući probleme zagađenja životne sredine.



Sl. 1. Modularni panel formiran uz pomoć različitih biljnih vrsta

METODOLOGIJA

Vegetacioni zidovi predstavljaju deo rastućeg koncepta novog kreativnog izraza fasadnog omotača u cilju prevazilaženja svega onog što donose globalne klimatske promene i osiromašenje prirodnih resursa, a u cilju pronalaženja održivih rešenja za postizanje energetske efikasnosti. Omotači arhitektonskih objekata današnjice teže dinamičnosti i interaktivnim odnosom sa okruženjem uz maksimalno iskorišćenje tehnoloških potencijala "Sl.2". Mehanizmi kojima vegetacioni zidovi mogu da se koriste kao sistemi pasivne uštede energije su različiti: senka proizvedena od vegetacije, izolaciono svojstvo vegetacije nosećeg fasadnog elementa, evaporativno hlađenje. Arhitektonski objekti budućnosti moraju da pronađu način iskorišćenja prirodnih uslova okruženja za rešavanje zahtevima udobnosti korisnika. Vegetacioni zidovi na ovaj način ostvaruju novi oblik energetske bilansa objekta, doprinoseći razvoju novih tehnologija [3]. Vegetativni zidovi koji u svom sklopu imaju

ozelenjene površine prekrivene biljnim omotačem imaju važnu ulogu prilikom ujednačavanja mikroklimatskih parametara u odnosu na lokalno okruženje kao i smanjenje prolaza toplote kroz fasadni omotač u letnjem periodu.



Sl. 2. Primer vegetacionog zida primenom modularnog sistema

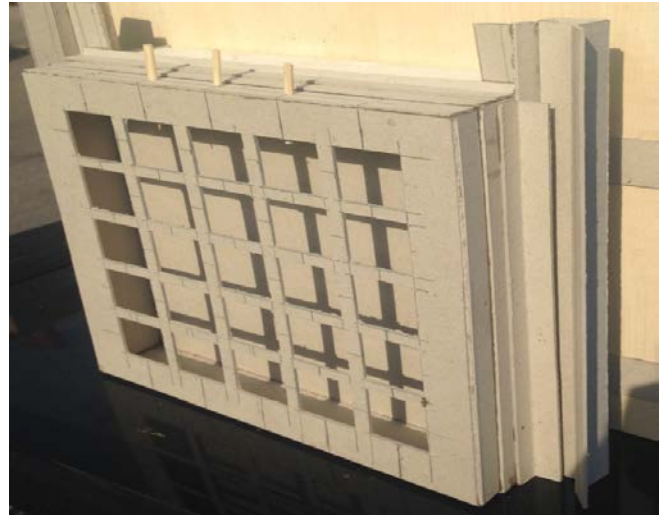
Lisna površina biljnog omotača ima ulogu apsorbera sunčevog zračenja i svojom emisivnošću toplotnog zračenja ponaša se kao element zaštite fasadnog omotača od toplotnog pregrevanja. Evapotranspiracija, kao složena osobina biljnog sveta je proces koji obezbeđuje isparavanje vode iz zemljanog zasada (evaporacija) i isparavanje vode iz lisnih pora do kojih voda stiže iz korenovog sistema i traheja (transpiracija) [4].



Sl. 3. Prikaz formirane konstrukcije vegetacionog zida primenom izabranih modularnih modela M1,M2, M3

Modularni sistem vegetacionih zidova "Sl.3", podrazumeva primenu kontrolisanih sistema sadnje i održavanja biljnih vrsta u panelima koji sadrže zemlju ili neku drugu artikulacionu supstancu rastućeg medija za biljke kao i autonomnog sistema

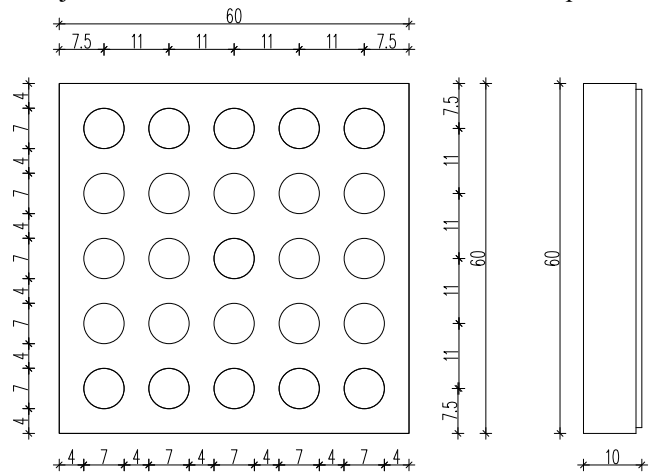
za održavanje. Vegetacioni zidovi "Sl.4" ne akumuliraju toplotu kao zidovi napravljeni od konvencionalnih materijala. Istraživanja su pokazala da vegetacioni mogu smanjiti toplotne gubitke u zimskom periodu, a samim tim i potrebnu energiju za zagrevanje zgrada. Analize pokazuju da vegetacioni zidovi smanjuju toplotno pregrevanje zidova u letnjem periodu i na taj način smanjuju količinu ukupne energije potrebne za hlađenje objekta.



Sl. 4. Prikaz makete modela M1

II. PRAKTIČNI MODELI

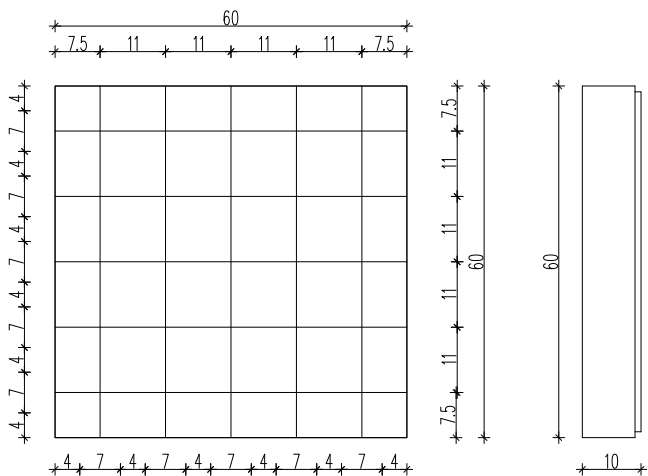
Praktična merenja na modelu vegetacionog zida vršena su svakodnevno u različitim tačkama, spoljašnjoj kontaktnoj površini fasadnog omotača bez i sa vegetacijom, na kontaktnim površinama modela M1, M2, M3 "Sl.5,6,7" i u unutrašnjoj prostoriji na kojoj je apliciran vegetacioni zid. S obzirom na vremenski period kada su vršena merenja, vegetacioni zid je ozelenjen maksimalnim vrednostima lisne površine.



Sl. 5. Prakticni model M1

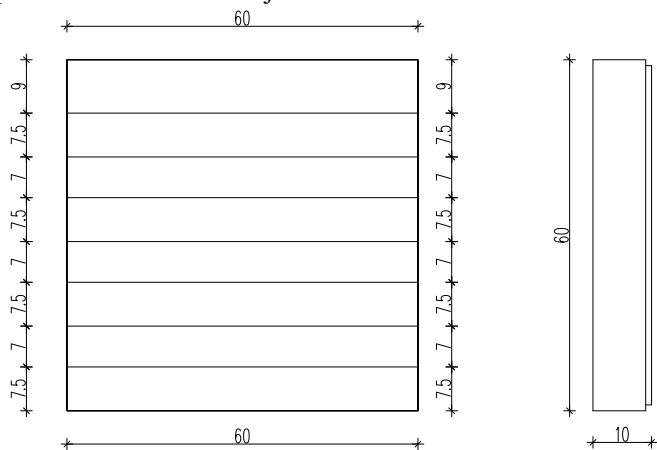
Uočava se da kontaktna temperaturna razlika najveća u mernom vremenu 14:00 časova, kada je iskazana i najviša spoljašnja temperatura vazduha. Temperaturne razlike postoji i u odnosu na modele M1, M2, M3. U cilju praktičnog

razumevanja i utvrđivanja određenih performansi izabranih modela, njihovih karakteristika i pretpostavljenih potencijala rad na izradi praktičnih modela i njihovo ispitivanje obuhvatalo je sledeće:



Sl. 6. Prakticni model M2

Formulisane geometrije i veličine izabranih modularnih modela, konstruisanje i izrada modela sa definisanjem potrebnih konstruktivnih elemenata i materijalizacije modela, eksperimentalno formiranje sklopa vegetacionog zida, prikupljanje i analiza klimatskih podataka za vremenske intervale u kojima je vršeno praktično merenje na modelu vegetacionog zida, raktično merenje kontaktnih temperaturnih vrednosti postojećeg fasadnog zida, konstruktivnih elemenata vegetacionog zida i unutrašnje temperature fasadnog omotača, sa i bez aplikacije vegetacije, analiza i tumačenje izmerenih podataka i vrednosti dobijenih rezultata.



Sl. 7. Prakticni model M3

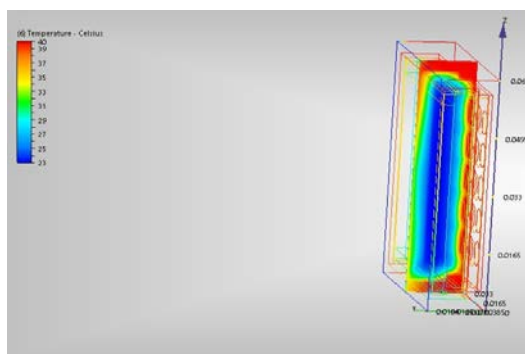
Sami kriterijumi postavljanja vegetacionog zida koji se analizira definisani su u odnosu na postojeći fasadni omotač, čiji je sklop identičan sklopu referentnog modela i njegove orjentacije u prostoru. Za pojedinačnu analizu modela M1 "Sl.8", M2, M3 pretpostavljeni su sledeći zajednički parametri: Sva tri modela tretirana su u istim vremenskim periodima i prema istim orijentacijama sveta, spoljna temperatura uzeta je kao srednja temperaturna vrednost za period u kom je

vegetacioni zid bio izložen sunčevom zračenju, poljne temperaturne vrednosti za sva merna vremena data su u prilogu, apsolutne temperature zadatih elemenata date su kao srednje vrednosti, stepen ozelenjavanja modela je približno isti, automatsko zalivanje modela vršeno je dva puta dnevno u istim vremenskim periodima, svi modeli su napravljeni od vodootporne šper ploče [5,6].



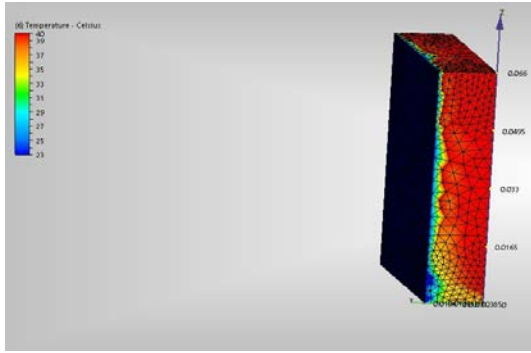
Sl. 8. Prikaz modela M1

Pored merenja kontaktne temperature zadatih elemenata eksperimentalnog modela kontaktnim i bezkontaktnim termometrima, svaki od modela, a i ceo vegetacioni zid sniman je termografskom kamerom proizvođača FLIR e 40.



Sl. 9. Prikaz termičke simulacije modela M1

Za potrebe eksperimentalnog istraživanja definisana su tri praktična modularna modela za formiranja vegetacionog zida. Praktični modeli su definisani kao modeli M1, M2, M3. Model M1 "Sl.9"; Modularni sistem sa perforiranim kutijama. Prvi modularni modela za analizu predstavlja kutijasti model sa kružnom perforacijom čeonog dela elementa. Sam model je dimenzija 60x60 cm. Izrađen od vodootpornog špera debljine 1cm. Ovakav model je idealan za sadnju vegetacije sa malim korenom. Debljina kutije je 10 cm u okviru koje se nalazi staklena vuna debljine 8 cm. Ritam kružnih otvora za sađenje biljnog rasada je simetričan. Težina elementa pre zasađivanja biljaka je 9,618 kg., a težina zasađenog elementa 21,043 kg.



Sl. 10. Prikaz termičke simulacije modela M2

Za formiranje vegetacionog sklopa u ovom modelu predviđeno je za sadnju ukupno 25 biljaka različitih biljnih vrsta.

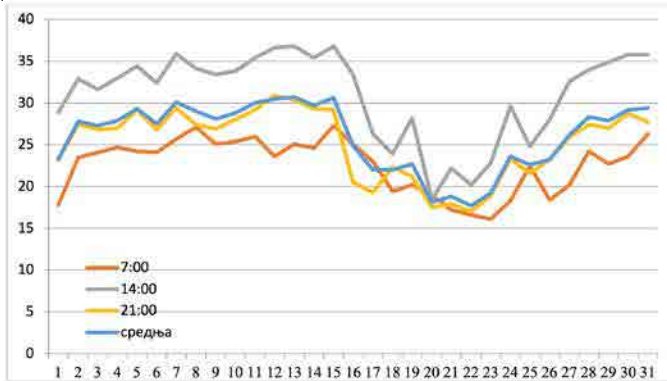


TABELA I. GRAFIČKI PRIKAZ UPOREDNIH VREDNOSTI IZMERENIH TEMPERATURA VAZDUHA

Oučeni nedostatak ovog modela je otežano sađenje biljaka u položaju kada se model nalazi u već formiranom zidu. Model M2. "Sl.10", Modularni sistem sa platnenom podlogom. Drugi modularni modela za analizu predstavlja kutijasti model sa platnenom podlogom čeonog dela elementa. Model je dimenzija 60x60 cm.

Osnovni korpus modela izrađen od voodtopnog špera debljine 1cm. a platnena podloga od troslojnog tapetarskog filca. Ovakav model je idealan za sadnju vegetacije sa većim korenom. Debljina kutije je 10 cm u okviru koje se nalazi staklena vuna debljine 8 cm. Težina elementa pre zasađivanja biljaka je 9,310 kg., a težina zasađenog elementa 20,540 kg. Za sadnju u ovom modelu predviđeno je ukupno 18 biljaka. Model M2 obezbeđuje lako održavanje, omogućena je reciklaža.

MODEL M1									
orientacija	Tev	Tez	Tiz	Tev	Tzs	Tzv	Tv	Tzm	Tmy
jug	25.5	24.0	23.2	24.15	22.03	19.17	24.5	26.7	20.85
istok	28.3	26.3	25.7	26.8	24.7	21.96	24.9	20.3	22.89
zapad	28.8	27.1	26.2	27.38	25.35	22.58	26.6	20.8	21.79
sever	29.4	27.5	26.8	27.84	25.95	22.97	26.2	24.8	23.78

TABELA II. TABELARNI PRIKAZ IZMERENIH TEMPERATURA PREMA ZADATIM KRITERIJUMIMA ZA MODEM M1

MODEL M2									
orientacija	Tev	Tez	Tiz	Tev	Tzs	Tzv	Tv	Tzm	Tmy
jug	25.5	24.0	23.2	20.33	22.02	19.17	24.3	26.5	20.63
istok	28.3	25.9	25.7	22.56	24.06	21.31	24.4	19.8	22.8
zapad	28.8	26.5	26.2	22.96	24.71	21.93	25.9	20.3	23.29
sever	29.4	26.9	26.8	23.43	25.11	22.32	25.7	24.3	23.78

TABELA III. TABELARNI PRIKAZ IZMERENIH TEMPERATURA PREMA ZADATIM KRITERIJUMIMA ZA MODEM M2

Model M3. Modularni sistem sa objedinjenim sadnim elementom. Treći modularni modela za analizu predstavlja kutijasti model sa objedinjenim sadnim elementom. Model je dimenzija 60x60 cm. Sadnja biljaka u ovakvim elementima je najslabija sadnji u saksijama.

MODEL M3									
orientacija	Tev	Tez	Tiz	Tev	Tzs	Tzv	Tv	Tzm	Tmy
jug	25.5	23.5	23.2	23.63	21.47	18.61	24.4	26.6	19.8
istok	28.3	25.9	25.7	26.22	24.08	21.31	24.3	19.7	21.97
zapad	28.8	26.6	26.2	26.68	24.82	22.04	26.2	20.5	22.36
sever	29.4	27.0	26.8	27.24	25.72	22.43	25.5	24.1	22.83

TABELA IV. TABELARNI PRIKAZ IZMERENIH TEMPERATURA PREMA ZADATIM KRITERIJUMIMA ZA MODEM M3

Biljke se sade u redovima po potrebi sadnje i u zavisnosti od veličine biljke. Težina elementa pre zasađivanja biljaka je 9,164 kg., a težina zasađenog elementa 20,743 kg. Za sadnju u ovom modelu predviđeno je ukupno 22 biljake [7,8,9]. Ovaj model za razliku od modela M1 omogućava sađenje biljaka u položaju u kom se model nalazi u već formiranom zidu.

	Model M1				Model M2				Model M3			
	jug	istok	zapad	sever	jug	istok	zapad	sever	jug	istok	zapad	sever
Tev	25.50	28.30	28.80	29.40	25.50	28.30	28.80	29.40	25.50	28.30	28.80	29.40
Tez	24.00	26.50	27.10	27.50	24.00	25.90	26.50	26.90	23.50	25.90	26.60	27.00
Tiz	22.03	24.70	25.35	25.95	22.02	24.06	24.71	25.11	21.47	24.08	24.82	25.72
Raz.	1.97	1.80	1.75	1.55	1.98	1.84	1.79	1.79	2.03	1.82	1.78	1.28
%	8.33	6.63	6.46	5.64	8.25	6.99	6.75	6.65	8.64	7.05	6.69	4.74

TABELA V. TABELARNI PRIKAZ IZMERENIH TEMPERATURA PREMA ZADATIM KRITERIJUMIMA ZA MODEM M3

Prikupljanje podatka vršeno je osam nedelja svakodnevno, tri puta dnevno. Merenja su vršena u 7:00, 14:00, i 21:00 časova.

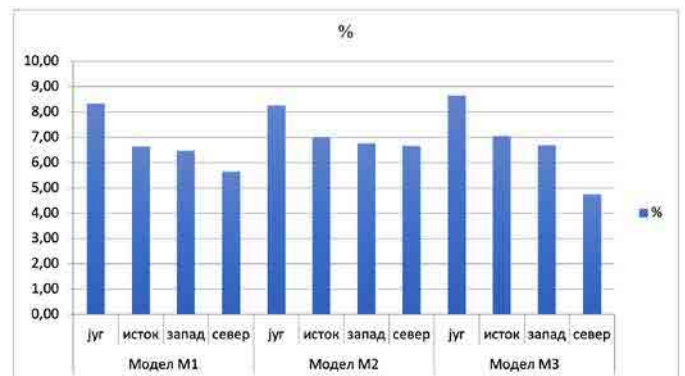


TABELA VI. GRAFIČKI PRIKAZ PROCENTUALNOG SMANJENJA KONTAKTNE TEMPERATURE FASADNOG ZIDA SA VEGETACIJOM U ODNOSU NA ZID BEZ VEGETACIJA

Temperatura vazduha za period jul, avgust u vreme vršenja eksperimenta uzeta je iz Meteorološkog godišnjaka 1.

”Tab.1”, Najviša izmerena temperatura u ovom periodu 37°C izmerena 23.07. u 14:00 časova, a da je najniža izmerena temperatura 16.1°C izmerena 23.8.2 u 7:00 časova.

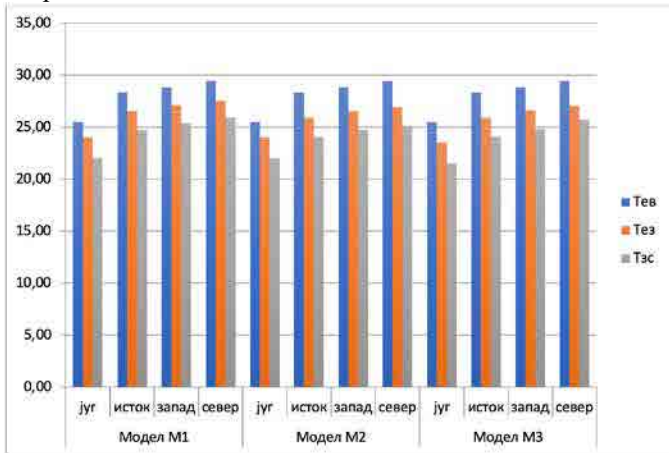


TABELA VII. GRAFIČKI PRIKAZ PROCENTUALNOG SMANJENJA KONTAKTNE TEMPERATURE FASADNOG ZIDA SA VEGETACIJOM U ODNOSU NA ZID BEZ VEGETACIJA

Uočava se da je najviša prosečno temperatura vazduha u julu iznosila 32.2 °C zabeležena 22.07., a najniža 18.8 °C izmerena 31.07., dok je najviša prosečna dnevna temperatura u avgustu iznosila 30.6 °C zabeležena 15.8., a najniža 18.1 °C izmerena 20.8.god. Srednja prosečna temperatura izmerena u julu mesecu iznosila je 26.76 °C , a u mesecu avgustu 26.10 °C.

Analizirajući dobijene rezultate uočljivo je da postoji temperaturna razlika delova fasadnog omotača koji je tretiran vegetacijom u odnosu na delove gde to ne postoji. Temperaturna razlika u markiranim površinama iznosi 10.7 °C. Model M1. Model M1 ”Tab.2” predstavlja model sa perforiranim kutijama. Tokom južne orijentacije srednja spoljašnja temperatura iznosila je 25.5°C . Izmerena temperatura spoljašnjeg zida u delu bez vegetacije iznosila je 24.0°C, a u delu gde je zid bio obložen vegetacijom kontaktna temperatura zida iznosila je 22.03 °C. Može se uočiti da je kontaktna temperatura fasadnog zida niža u odnosu na deo fasadnog zida koji nije tretiran zelenilom za 1.7°C ili 8.33%. Kada se posmatra istočna orijentacija srednja temperatura vazduha iznosila je 28.3°C, a izmerena kontaktna temperatura fasade bez vegetacije 26.5°C , a kontaktna temperatura zida iza vegetacije izmerena je 24.7°C. Postoj razlika u temperaturi u iznosu od 1.8°C ili 6.63%. Zapadna orijentacija vegetacionog zida tretirana je pri srednjoj vazdušnoj temperaturi od 28.8°C, izmerena kontaktna temperatura je 27.1°C za fasadni zid bez vegetacije i 25.35°C za zid sa vegetacijom. Razlika u temperaturi je 1.75°C ili 5.64%. Tokom severne orijentacije srednja vrednost temperature vazduha je 29.4°C, izmerena kontaktna temperatura 27.5°C na zidu bez vegetacije i 26.8°C na zidu sa vegetacijom. Razlika u temperaturi iznosi 0.7°C ili 5.64%.

Model M2. Model M2 ”Tab.3” predstavlja model sa platnom podlogom. Tokom južne orijentacije srednja spoljašnja temperatura iznosila je 25.5°C. Izmerena temperatura spoljašnjeg zida u delu bez vegetacije iznosila je 24.0°C, a u delu gde je zid bio obložen vegetacijom kontaktna temperatura

zida iznosila je 22.02 °C. Može se uočiti da je kontaktna temperatura fasadnog zida niža u odnosu na deo fasadnog zida koji nije tretiran zelenilom za 1.98°C ili 8.25%. Kada se posmatra istočna orijentacija srednja temperatura vazduha iznosila je 28.3°C, a izmerena kontaktna temperatura fasade bez vegetacije 26.5°C , a kontaktna temperatura zida iza vegetacije izmerena je 24.7°C. Postoj razlika u temperaturi u iznosu od 1.8°C ili 6.63%. Zapadna orijentacija vegetacionog zida tretirana je pri srednjoj vazdušnoj temperaturi od 28.8°C, izmerena kontaktna temperatura je 26.5°C za fasadni zid bez vegetacije i 24.71°C za zid sa vegetacijom. Razlika u temperaturi je 1.79°C ili 6.75%. Tokom severne orijentacije srednja vrednost temperature vazduha je 29.4°C, izmerena kontaktna temperatura 26.9°C na zidu bez vegetacije i 25.11°C na zidu sa vegetacijom. Razlika u temperaturi iznosi 1.79°C ili 6.65%. Model M3. Model M3 ”Tab.4” predstavlja model sa objedinjenim sadnim elementom. Tokom južne orijentacije srednja spoljašnja temperatura iznosila je 25.5°C . Izmerena temperatura spoljašnjeg zida u delu bez vegetacije iznosila je 23.5°C, a u delu gde je zid bio obložen vegetacijom kontaktna temperatura zida iznosila je 21.47 °C. Može se uočiti da je kontaktna temperatura fasadnog zida niža u odnosu na deo fasadnog zida koji nije tretiran zelenilom za 2.03°C ili 8.64%. Kada se posmatra istočna orijentacija srednja temperatura vazduha iznosila je 28.3°C, a izmerena kontaktna temperatura fasade bez vegetacije 25.9°C , a kontaktna temperatura zida iza vegetacije izmerena je 24.08°C. Postoj razlika u temperaturi u iznosu od 1.82°C ili 7.05%. Zapadna orijentacija vegetacionog zida tretirana je sa srednjom vazdušnom temperaturom od 28.8°C, izmerena kontaktna temperatura je 26.6°C za fasadni zid bez vegetacije i 24.82°C za zid sa vegetacijom. Razlika u temperaturi je 1.78°C ili 6.69%. Tokom severne orijentacije srednja vrednost temperature vazduha je 29.4°C, izmerena kontaktna temperatura 27.0°C na zidu bez vegetacije i 25.72°C na zidu sa vegetacijom. Razlika u temperaturi iznosi 1.28°C ili 4.74%. Komparativnom analizom ”Tab.5” može se uočiti da: Vegetacioni zidovi utiču na smanjenje kontaktne temperature fasadnog omotača [10,11,12], na koji su aplicirani; Postoje razlike u temperaturi kontaktnih površina fasadnog omotača u odnosu na vrstu modula koji je postavljen; Postignuti rezultati su ujednačeni po pitanju ostvarenih temperaturnih razlika u odnosu na modele; Pojedinačno posmatrajući Model M1 ostvario je u % najpovoljnije rezultate; Svi modeli ostvaruju veću temperaturnu razliku kada su aplicirani na južnu i istočnu stranu objekta. Praktična istraživanja pokazala su da primena vegetacionih zidova u arhitektonskim objektima u našim klimatskim uslovima obezbeđuju smanjenje potrebne energije u pogledu energije koja je potrebna za hlađenje [13,14,15,16]. u letnjem periodu u rasponu od 6 - 12%. ”Tab.6,7”

III. ZAKLJUČAK

Ovo istraživanje je pokazalo da je moguće formiranje vegetacionih zidova u našim klimatskim uslovima. Za njihovo formiranje moraju da se ispune određeni uslovi koji su preduslov za oblikovno vrednovanje ovakvih struktura.



Sl. 11. Eksperimentalni model vegetacionog zida

Razvoj tehnologije vegetacionih zidova omogućice oblikovnu razlicitost vegetativnih zidova. Analizama je dokazano da vegetacija poboljšava energetske performanse objekata u našim klimatskim uslovima. Vegetacioni zidovi su sigurni alati za poboljšanje komfora ljudi u objektima u kojima i na kojima se nalaze vegetacioni zidovi. Za pravilno definisanje novih modela vegetacionih zidova koji bi imali energetske potencijale za naše klimatske uslove neophodno je pravilno definisanje parametara komfora, poštujući propisane termičke karakteristike fasadnih omotača [17]. Praktični rezultati ovog istraživanja ogledaju se u svoobuhvatnom sagledavanju različitih aspekata formiranja vegetacionog zida u našim klimatskim uslovima. Rad na praktičnom modelu omogućio je uvid u različite aspekte formiranja vegetacionih zidova. Monitoring praktičnog modela kao i merenja koja su na njemu vršena pokazala su da vegetacioni zidovi imaju energetske potencijale za naše klimatske uslove.

LITERATURA

- [1] Brown RD, Gillespie TJ.: Microclimatic landscape design: creating thermal comfort and energy efficiency. New York: J. Wiley & Sons;1995,xi, p.193.
- [2] Dunnett N, Kingsbury N.: Planting green roofs and living walls. Portland, Or: Timber Press; 2008, VII, p.328.
- [3] Eumorfopoulou, E.A, K.J. Kontoleon.; Experimental approach to the contribution of plant covered walls to the thermal behaviour of building envelopes, Building and Environment 44 (2009) 1024–1038
- [4] Ђокић, В.: Утицај климатских промена на планирање и пројектовање, Универзитет у Београду – Архитектонски факултет Београд, Београд 2014.
- [5] Fjeld, T., Bonnevie, C.: The effect of plants and artificial day-light on the well-being and health of office workers, school children, and health care personnel, in International Horticultural Exhibition Floriade 2002. 2002.
- [6] Kaplan, S.: The restorative benefits of nature: Toward an integrative framework. Journal of Environmental Psychology, 1995. 15(3): p. 169-182.
- [7] Kumar R., Kaushik S.C.: Performance evaluation of green roof and shading for thermal protection of buildings. Building and Environment, Volume 40, Issue 11, November 2005, Pages 1505 – 1511.
- [8] Köhler, M.: Green Facades a view back and some visions. Urban Ecosystems 2008. 11(4): 423-436.
- [9] Lam M, Ip K, Miller A.: Experimental modelling of deciduous climbing plants as shading devices. In: Sustainable buildings 2002 – third international conference on sustainable buildings. Oslo, Norway: EcoBuild; 2002.
- [10] Mayer, H. and P. Hppe.: Thermal comfort of man in different urban environments. Theoretical and Applied Climatology, 1987. (1): p. 43-49.
- [11] Медвед, С.: Грађевинска физика, Универзитет у Новом Пазару, Нови Пазар 2014.
- [12] Miller A, Shaw K, Lam M.: Vegetation on building facades: “Bioshader”. Case Study Report; 2007.
- [13] Papadakis, G., Tsamis, P. & Kyritsis, S., :An experimental investigation of the effect of shading with plants for solar control of buildings. Energy and Buildings, 33, 2001. pp. 831-836.
- [14] Parker JH.: The use of shrubs in energy conservation in plantings. Landscape Journal 1987;6:132–9.
- [15] Saelens,D.,Blocken, B., Roels,S., Hens,H.: Optimization of the energy performance of multiple-skin facades, in: Ninth International IBPSA Conference, Montreal, Canada, August 15–18, 2005.
- [16] Salisbury FB, Ross CW.: Plant physiology. 4th ed. Wadsworth Publishing Company; 1992.
- [17] Santamouris M., Pavlou C., Doukas P., Mihilakakou G., Synnefa A., Hatzibiros A., Patargias P.: Investigating and analysing the energy and environmental performance of an experimental green roof system installed in a nursery school building in Athens, Greece. Energy, Volume 32, Issue 9, September 2007, Pages 1781 – 1788.

ABSTRACT

The target of this investigation is optimization of the facade covering of architectural structure, by integration of the vegetation modular elements. The study investigates the potential vegetation walls in the summer period. The Investigation encloses the analyses of energetic specificities of the vegetation walls and its programmed interactions in the urban town ambient. Usage of the elements of the vegetation walls in the architecture has opened new design possibilities and created new challenges for the designers in an aim to increase the energetic efficiencies of the structures. The study treats the vegetation walls as protective elements of architectural structures from overheating. The analyses had shown that the vegetation decreases the surface contact temperature of the structure walls, while the respiration provides a passive cooling. The purpose of the study is to investigate the methods and techniques that enable a wide application of the vegetation walls in the field of architecture of the existing and new structures through examination and findings of recommendations for improvement of the thermal characteristics of the facade coverings of the structures.

Effects of modular vegetation walls for building energy balance

Prof.dr Budimir Sudimac, doc.dr Branko Slavković, prof.dr Radojko Obradović

Trombov zid i njegov uticaj na godišnje potrebnu energiju za grijanje

Milan Pupčević¹, Biljana Antunović², Predrag Mršić³

¹Univerzitet u Banjoj Luci, Mašinski fakultet, Banja Luka, Republika Srpska

²Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, Banja Luka, Republika Srpska

³Univerzitet u Banjoj Luci, Elektrotehnički fakultet, Banja Luka, Republika Srpska

milan.pupcevic@mf.unibl.org, biljana.antunovic@aggf.unibl.org, predrag.mrsic@etf.unibl.org

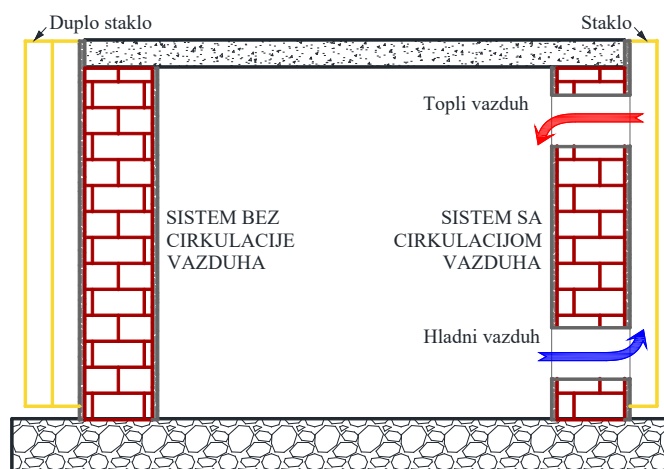
Sažetak - Trombov zid kao pojam postoji decenijama, ali našao je svoju primjenu samo u pojedinim zemljama koje imaju veliki broj osunčanih dana. Zanimljivo je uočiti da posljednjih godina, kada se od obnovljivih izvora energije solarna energija najviše potencira, malo pažnje dobijaju akumulacija solarne energije i solarni pasivni sistemi, iako su mnogo jeftiniji i jednostavniji za korišćenje malim potrošačima. Dosadašnja istraživanja navode da su primjenom Trombovog zida uštede za toplotnu energiju u toku grejne sezone i do 30%. Ideja ovog rada je da se prvenstveno definišu karakteristike za usvojeni tipski objekat na prostoru Bosne i Hercegovine i da se za navedeni objekat izračuna godišnje potrebna toplotna energija za grijanje, prema trenutno važećim evropskim standardima. S obzirom na to da je jedna od osnovnih mjera poboljšanja energetske efikasnosti objekata izolacija spoljnih zidova, drugi korak je ponovljeni proračun sa izolacijom zidova i definisanje perioda otplate. Cilj je da se dobijeni period otplate analizira sa periodom otplate ugradnje staklenih površina na južni zid postojećeg objekta, to jeste formiranjem solarnog Trombovog zida. Proračun Trombovog zida je zahtjevan zbog velikog broja nepoznatih veličina u sistemu, što je riješeno primjenom numeričke optimizacione metode Pattern Search. Na osnovu proračunom dobijenih podataka uočava se da Trombov zid, pored toga što smanjuje gubitke toplote objekta, obezbjeđuje i 25% sezonski potrebne energije za grijanje, to jeste energetska ušteda sa Trombovim zidom iznosi 36,6%.

Ključne riječi - Trombov zid; godišnje potrebna energija za grijanje; solarna energija;

I. UVOD

Trombov zid se prvi put pojavio u mjestu Odeju u Pirinejima (Francuska). Félix Trombe je 1965. godine sagradio kuću sa tamnim zidom na južnoj strani, koji je po njemu dobio naziv Trombov zid. Trombov zid je okrenut prema Suncu i zamišljen kao pasivni sunčev kolektor. Zid je istovremeno služio za apsorbovanje toplote, za akumulaciju toplote i kao tijelo za zagrijavanje unutrašnjih prostorija. Pojedini autori navode uštede za toplotnu energiju u toku grejne sezone i do 30% primjenom Trombovog zida [1], što će biti detaljno analizirano ovim radom.

Trombov zid obično se izrađuje od opeke, betona ili kamena. Na udaljenosti od 2 do 10 cm ispred zida nalazi se staklo [2], [3], prema Sl. 1.



Sl. 1. Princip rada Trombovog zida sa i bez cirkulacije vazduha

Postoji nekoliko sličnih rješenja, to jeste solarni zid može biti sa cirkulacijom vazduha (Sl. 1. desno), pasivni bez cirkulacije (Sl. 1. lijevo) ili sa većim vazdušnim prostorom između zida i stakla, što se rijetko koristi u praksi [4].

Efikasnost Trombovog zida se povećava ako se u toku noći preko njegove spoljne strane spusti zastor koji će spriječiti gubitak toplote [5].

Prednosti Trombovog zida su: ugodna toplota elemenata zgrade, rad bez pokretnih dijelova i bez održavanja, relativno lako uključivanje u izgradnju strukture kao unutrašnji ili vanjski zid i jeftini klasični građevinski materijali. Nedostatak Trombovog zida je taj da vanjski zidovi postaju izvor gubitaka toplote tokom dužih oblačnih perioda [6].

U praksi se koriste dvije konstrukcijske varijante Trombovog zida, bez otvora i sa otvorima pri osnovi i vrhu zida, a svaka sa jednim ili dva stakla na spoljnoj strani zida [7]. Nakon prolaska kroz staklo, sunčevo zračenje pada na Trombov zid i zagrijava ga. Brzina prenošenja toplote sa vanjske na unutrašnju stranu zida zavisi od materijala od kojeg je napravljen i njegove debljine. Sa ciljem sprečavanja pretjeranog zagrijavanja prostorija ispred ili iza Trombovog zida, postavljaju se odgovarajući toplotni zastori. Uopšteno, otvori za prolaz toplote u unutrašnjost u ljetnim mjesecima su zatvoreni, kako ne bi došlo do narušavanja toplotnog komfora.

Za vrijeme ventilacijskog ciklusa sunčeva energija se akumulira u spremnik, zagrijavajući pritom vazdušni kanal i uzrokujući cirkulaciju kroz otvor na vrhu i dnu zida. Za vrijeme ciklusa grijanja, Trombov zid otpušta akumuliranu toplotnu energiju [8]. U ovom radu će biti razmatran pasivni solarni zid bez cirkulacije vazduha sa dva stakla.

II. PRORAČUN GODIŠNJE POTREBNE TOPLOTNE ENERGIJE ZA GRIJANJE OBJEKTA

Usvojeni objekat je zbog broja osunčanih dana smješten lokacijski u južnu regiju Bosne i Hercegovine, tačnije u Mostar. Proračun godišnje potrebne toplotne energije je rađen prema [9] i [10].

Usvojena unutrašnja projektna temperatura objekta je 20 °C. Prema Kuliću [11] spoljna projektna temperatura za Mostar iznosi -6 °C, međutim gubici toplote neće biti definisani za fiksnu temperaturu, nego na osnovu preuzetih temperatura spoljnog vazduha za svaki mjesec prema [12].

Bruto površina osnove objekta iznosi 115,6 m², koju čine dimenzije objekta od 10,75 i 10,75 m. Visina objekta je 5,8 m. Objekat čine prizemlje i sprat, na osnovu čega je korisna površina 196,9 m², a grijana korisna zapremina 511,9 m³.

Osnovne mjere poboljšanja izolovanosti objekata u okruženju su izolacija spoljnog omotača i zamjena stolarije. Rekonstrukcija krova i poda, sistema grijanja i pripreme tople potrošne vode, kao i elektroinstalacija i opreme, skoro uvijek se radi kao druga faza sanacije objekta. S obzirom na to da je sistem solarnog zida određena vrsta izolacije omotača, to jeste ugrađuju se dva sloja stakla sa spoljne strane, pri čemu ostaje zarobljen vazduh, kao mjeru sanacije za uporednu analizu je usvojeno rješenje izolacije omotača-spoljnih zidova.

Na osnovu standardom definisanih jednačina i dobijenih vrijednosti za tražene koeficijente prolaza toplote, proračunati su gubici i dobici toplote. Rezultati proračuna su prezentovani za svaki mjesec posebno i sumarno za cijelu godinu. Vrijednosti dobijene proračunom za godišnje potrebnu energiju za grijanje $Q_{H,nd}$, koja obuhvata transmisionu Q_{tr} i ventilacionu Q_{ve} gubitke, unutrašnje Q_{int} i solarne Q_{sol} dotoke sa faktorom iskorišćenja dotoka toplote, prikazane su u Tabeli 1. Toplota koja potiče od unutrašnjih dobitaka toplote sastoji se od dobitaka od ljudi i dobitaka od električnih uređaja.

TABELA I. GODIŠNJA POTREBNA ENERGIJA ZA GRIJANJE

Mjesec	Okt.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.
Q_{tr}	2706	5516	7946	8752	6969	5988	3733
Q_{ve}	299	611	880	969	772	663	413
$Q_{H,ht}$	3006	6127	8826	9721	7741	6651	4147
Q_{int}	422	408	422	422	381	422	408
Q_{sol}	187	263	225	244	278	409	258
$Q_{H,gn}$	610	672	647	667	659	831	667
$\eta_{H,gn}$	0.97	0.99	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98
$Q_{H,nd}$	2413	5460	8180	9056	7084	5829	3491
Ukupno za sezonu grijanja $Q_{H,nd}$ [kWh]							41517

Godišnja potrebna toplotna energija za grijanje izračunava se prema jednačini (1):

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn} \quad (1)$$

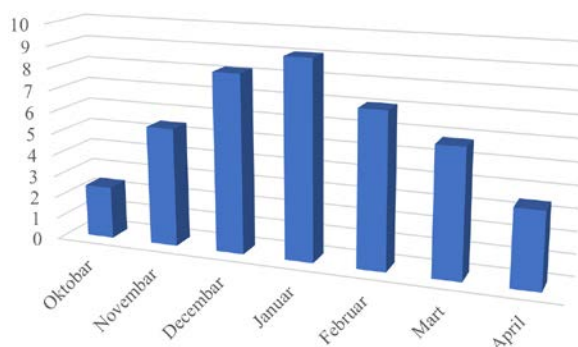
pri čemu se ukupni toplotni gubici $Q_{H,ht}$ određuju pomoću jednačine (2), a ukupni dobici toplote $Q_{H,gn}$ određuju se kao zbir ukupnih unutrašnjih i solarnih dobitaka, prema jednačini (3). Faktor iskorišćenja dobitaka toplote $\eta_{H,gn}$ definiše se u zavisnosti od toplotne akumulativnosti konstrukcija objekta.

$$Q_{H,ht} = Q_{tr} + Q_{ve} \quad (2)$$

$$Q_{H,gn} = Q_{int} + Q_{sol} \quad (3)$$

Godišnje potrebna energija za grijanje predstavljena je u vidu dijagrama po mjesečnim vrijednostima na Sl. 2.

Mjesečna potrebna energija za grijanje MWh



Sl. 2. Mjesečno potrebna energija za grijanje

III. TERMIČKE KARAKTERISTIKE TROMBOVOG ZIDA

Nažalost, nije moguće iskoristiti maksimalno dozračenu energiju na solarni vertikalni zid, zbog ugla upada sunčevih zraka i refleksije od stakla. To utiče na količinu dozračene energije koja je maksimalna kada su sunčeve zrake okomite na ravan prijemnika. Podaci o globalnom zračenju, koji su korišćeni tokom proračuna, preuzeti su iz [12], kao vrijednosti za svaki sat u toku godine.

Za usvojene karakteristike sistema dozračena energija se računa pomoću jednačine (4),

$$q_s = (\tau \cdot \alpha) \cdot G, \quad (4)$$

pri čemu su:

- G - globalno zračenje [W/m²] i
- $\tau \cdot \alpha$ - transmitivno-apsorptivne karakteristike sistema.

Zbog obimnosti rada usvojene su prosječne vrijednosti transmitivno-apsorptivnih karakteristika prema [13], [14].

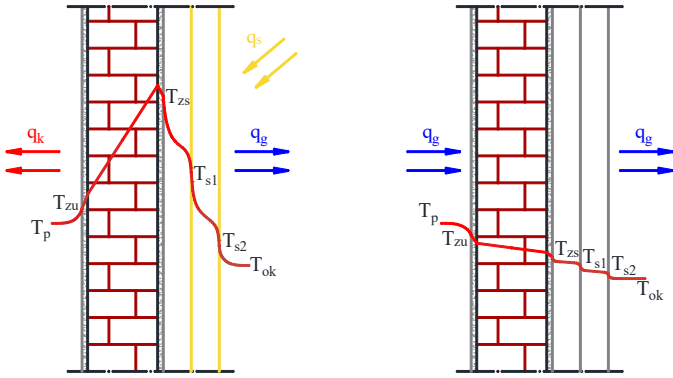
Termičke karakteristike definisane su za usvojeni sistem Trombovog zida, koji se sastoji od zida i dva stakla koji ga razdvajaju od spoljnog vazduha, a prema preporukama [15]-[18]. Trombov zid sačinjen je od opeke debljine 25 cm ($\lambda = 0,76$ W/mK), sa obostranim malterom debljine 2 cm. Stakla su na međusobnom rastojanju od 10 cm, a isti razmak je usvojen i između zida i prvog stakla.

Energija sunca koju zid prima na spoljnoj površini transformiše se u nekoliko oblika, prema jednačini (5).

$$q_s = q_k + q_a + q_g \quad (5)$$

Trenutno korisna energija za sistem je toplota koja se predaje grijanom prostoru q_k . Takođe, korisna toplota je i toplota akumulacije sistema, koja se skladišti u elementima Trombovog zida na račun povećanja temperature zida q_a . Nepovoljna osobina sistema su gubici kroz transparentne površine ka spoljnjem vazduhu q_g .

Temperaturne krive Trombovog zida se razlikuju za dva opšta slučaja, prema Sl. 3. U prvom slučaju, kod toplotnih dobitaka, temperatura zida je viša od temperature prostorije (Sl. 3. lijevo). To je moguće ukoliko trenutno postoji dozračenja sunčeva energija ili nekoliko časova posle zalaska sunca kada je temperatura zida zbog same akumulacije toplote i dalje viša od temperature prostora. Kada temperatura zida postane niža od temperature prostora tada govorimo o drugom mogućem slučaju, gubicima toplote, gdje sa vremenom rastu gubici iz prostorije (Sl. 3. desno).



Sl. 3. Raspodjela temperatura kod Trombovog zida

Kao što se uočava na Sl. 3. analiziraju se temperature površina zida, temperature oba stakla kao i temperatura u samoj unutrašnjosti zida (centar). Korisna toplota može se definisati na dva načina, pomoću karakteristike samog zida (jednačina 5) i preko konvekcije toplote sa unutrašnje površine zida u prostoriju.

Toplotni fluks kroz homogen materijal definiše se kao:

$$q_k = \frac{\lambda}{\delta} \cdot (T_{zs} - T_{zu}) \quad (6)$$

pri čemu su:

- δ [m] - debljina konstrukcije,
- λ [W/mK] - koeficijent toplotne vodljivosti elementa konstrukcije i
- T_{zs} i T_{zu} [K] - temperature površina zida, spoljna i unutrašnja.

Kao što je rečeno, korisni toplotni fluks može se definisati i prelazom toplote sa zida na vazduh u grijanoj prostoriji, pomoću jednačine:

$$q_k = (\alpha_{zu-p} - h_{r,zu-p}) \cdot (T_{zs} - T_p) \quad (7)$$

gdje su:

- α_{zu-p} [W/m²K] - koeficijent prelaza toplote (konvekcija) i
- $h_{r,zu-p}$ [W/m²K] - koeficijent prenosa toplote zračenjem sa unutrašnje površine zida na vazduh u grijanom prostoru.

Pojedini autori [17] zanemaruju toplotu zračenjem u prostor zbog male razlike u temperaturi unutrašnje površine zida i samog prostora, na osnovu čega jednačina (7) dobija oblik:

$$q_k = \alpha_{zu-p} \cdot (T_{zs} - T_p) \quad (8)$$

Prema [18] koeficijent prelaza toplote za prirodnu cirkulaciju vazduha definiše se pomoću Grashofovog (Grashof) i Nuseltovog (Nusselt) broja, prema jednačini (9):

$$\alpha_{zu-p} = \frac{Nu \cdot \lambda}{H} \quad (9)$$

Za unutrašnju površinu zida debljine $\delta = 29$ cm i visine $H = 2,6$ m, Grashofov broj definisan je jednačinom:

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot H^3}{\nu^2} \quad (10)$$

gdje su:

- g [m/s²] - ubrzanje zemljine teže,
- β [1/K] - koeficijent zapreminskog širenja,
- ΔT [K] - razlika temperature unutrašnje površine zida i temperature sobnog vazduha ($\Delta T = T_{zu} - T_p$),
- H [m] - karakteristična dimenzija i
- ν [m²/s] - kinematička viskoznost fluida.

Na osnovu dobijene vrijednosti za Grashofov broj može se očitati vrsta strujanja fluida i karakteristični Nuseltov broj. Za date karakteristike sistema urađeno je nekoliko iteracija i dobijen je uvijek isti režim strujanja fluida sa Nuseltovim brojem oblika:

$$Nu = 0,15 \cdot (Gr \cdot Pr_f)^{0,33} \cdot \left(\frac{Pr_f}{Pr_z} \right)^{0,25} \quad (11)$$

Za Prandtllove brojeve su usvojene sljedeće vrijednosti:

- $Pr_f = 0,703$ - za fluid i
- $Pr_z = 0,699$ - za zid.

Koeficijent prelaza toplote u prostoru (zarobljeni vazduh) između zida (temperature T_{zs}) i prvog stakla (T_{s1}) i između dva stakla (T_{s1} i T_{s2}) je prema [17] definisan jednačinama:

$$\alpha_{zs-s1} = 0,82 \cdot \frac{\Delta T^{0,327}}{L_1^{0,019}} \cdot [1 - 0,018 \cdot (T_{sr} - 283)] \quad (12)$$

$$\alpha_{s1-s2} = 0,82 \cdot \frac{\Delta T^{0,327}}{L_2^{0,019}} \cdot [1 - 0,018 \cdot (T_{sr} - 283)] \quad (13)$$

gdje su:

- L [m] - rastojanje između površina i
- T_{sr} [K] - srednja temperatura.

Kao poslednji konvektivni član definisan je koeficijent prelaza toplote sa drugog stakla u okolinu. S obzirom na to da je brzina strujanja okolnog vazduha promjenljiva, prema [19]-[21], ovaj član se može definisati primjenom Mek Adams (Mc Adams) jednačina:

$$\alpha_{s2-ok} = 5,7 + 3,8 \cdot w \quad \text{za } w < 5 \text{ i} \quad (14)$$

$$\alpha_{s2-ok} = 6,47 + w^{0,78} \quad \text{za } w > 5, \quad (15)$$

pri čemu je w [m/s] brzina strujanja vazduha.

Kao što je i ranije navedeno prema preporukama je usvojeno da nema zračenja od zida u grijani prostor, to jeste $h_{r,zu-p} = 0$. Ukoliko se želi definisati navedeni koeficijent prenosa toplote zračenjem, mogao bi se izraziti kako je to urađeno za zračenje sa stakla u okolni vazduh, prema sljedećoj jednačini [17]:

$$h_{r,s2-ok} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_{s2}^2 + T_{ok}^2) \cdot (T_{s2} + T_{ok}), \quad (16)$$

pri čemu su:

- ε [-] - koeficijent emisije zračenja (usvojena vrijednost 0,95) i
- σ [W/m²K⁴] - Štefan-Bolcmanova konstanta (5,668·10⁻⁸).

Prema [18], prenos toplote zračenjem između dvije paralelne površine, za razliku od jednačine (16), ima dva koeficijenta emisije zračenja. Za definisani sistem usvojene su jednake vrijednosti datih koeficijenata, a jednačine glase:

$$h_{r,zs-s1} = \frac{\sigma \cdot (T_{zs}^2 + T_{s1}^2) \cdot (T_{zs} + T_{s1})}{\frac{1}{\varepsilon_{zs}} + \frac{1}{\varepsilon_{s1}} - 1} \text{ i} \quad (17)$$

$$h_{r,s1-s2} = \frac{\sigma \cdot (T_{s1}^2 + T_{s2}^2) \cdot (T_{s1} + T_{s2})}{\frac{1}{\varepsilon_{s1}} + \frac{1}{\varepsilon_{s2}} - 1}. \quad (18)$$

Gubici toplote sistema od spoljne apsorbujuće površine zida prema okolnom vazduhu mogu se definisati na više načina. Toplotni fluks između zida i prvog stakla je identičan fluksu između dva stakla kao i između stakla i okolnog vazduha, prema jednačinama (19) i (20):

$$q_g = U_{gs} \cdot (T_{zs} - T_{ok}) = (\alpha_{zs-s1} + h_{r,zs-s1}) \cdot (T_{zs} - T_{s1}) \text{ i} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} q_g &= (\alpha_{s1-s2} + h_{r,s1-s2}) \cdot (T_{s1} - T_{s2}) = \\ &= (\alpha_{s2-ok} + h_{r,s2-ok}) \cdot (T_{s2} - T_{ok}). \end{aligned} \quad (20)$$

Za poznate temperature okoline i pretpostavljenu temperaturu spoljne površine zida, mogu se definisati gubici toplote od solarnog zida u okolinu. Na osnovu pretpostavljenih

temperatura (ili mjerenih) prvenstveno se definišu koeficijenti prenosa toplote konvekcijom i zračenjem, a zatim ukupni koeficijent gubitaka kao:

$$U_{gs} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{zs-s1} + h_{r,zs-s1}} + \frac{1}{\alpha_{s1-s2} + h_{r,s1-s2}} + \frac{1}{\alpha_{s2-ok} + h_{r,s2-ok}}}. \quad (21)$$

Posljednji ali najvažniji dio toplote ovog sistema je toplota akumulirana u konstrukciji, koja se može izraziti preko porasta temperature konstrukcije:

$$q_a = \frac{\delta \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta T_z}{\tau_v}, \quad (22)$$

pri čemu su:

- ρ [kg/m³] - gustina materijala od kojeg je sačinjen zid,
- c [J/kgK] - specifični toplotni kapacitet materijala konstrukcije,
- ΔT [K] - temperaturna razlika zida za usvojeni vremenski period τ_v , ukoliko se proračun vrši za svaki čas poznata je temperatura na početku (za prošli čas) a temperatura na kraju akumulacije (trenutna) se izračunava na osnovu akumulirane toplote.

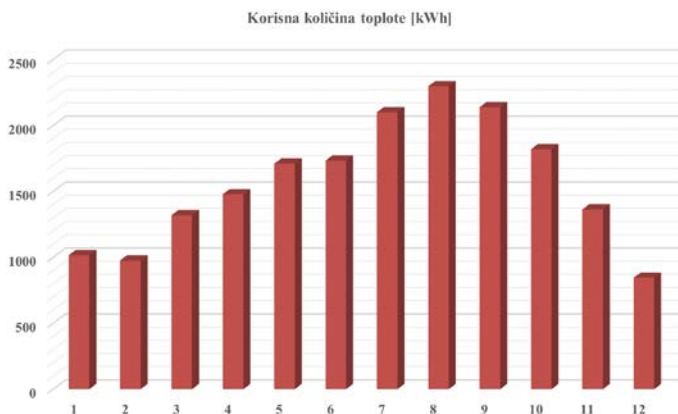
Prema izloženom matematičkom modelu napisan je program za proračun temperatura razmatranih površina, pri čemu se temperature dobijaju iterativno. Program preuzima dostupne podatke iz excel fajla za dozračenu energiju, spoljnu temperaturu i brzinu vazduha za svaki sat.

Na osnovu prve pretpostavke program iterativno proračunava temperature površina za prvi usvojeni čas, a zatim sa tim dobijenim temperaturama računa za sljedeći, sve dok ne uradi za cijelu godinu to jeste 8760 časova. Za rješavanje nelinearnih algebarskih jednačina, tokom programiranja za proračun traženih temperatura korišćena je numerička optimizaciona metoda Pattern Search.

Prema vrijednostima dobijenim za korisnu i akumuliranu toplotu, kao i za gubitke, može se definisati uticaj tih količina toplote na ukupnu sezonski potrebnu toplotnu energiju za grijanje. Da bi se to analiziralo proračun godišnje potrebne energije za grijanje urađen je i treći put, ali sa izostavljenim južnim zidom objekta, koji je Trombov zid i nema tih gubitaka nego se računaju posebno. Potrebna energija se smanjuje sezonski sa 41518 kWh na 35138 kWh sezonski.

Na osnovu podataka dobijenih proračunom uočava se da solarni zid na južnoj strani, pored toga što smanjuje gubitke toplote objekta, obezbjeđuje i 25% sezonski potrebne energije (Sl. 4.), to jeste 8813 kWh toplotne energije u odnosu na 35138 kWh koliko je potrebno za grejnu sezonu.

Ukoliko se analizira energetska ušteda sa Trombovim zidom, kada se od ukupno potrebne toplotne energije u iznosu od 35138 kWh oduzme količina koju je obezbijedio Trombov zid (8813 kWh), dobija se umanjenje potrebne energije za grijanje sa 41518 na 26325 kWh. Može se zaključiti da je energetska ušteda sa Trombovim zidom 36,6%.



Sl. 4. Korisna mjesečna količina toplote koja se oslobodi u prostor

IV. EKONOMSKA ANALIZA

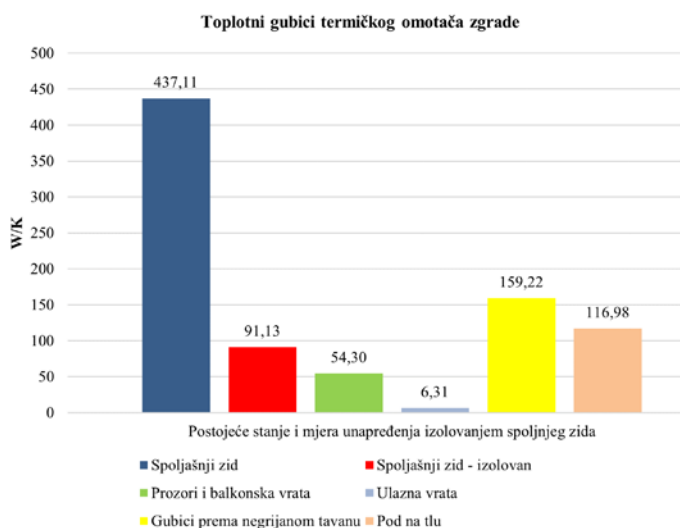
Na osnovu proračuna gubitaka toplote uočava se da je površina spoljnih zidova 229 m². Investicija za izolaciju objekta sa ekstrudiranim polistirenom ($\lambda = 0,035$ W/mK), debljine 10 cm, definisana je kao:

$$C_t = c_i \cdot A_i = 50 \cdot 229 = 11450 \text{ [KM]}, \quad (23)$$

pri čemu su:

- C_t [KM] - investicioni troškovi,
- c_i [KM/m²] - jedinična cijena radova (usvojeno kao prosječna cijena za 2022. godinu) i
- A_i [m²] - površina izolovanog zida.

Za novu karakteristiku konstrukcije (koeficijent prolaza toplote spoljnog zida umanjeno je sa $U = 1,859$ na $U = 0,3$ W/m²K), izvršen je cjelokupni navedeni proračun ponovo sa novim parametrima. Definirana je nova vrijednost godišnje potrebne toplote za grijanje u iznosu 22502 kWh ili 114,3 kWh po 1 m² grijanog prostora. U odnosu na postojeće stanje smanjenje potrošnje toplotne energije, sa 41518 na 22502 kWh, iznosi 46%. Na Sl. 5. uočava se udio gubitaka toplote u zavisnosti od elementa konstrukcije, kao i poboljšanje izolovanjem objekta.



Sl. 5. Udio gubitaka toplote u zavisnosti od elementa konstrukcije

Za prikaz isplativosti projekta korištena je metoda perioda povrata. Otplatni period je period potreban da se investiciono ulaganje pokrije očekivanim pozitivnim gotovinskim tokovima. Broj godina potrebnih za nadoknadu ulaganja je jednak početnom ulaganju kroz godišnji novčani prihod, prema jednačini:

$$C_t = \sum_{\tau=1}^{\tau_p} C_{\tau} \Rightarrow \tau_p = \frac{C_t}{C_{\tau}}, \quad (24)$$

pri čemu su:

- τ_p [god] - period povrata i
- C_{τ} [KM] - čisti novčani tok po godinama τ .

Period otplate navedene investicije definisan je za dva izvora toplote sistema grijanja, i to za električnu energiju (τ_{pe}) i pelet (τ_{pp}), prema sledećim jednačinama:

$$\tau_{pe} = \frac{C_t}{C_{\tau_e}} = \frac{11450}{3423} = 3,3 \text{ [god]} \text{ i} \quad (25)$$

$$\tau_{pp} = \frac{C_t}{C_{\tau_p}} = \frac{11450}{1826} = 6,3 \text{ [god]}, \quad (26)$$

pri čemu su čisti novčani tokovi po godinama, za trenutne cijene energenata, definisani kao:

$$C_{\tau_e} = (Q_{H,nd} - Q_{H,nd,2}) \cdot C_{ee} = 3423 \text{ [KM]} \text{ i} \quad (27)$$

$$C_{\tau_p} = (Q_{H,nd} - Q_{H,nd,2}) \cdot C_{pe} = 1826 \text{ [KM]}. \quad (28)$$

Treba naglasiti da je period otplate izolovanja objekta, sa električnom energijom kao energentom, veoma kratak zato što su godišnji troškovi za grijanje veoma visoki, tačnije za grijanje sa elektro kotlom 7475 KM. Na Sl. 6. uočava se period otplate za navedene kotlove kojima su energenti pelet i električna energija, a pored toga definisan je period otplate za sistem grijanja primjenom toplotne pumpe i gradske toplane.

Ukoliko se ugradnjom Trombovog zida godišnja potrošnja energenta umanjuje za navedenih 15193 kWh, ušteda na energentu iznosi 2735 KM za grijanje električnim kotlom, odnosno 1459 KM za grijanje na pelet:

$$C_{\tau_e} = 15193 \cdot 0,18 = 2735 \text{ [KM]} \text{ i} \quad (29)$$

$$C_{\tau_p} = 15193 \cdot 0,096 = 1459 \text{ [KM]}. \quad (30)$$

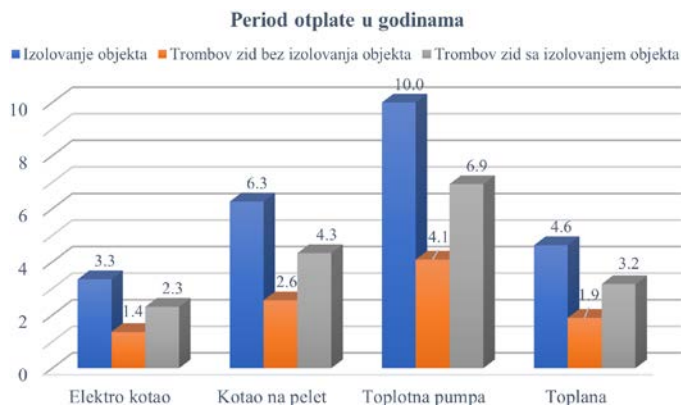
Za investiciju duplog staklenog solarnog zida, koja iznosi 3726 KM prema jednačini (31):

$$C_t = c_i \cdot A_i = 60 \cdot 62,1 = 3726 \text{ [KM]}, \quad (31)$$

mogu se definisati periodi otplate za iste energente prema sljedećim jednačinama:

$$\tau_{pe} = \frac{C_t}{C_{\tau_e}} = \frac{3726}{2735} = 1,4 \text{ [god]} \text{ i} \quad (32)$$

$$\tau_{pp} = \frac{C_t}{C_{\tau_p}} = \frac{3726}{1459} = 2,6 \text{ [god]}. \quad (33)$$



Sl. 6. Period otplate u funkciji tipa energenta i stepena izolovanosti objekta

V. ZAKLJUČAK

Za stambeni porodični objekat, lokacijski pozicioniran u Mostaru, prvenstveno su definisane karakteristike omotača i svih građevinskih slojeva. Prema trenutno važećim pravilnicima u BiH, definisana je godišnje potrebna energija za grijanje. Proračun je rađen za grejnu sezonu, to jeste od 1. oktobra do 30. aprila. Dobijena vrijednost sezonski potrebne toplote za grijanje iznosi 41517,6 kWh, to jeste 210,9 kWh/m² grijanog prostora.

Ukoliko se na objektu primijeni mjera poboljšanja u vidu izolacije spoljnih zidova, čija investicija iznosi 11450 KM, period otplate navedene investicije sa sistemom grijanja pomoću električne energije i elektro kotla iznosi 3,3 godine, to jeste sa grijanjem na pelet 6,3 godina. Naravno, navedena analiza je zahtijevala ponovljen proračun godišnje potrebne energije za grijanje.

Na osnovu pregledne analize velikog broja radova i istraživanja, definisane su jednačine za termičku analizu Trombovog zida. Na osnovu dozračene sunčeve energije, definisane korisne energije koja se odaje prostoru kao i akumulirane energije u zidu i gubitaka ka okolini, može se analizirati uticaj Trombovog zida na godišnje potrebnu energiju za grijanje. Period otplate za investiranje u solarni zid iznosi 1,4 godine sa elektro kotlom kao izvorom toplote to jeste 2,6 godina sa grijanjem na pelet kao gorivom. Na osnovu navedenog uočava se da je period otplate investicije u Trombov zid za 60% kraći od investicije u izolaciju omotača objekta.

Ukoliko se za navedeni objekat investira i u izolaciju spoljnih zidova i u Trombov zid, tada je vrijednost godišnji potrebne energije za grijanje 12473 kWh, to jeste energetska ušteda je 29045 kWh. Navedeno umanjenje u potrošnji toplotne energije daje godišnje uštede za električnu energiju ili pelet kao energente redom: 5228 KM i 2788 KM. U tom slučaju Trombov zid obezbjeđuje 41,4% potrebne energije za grijanje.

LITERATURA

- [1] X. Hong, W. He, Z. Hu, C. Wang, and J. Ji, Three-Dimensional Simulation On The Thermal Performance Of A Novel Trombe Wall With Venetian Blind Structure, *Energy and Buildings* (2014).
- [2] A. Abdeena, A. Serageldinb, M. Ibrahima, A. El-Zafarany, S. Ookawarad, and R. Muratad, Experimental, analytical, and numerical investigation into the feasibility of integrating a passive Trombe wall into a single room, *Applied thermal engineering* 154 (2019).
- [3] S. Corasaniti, L. Manni, F. Russo, and F. Gori, Numerical simulation of modified Trombe-Michel Walls with exergy and energy analysis, *International Communications in Heat and Mass Transfer* 88 (2017).
- [4] X. He, Ventilation optimization of solar greenhouse with removable back walls based on CFD, *Computers and Electronics in Agriculture* (2017).
- [5] <http://www.yourdictionary.com/trombe-wall>
- [6] M. Pupčević, Primjena reverzibilnog ciklusa centrifugalnog rashladnog uređaja za konverziju geotermalne i solarne energije u električnu, završni rad drugog ciklusa, Mašinski fakultet Banja Luka, 2016.
- [7] T. Bajc, and M.N. Todorović, CFD Analyses for Passive House with Trombe Wall and Impact to Energy Demand, *Energy and Buildings* (2014).
- [8] B.K. Koyunbaba, and Z. Yilmaz, The comparison of Trombe wall systems with single glass, double glass and PV panels, *Renewable Energy* 45 (2012).
- [9] Pravilnik o minimalnim zahtjevima za energetske karakteristike zgrada, Ministarstvo za prostorno uređenje, građevinarstvo i ekologiju Republike Srpske, Službeni glasnik Republike Srpske, broj 30/15.
- [10] Pravilnik o metodologiji za izračunavanje energetske karakteristike zgrada, Ministarstvo za prostorno uređenje, građevinarstvo i ekologiju Republike Srpske, Službeni glasnik Republike Srpske, broj 30/15.
- [11] E. Kulić, Priručnik za projektovanje sistema grijanja sa riješenim primjerima, Mašinski fakultet u Sarajevu, KGH broj 4/1981.
- [12] Pravilnik o minimalnim zahtjevima za energijskim karakteristikama zgrada, Federalno ministarstvo prostornog uređenja, Službene novine federacije BiH, broj 81/2019, prilog E-klima.
- [13] A. Briga, A. Martins, J.B. Cunha, J.C. Lanzinha, and A. Paiva, Energy Performance of Trombe Walls: Adaptation of Iso 13790:2008(E) to The Portuguese Reality, *Energy and Buildings* 74, May 2014.
- [14] D. Lilić, Doprinos sunčevog zračenja kroz zastakljene površine bilansu toplote brodskih prostora, *Naučnotehnički pregled*, vol. L, br. 3, 2000.
- [15] I. Hernandez, J. Xaman, Y. Chavez, I. Hernandez, and R. Alvarado, Thermal energy storage and losses in a room-Trombe wall system located in Mexico, *Energy* 109 (2016).
- [16] W. Li, and W. Chen, Numerical analysis on the thermal performance of a novel PCM-encapsulated porous heat storage Trombe-wall system, *Solar Energy* 188 (2019).
- [17] M. Lambić, Solar walls The passive solar heating, University of Novi Sad, 1999.
- [18] Đ. Kozić, B. Vasiljević, i V. Bekavac, Priručnik za termodinamiku u jedinicama SI, Mašinski fakultet u Beogradu, 2005.
- [19] O. Rejeb, H. Dhaou, and A. Jemni, Parameters effect analysis of a photovoltaic thermal collector: Case study for climatic conditions of Monastir, Tunisia, *Energy Conversion and Management*, Volume 89, 2015, Pages 409-419.
- [20] M. Mirsadeghi, D. Cóstola, B. Blocken, and J. Hensen, Review of external convective heat transfer coefficient models in building energy simulation programs: implementation and uncertainty, *Applied Thermal Engineering*, March 2013.
- [21] E. Santolinib, B. Pulvirentia, S. Bennib, L. Barbaresia, D. Torreggiani, and P. Tassinari, Numerical study of wind - driven natural ventilation in a greenhouse with screens, *Computers and Electronics in Agriculture*, 2017.

Termoizolacija od recikliranog tekstila za omotač zgrada

Ana Jojić¹, Biljana Antunović²

¹ Ministarstvo odbrane i Oružane snage Bosne i Hercegovine,

² Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, Banja Luka, Republika Srpska
ana_jojic@hotmail.com, biljana.antunovic@aggf.unibl.org

Sažetak — U ovom radu predstavljen je opšti osvrt uticaja tekstilne industrije na zagađenje životne sredine. Analiziran je efekat tekstilnog otpada na životnu sredinu i mogućnost korištenja recikliranog tekstila kao materijala za termoizolaciju objekata. Predstavljene su tri metode reciklaže: tehnika direktne metode, tehnika netkanog materijala i tehnika kombinovanja sa građevinskim materijalom. Na primjeru tipskog objekta izgrađenog u Bosni i Hercegovini, rezultati su pokazali da je najbolja metoda reciklaže tekstilnog materijala „Tehnika netkanog materijala“.

Gljučne riječi — tekstilna industrija, zagađenje životne sredine, reciklaža, termoizolacija

I. UVOD

Industrijska revolucija je dala novu savremeniju tehnologiju, koja je učinila proces proizvodnje tekstila bržim i efikasnijim. Do kraja 20. i ranog 21. vijeka, trgovci na malo poput *H&M*-a i *Zare* uključili su ovaj brzi način proizvodnje u svoje vlastite lance snabdijevanja, proizvođači visoku modu jeftino i brzo. Jedan od najvećih izazova 21. vijeka je osigurati održivost na svim nivoima energetske resursa i ekološkog konteksta. U energetskom sektoru primjetna je neravnoteža između potrošnje i ograničenih resursa energije, dok je u sektoru zaštite životne sredine, zabrinutost uzrokovana brzim porastom svjetske populacije i povećanjem tendencije odlaganja tekstilnog materijala na deponiju kao otpada prije isteka životnog vijeka proizvoda [1]. Građevinski sektor se smatra jednim od glavnih potrošača globalne energije. Procjenjuje se da zgrade troše oko 40% svjetske globalne energije, 25% vode i 40% globalnih resursa [2]. Termoizolacija u građevinskim materijalima može igrati vitalnu ulogu u smanjenju potrošnje energije. Korišćenjem efikasnih termoizolacionih materijala, a time i minimiziranjem gubitaka toplote tokom grijanja i dobivanja toplote tokom hlađenja zgrade, može se ostvariti značajna ušteda energije. Postoji više načina za smanjenje emisije CO₂ tokom izgradnje i renoviranja objekata. Neke od efikasnih tehnika su: poboljšanje dizajna zgrada radi uštede energije, povećanje upotrebe održivih građevinskih materijala, kao što je ponovna upotreba ili reciklaža, povećanje upotrebe obnovljivih izvora energije, smanjenje potrošnje električne energije korištenjem efikasnijih instrumenata, opreme i rasvjete. Trenutno su najčešće upotrebljavani građevinski izolacioni materijali koji se proizvode od sintetičkih materijala uključujući: staklena vlakna, mineralnu vunu i plastiku. U današnje vrijeme raste svijest o korištenju ekološki prihvatljivih

i zdravih materijala. Ovakva shvatanja motivisala su ljude da koriste prirodne i reciklirane materijale. Zbog toga se postepeno povećava potreba za korištenjem građevinskih izolacijskih materijala od bezopasnih prirodnih materijala i recikliranih proizvoda. Nekoliko od ovih materijala je već prisutno na tržištima, ali velika većina je u fazi istraživanja ili razvoja.

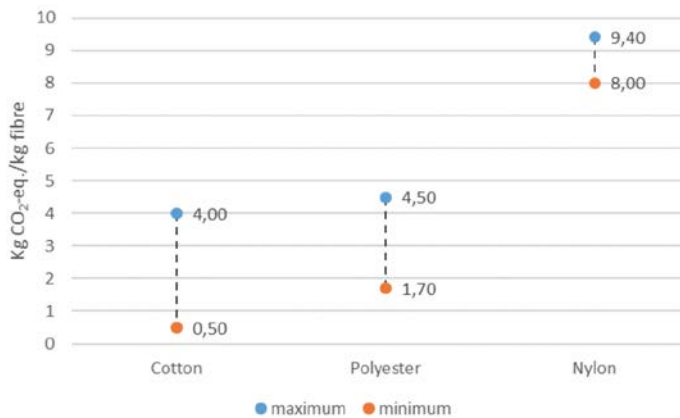
II. UTICAJ TEKSTILNOG OTPADA NA ŽIVOTNU SREDINU

Modna industrija je druga industrija u svijetu koja najviše zagađuje okolinu, nakon nafte. Proizvodnja i potrošnja tekstila imaju značajan uticaj na životnu sredinu, uključujući: emisiju gasova sa efektom staklene bašte, crpljenje prirodnih resursa, uništavanje zemljišta, prekomjernu potrošnju energije, upotrebu štetnih hemikalija (Sl. 1), oslobađanje mikroplastike, uticaj na zdravlje ljudi i mnoge druge. Uzgoj sirovina, proizvodnja, transport, marketing, prodaja, reciklaža i upravljanje otpadom, zahtijeva ogromne količine energije i oslobađa štetne materija u okolinu. Važno je shvatiti da svaki korak u ovom procesu ima ogromne efekte na životnu sredinu.



Sl. 1. Zagađenje vode prouzrokovano farbanjem tekstila [3]

Prema UN-ovom savezu za održivu modu, modna industrija je odgovorna za 8-10% svjetske emisije plinova sa efektom staklene bašte i 20% zagađenja industrijskih otpadnih voda širom svijeta koje se pripisuje farbanju tekstila [3]. Sl. 2 prikazuje emisije gasova staklene bašte vezane za proizvodnju po kilogramu različitih vrsta vlakana. Budući da različiti izvori pokazuju značajne varijacije u procjenama klimatskih promjena, brojke pokazuju minimalne i maksimalne vrijednosti [4].



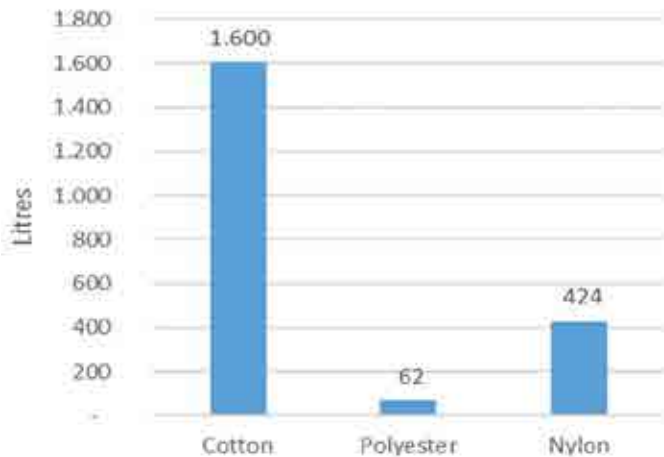
Sl. 2. Emisija gasova sa efektom staklene bašte po kilogramu proizvedenog tekstila [4]

Kada se fokusiramo na korištenje resursa, sintetička vlakna se obično povezuju sa velikim uticajima zagađenja jer potiču od fosilnih derivata. Procjenjuje se da je za proizvodnju plastičnih vlakana za tekstil godišnje potrebno više od 54 milijarde litara nafte [5].

Modna industrija je druga najveća potrošačka industrija vode. Za proizvodnju obične pamučne majice potrebno je oko 2.700 litara vode i oko 7.570 litara vode za farmerke [6]. Na slici (Sl. 3) prikazana je potrošnja vode prilikom proizvodnje pamučnih, poliesterskih i nailonskih vlakana po 1 kg tekstila [4].

Hemijski dodaci se koriste u svim fazama proizvodnje vlakana i tekstila, širom svijeta više od 10.000 različitih boja i pigmenta se koriste samo u tekstilnoj i štamparskoj industriji. Većina se koristi kao završni tretman za voodopornost, odbijanje mrlja, protivpožarna svojstva kao i antistatička svojstva.

Mikroplastika se izbacuje iz sintetičkog tekstila tokom čitavog životnog ciklusa: od proizvodnje vlakana i tkanina, preko upotrebe i pranja, do konačnog odlaganja bilo spaljivanjem ili reciklažom. Iako su otkrivene i velike količine prirodnih polimernih vlakana poput celuloze i vlakana životinjskog porijekla, procjenjuje se da između 0,2 i 0,5 miliona tona mikroplastike iz tekstila ulazi u morski ekosistem svake godine [5].



Sl. 3. Potrošnja vode za proizvodnju 1 kg tekstila [4]

Pranje u domaćinstvu tokom upotrebe tekstila smatra se relativno velikim izvorom mikroplastike koja odlazi u okolinu. Procjenjuje se da jedan ciklus pranja sa sintetičkim tekstilom može emitovati između 700.000 i 6.000.000 mikroplastičnih vlakana, što predstavlja do 0,5% ukupne mase proizvoda [7].

III. IZVOR I RECIKLAŽA TEKSTILNI OG OTPADA

Potrošnja odjeće i tekstilnih proizvoda ubrzano raste zbog povećanja svjetske populacije, kupovne moći potrošača i promjena u potrošnji i modnim obrascima. Tekstilne industrije brze mode (*fast fashion*) odgovorne su za visoku proizvodnju i potrošnju odjeće i tekstila. U roku od 15 godina, od 2000. do 2014. godine, globalna proizvodnja odjeće porasla je za 100%. Procjenjuje se da se godišnje proizvede oko 92 miliona metričkih tona (mt) (Sl. 4) tekstilnog otpada i da će se taj otpad vjerovatno povećati za oko 60% od 2015. do 2030. godine [8]. Prikupljeni tekstilni otpad se odvojeno sortira i veliki dio se izvozi za ponovnu upotrebu ili reciklažu u inostranstvo, uglavnom van Evrope. Dok se procenti razlikuju od zemlje do zemlje, oko 60–70% svih prikupljenih tekstila se ponovo koristi u zemlji ili inostranstvu, 10–30% se reciklira, a 10–20% se spali ili odlaže na deponiju [9]. Ogromna količina otpada nastaje u tekstilnoj industriji tokom procesa proizvodnje. Ovaj otpad se sastoji od kratkih vlakana, prediva, niti, otpada od rezanja, ostataka tkanine i odbačenih tkanina u odjeljcima za kontrolu kvaliteta [10].

Tekstilni otpad dolazi iz raznih izvora, počevši od proizvođača vlakana do krajnjih korisnika. Iako većina tekstilnog otpada dolazi iz domaćinstava, povećava se i otpad sa proizvodnih linija. Na osnovu izvora, tekstilni otpad se može klasifikovati kao pretpotrošački ili postindustrijski i post-potrošački [11].

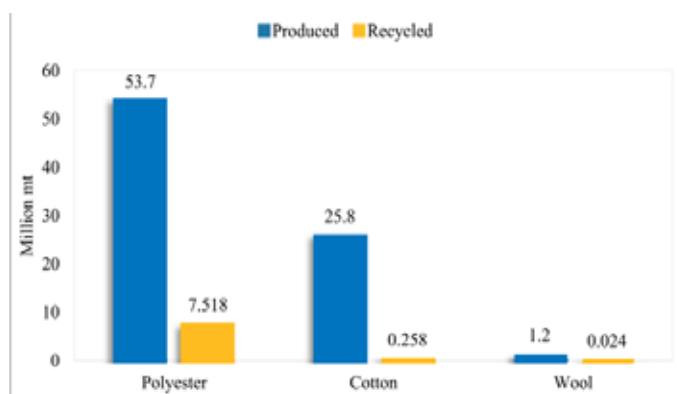


Sl. 4. Deponija tekstilnog otpada [8]

Pretpotrošački otpad ili postindustrijski otpad nastaje tokom procesa proizvodnje odjeće i tekstila. Ove vrste otpada uključuju kratka vlakna, čestice, otpad od pređe, odbačene tkanine zbog grešaka u proizvodnji ili bojenju, otpad od rezanja odjeće i odbačene odjevne predmete [12]. Procjenjuje se da u procesu proizvodnje otpada ukupno 10-20% tekstila [9]. Postindustrijski tekstilni otpad smatra se djevičanskim ili čistim otpadom jer se materijali odbacuju bez upotrebe. Tekstilni otpad nakon potrošnje se odnosi na bilo koju vrstu odjeće ili

tekstila koje potrošač više ne koristi zbog oštećenja, istrošenosti, zastarjelosti ili bilo kojih drugih problema u materijalima.

Tekstilni otpad se može koristiti u različite svrhe ponovnom upotrebom ili reciklažom (Sl. 5). Ponovna upotreba tekstilnog otpada znači proširenje upotrebljivosti tekstila sa ili bez neke prethodne izmjene te prenošenje na novog potrošača. Reciklaža znači pretvaranje tekstilnog otpada u nove (tekstilne ili netekstilne) proizvode sa ili bez oštećenja prethodnog. Reciklaža tekstilnog otpada može biti: mehanička, hemijska, termička ili njihova kombinacija. Na osnovu krajnjih proizvoda, reciklaža se može podijeliti u dvije kategorije. Jedan je reciklaža u okviru proizvodnog procesa koji se odnosi na proizvodnju novih predmeta koji su slični tekstilu. Drugi pristup je reciklaža iz proizvodnog procesa koji se odnosi na proizvodnju drugačijeg predmeta kao što je razvoj kompozitnog materijala za građevinsku izolaciju [12]. Tekstilni otpad varira u zavisnosti od: boja, vrsta, sastava i svojstava, što otežava pronalazjenje odgovarajuće tehnike reciklaže [13]. Reciklaža tekstilnog otpada u građevinske izolacione materijale ima potencijalne koristi u ekološkim, zdravstvenim, društvenim i ekonomskim sektorima. Upotreba visokokvalitetnih materijala za toplotnu izolaciju može smanjiti opterećenje na životnu sredinu, potrošnju energije, prostor potreban za deponiju, djevičanske vlaknaste materijale, gasove staklene bašte, zagađenje, može uštedjeti naftu, gorivo i prirodne resurse i poboljšati kvalitet životne sredine.



Sl. 5. Poređenje proizvedenih i recikliranih vlakana [14]

IV. KARAKTERISTIKE IZOLACIONIH MATERIJALA OD RECIKLIRANOG TEKSTILA

Kako je vrsta tekstilnog otpada različita, uključujući industrijski ili post-potrošački, sintetički i prirodni, samim tim i proces konverzije je različit. Uopšteno, u početku se tekstil za pretpotrošačku ili post-potrošačku odjeću akumulira iz različitih tekstilnih industrija i potrošača. Nakon toga, otpad se razdvaja prema vrsti vlakana, kvalitetu i boji. Zatim se ovaj otpad reže na male komade, usitnjava i pažljivo spaja bez prekida dužine vlakana. Dobijena vlakna se ponovo sortiraju na osnovu karakteristika uključujući dužinu, snagu i broj vlakana [15].

A. Tehnika direktne metode

U ovoj metodi, tkanine se direktno koriste za proizvodnju izolacionih materijala bez pretvaranja tkanina u vlakna. U nekim slučajevima, rasitnjavanje tkanine u vlakna može dovesti do gubitka strukture i mehaničke čvrstoće vlakana. Sintetičke tkanine poput poliestera mogu se istopiti zbog toplote koja nastaje primjenom mehaničke sile tokom pretvaranja tkanina u vlakna. Osim toga, ponekad reciklaža vlakana možda neće biti ekonomski isplativa zbog većeg potrebnog vremena i energije. U tim slučajevima, tkanine se direktno koriste za izradu izolacionih materijala [16]. Trajković i saradnici su tri različita tipa korištene poliesterske odjeće isjekli na sitne komade približnih dimenzija i nakon toga, obložili ih korištenjem 100% polipropilena te na taj način pripremili izolacioni materijal. Primjenom ove metode postignuta su veoma dobra toplotna svojstva sa toplotnom provodljivošću u rasponu od 0,052 do 0,060 W/mK. Takođe su utvrdili da njihovi izolacijski materijali imaju dobru otpornost na vatru i da su manje razgrađivi u vlažnom stanju [16].

B. Tehnika netkanog materijala

Netkani materijali su idealna metoda za proizvodnju izolacionih materijala zbog svoje jedinstvene orijentacije vlakana i porozne strukture [17]. Opšti koraci koji se koriste u tehnikama netkanog materijala počinju od vlakana ili polimera koji se recikliraju iz tekstilnog otpada. Reciklirana vlakna se zatim pretvaraju u mreže različite površinske gustine. Nakon formiranja mreže, potrebno je da postoji neka vrsta vezivanja između vlakana kako bi se povećala čvrstoća i stabilnost materijala. Uglavnom postoje tri različita procesa vezivanja: hemijsko, termalno i mehaničko vezivanje. Odabir procesa formiranja mreže i vezivanja zavisi od nekoliko faktora uključujući: tip vlakna, potrebnu čvrstoću, gustoću, debljinu i željena svojstva krajnje upotrebe proizvedenog netkanog materijala. Zach i saradnici su proizveli termo-izolacijske materijale koristeći reciklirana pamučna, poliesterska i lanena vlakna. Nakon formiranja slojeva vlakana u obliku mreže, vezivanje se vršilo postupkom vrućeg zraka ili mehaničkim spajanjem. Prosječna toplotna provodljivost njihovih materijala bila je 0,037– 0,049 W/mK [18].

C. Kombinovanje sa građevinskim materijalom

Tekstilni otpad se decenijama koristi sa građevinskim materijalima (kreč, cement i dr.). Pretvaranje tekstilnog otpada u materijale za toplotnu izolaciju je vrlo jednostavno kada se koristi sa građevinskim materijalima na način da se tekstilni otpad pomiješa u odgovarajućem omjeru sa cementom, vodom, ciglom i drugim građevinskim materijalima. Del Mar Barbero-Barrera i ostali koristili su otpad od tekstilnih vlakana sa prirodnim hidrauličnim krečom za proizvodnju ploča sa većim svojstvima toplotne izolacije. Prvobitno je tekstilni otpad (uglavnom pamuk) prikupljan iz industrije, a bez dalje obrade, ovaj otpad je pomiješan sa prirodnim hidrauličnim krečom i vodom. Nakon nekoliko dana očvršćavanja i sušenja uzorak je testiran. Utvrdili su da je najbolja toplotna provodljivost od 0,14 W/mK [10].

Uz dobra toplotna svojstva, komercijalno uspješan termoizolacioni materijal trebao bi imati i neka druga važna svojstva, uključujući otpornost na vatru i vodu. Svojstva otpornosti na vatru izolacionih materijala mogu se ocijeniti pomoću nekoliko parametara uključujući povećanje temperature, brzinu gubitka mase, oslobađanje toplote i proizvodnju dima. Svojstva otpornosti na vatru prirodnih vlakana mogu se povećati posebnim hemijskim tretmanom ili miješanjem prirodnih vlakana sa sintetičkim termoplastičnim vlaknima koja imaju bolju otpornost na vatru. Termoplastična sintetička vlakna poput recikliranog poliestera imaju relativno bolja svojstva otpornosti na vatru. Termoplastična vlakna se skupljaju prilikom sagorjevanja, tope se i kapaju u dodiru sa plamenom zbog čega vlakna prestaju da sagorijevaju. Poželjno je da izolacijski materijali posjeduju odgovarajuću otpornost na vlagu. Termoizolacijski materijali, posebno proizvedeni od organskih prirodnih vlakana, mogu biti oštećeni biološkom korozijom (razgradnja od strane bakterija, napadnuti plijesni i gljivicama) kada su dugo izloženi visokoj vlazi ili dođu u dodir sa vodom. Osim toga, termoizolacijska svojstva materijala opadaju sa povećanjem vlažnosti. Kako sintetička vlakna imaju veću otpornost na vlagu, miješanjem recikliranih sintetičkih i prirodnih vlakana kako bi se smanjila apsorpcija vlage može imati veću korist za okolinu umjesto tretiranja toksičnim hemikalijama.

V. POREĐENJE TOPLOTNIH KARAKTERISTIKA FASADNOG ZIDA ZA TRI TEHNIKE DOBIJANJA IZOLACIJE OD RECIKLIRANOG TEKSTILA

76

Analiza primjene termoizolacionih materijala od recikliranog tekstila je urađena na osnovu postojećeg stanja termičkih karakteristika odabranog tipskog objekta (Sl. 6) na području Bosne i Hercegovine.



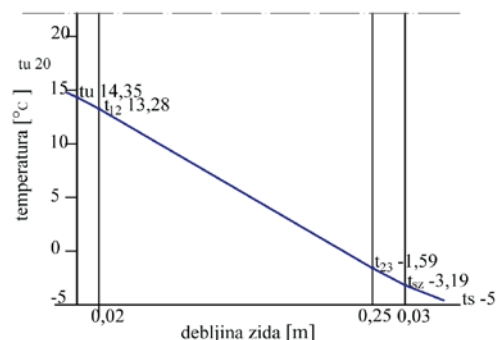
Sl. 6. Slobodnostojeći objekat jednoporodičnog stanovanja, period gradnje 1971-1980 [20]

Usvojeni parametri za proračun potrebne debljine izolacionog sloja su korišteni iz već postojećih istraživanja autora i njihovih tehnika: tehnika direktne metode [16], tehnika netkanog materijala [18] i tehnika kombinovanja sa građevinskim materijalom [10].

U Tabeli I su prikazani ulazni podaci debljine d [m] (Sl. 7) i toplotne provodljivosti zida λ [W/mK], neophodni za proračun potrebne debljine izolacije kako bi se zadovoljio uslov u skladu sa važećim „Pravilnikom o minimalnim zahtjevima za energetske karakteristike zgrada“ [19] da je najveća dozvoljena vrijednost koeficijenta prolaza toplote za spoljašnje zidove $U_{max} \leq 0,30$ W/m²K. Za unutrašnju temperaturu vazduha uzeta je vrijednost od 20 °C, a za spoljašnju -5 °C, koeficijent prelaza toplote sa unutrašnjeg vazduha na zid α_{in} iznosi 8 W/m²K, dok koeficijent prelaza toplote sa zida na spoljašnji vazduh α_s iznosi 25 W/m²K. Pri ovim uslovima, dobijen je koeficijent prolaza toplote $U=1,809$ W/m²K i gustina toplotnog fluksa $q=45,227$ W/m².

TABELA I. Slojevi zida predmetnog objekta bez termoizolacije [20].

Materijal	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
			0,125
produžni krečni malter	0,02	0,850	0,024
zid od opeke	0,25	0,760	0,329
produžni krečni malter	0,03	0,850	0,035
			0,040
	$\Sigma d=$ 0,30		$\Sigma R=$ 0,553
			U [W/m ² K]= 1,809



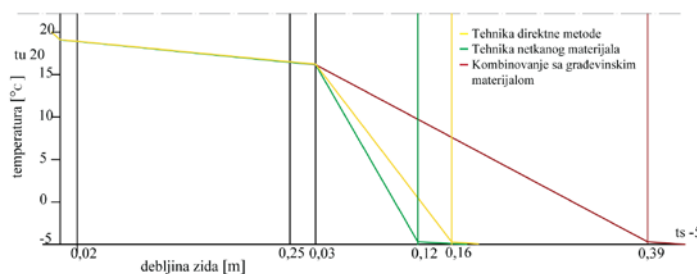
Sl. 7. Grafikon raspodjele temperatura kroz postojeći zid, bez sloja termoizolacije [20]

Prilikom poređenja metoda reciklaže tekstila u svrhu izolacionih materijala na primjeru tipskog objekta na području Bosne i Hercegovine, rezultati su pokazali da je najbolja metoda „Tehnika netkanog materijala“, gdje je usvojen koeficijent toplotne provodljivosti $\lambda=0,043$ W/mK i najmanja potrebna debljina izolacije $d=12$ cm, a da je pri tome zadovoljen uslov koeficijenta prolaza toplote $U_{min} \leq 0,30$ W/m²K, (Tabela II). U Tabeli II prikazani su rezultati svih metoda kao i postojeće stanje objekta bez sloja termoizolacije radi lakšeg poređenja. Uočavamo da su U-vrijednosti kod svih tehnika približne kao i otpornost (R), dok je primjetna drastična razlika u potrebnoj debljini izolacije (d) od recikliranog tekstila. Na Sl. 8 su prikazane raspodjele temperature kroz postojeći zid tipskog objekta, na kojem se vidi da je najmanja debljina izolacije $d=12$ cm potrebna kod tehnike netkanog materijala a najveća $d=39$ cm kod tehnike kombinovanja sa građevinskim materijalom pri usvojenom koeficijentu prolaza toplote $U_{max} \leq 0,30$ W/m²K.

LITERATURA

TABELA II. Poređenje potrebne debljine izolacije i koeficijenta prolaza toplote za različite reciklirane materijale [20].

Predmetni objekat	Potrebna debljina izolacije d[m]	λ_r [W/mK]	q [W/m ²]	R [m ² K/W]	U [W/m ² K]
Objekat bez sloja termoizolacije			45,227	0,553	1,809
Objekat sa dodatnim slojem termoizolacije					
Tehnika direktne metode	0,16	0,056	7,348	3,402	0,294
Tehnika netkanog materijala	0,12	0,043	7,477	3,343	0,299
Kombinovanje sa građevinskim materijalom	0,39	0,140	7,488	3,338	0,300



Sl. 8. Grafikon raspodjele temperatura kroz postojeći zid, sa dodatnim slojem termoizolacije [20]

VI. ZAKLJUČAK

Iako sadašnjim tržištem u potpunosti dominiraju konvencionalni sintetički izolacioni materijali, postoji potencijal da se konvencionalni materijali zamijene recikliranim tekstilom. Istraživanje korištenja tekstilnog otpada kao izolacionog materijala još je u početnim fazama. Većina istraženih materijala nije u potpunosti okarakterisana i uglavnom su istraživanja rađena samo na nekim uobičajenim vlaknima. Struktura termoizolacionih materijala može uticati na svojstva izolacije. Postoje ograničene informacije o nekim drugim važnim faktorima termoizolacionih materijala kao što su: otpornost na vatru, otpornost na vodu, otpornost na štetocine, prašinu, gljivice i bakterije.

U radu su prikazane tri tehnike reciklaže tekstila: tehnika direktne metode, tehnika netkanog materijala i tehnika kombinovanja sa građevinskim materijalom.

Rezultati su pokazali da je najbolja tehnika netkanog materijala, gdje je dobijen koeficijent toplotne provodljivosti $\lambda=0,043$ W/mK, a najmanja potrebna debljina izolacije je $d=12$ cm, što zadovoljava minimalne uslove $U_{max} \leq 0,30$ W/m²K.

Tekstilni otpad ima potencijal da se koristi kao ekološki prihvatljiv izolacijski materijal, međutim neophodno je fokusirano istraživanje kako bi se prevladala postojeća ograničenja i uspješno komercijalizovali proizvodi napravljeni od recikliranog tekstila na tržištu.

- [1] J. C. Bergstrom, A. Randall, "Resource Economics: an Economic Approach to Natural Resource and Environmental Policy", fourth ed. Edward Elgar Publishing, Northampton, 2016
- [2] F. Asdrubali, F. D'Alessandro, S. Schiavoni, "A review of unconventional sustainable building insulation materials", Sustain. Mater. Technol, 4, str. 1–17, 2015.
- [3] A. Nguyen, "Toxic Fashion: What Chemicals Are Used In Clothing?" 2021, <https://compareethics.com/chemicals-in-clothing/>
- [4] G. Sandin, G. M. Peters, "Environmental impact of textile reuse and recycling", J. Clean. Prod. 184, str. 353–365, 2018.
- [5] Ellen MacArthur Foundation, "A New Textiles Economy: Redesigning fashion's future", 2017.
- [6] <https://venuszine.com/why-does-it-take-so-much-water-to-make-jeans/>
- [7] OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). "Workshop on Microplastics from Synthetic Textiles: Knowledge, Mitigation, and Policy", 2020.
- [8] GFA, "Pulse of the fashion industry", 2017, <https://www.globalfashionagenda.com/>
- [9] D. Watson, S. Trzepacz, N. Lander Svendsen, S. Wittus Skottfelt, N. Kiorboe, M. Elander and H. Ljungkvist Nordin, "Towards 2025: Separate collection and treatment of textiles in six EU countries", Miljøstyrelsen, 2020.
- [10] M. Del Mar Barbero-Barrera, O. Pombo, M. de los Angeles Navacerrada, "Textile fibre waste bindered", 2016.
- [11] A. Serra, Q. Tarrés, J. Claramunt, P. Mutjé, M. Ardanuy, F. X. Espinach, "Behavior of the interphase of dyed cotton residue flocks reinforced polypropylene composites", Composites Part B 128, str. 200–207, 2017.
- [12] C. Rubino, S. Liuzzi, F. Martellotta, P. Stefanizzi, "Textile wastes in building sector: a review", Modell., Meas. Control, 87, str. 172–179, 2018.
- [13] A. Briga-Sa, D. Nascimento, N. Teixeira, J. Pinto, F. Caldeira, H. Varum, A. Paiva, "Textile waste as an alternative thermal insulation building material solution", Constr. Build. Mater. 38, str. 155–160, 2013.
- [14] <https://textileexchange.org/wp-content/uploads/2018/11/2018-Preferred-Fiber-MaterialsMarket/>
- [15] F. A. Esteve-Turrillas, M. de la Guardia, "Environmental impact of Recover cotton in textile industry", Resour. Conserv. Recycl. 116, str. 107–115, 2017.
- [16] D. Trajković, S. Jordeva, E. Tomovska, K. Zafirova, "Polyester apparel cutting waste as insulation material", J. Text. Inst. 108, str. 1238–1245, 2017.
- [17] M. E. Wazna, A. Gounni, A. E. Bouari, M. E. Alami, O. Cherkaoui, "Development, characterization and thermal performance of insulating nonwoven fabrics made from textile waste", J. Ind. Text. 48, str. 1167–1183, 2018.
- [18] J. Zach, J. Hroudova, A. Korjenic, "Environmentally efficient thermal and acoustic insulation based on natural and waste fibers", J. Chem. Technol. Biotechnol. 91, str. 2156–2161, 2016a.
- [19] Pravilnik o minimalnim zahtjevima za energetske karakteristike zgrada Republike Srpske, Sl. gl. RS br. 30/15.
- [20] A. Jojić, Termoizolacija objekata od recikliranog tekstilnog materijala, primjer tipskog objekta na području BiH, "Elementi energetske efikasnosti u zgradarstvu", saminarski rad, 2022.

ABSTRACT

In this paper we presented a general overview of the impact of textile industry on the environmental pollution. We analyzed effect of textile waste on the environment and the possibility of using recycled textiles as materials for thermal insulation for buildings. Three methods of recycling are presented: the direct method, the nonwoven material technique and the technique of combining with construction material. On the example of a typical building built in Bosnia and Herzegovina, the results

showed that the best recycling method is the "nonwoven material technique".

**THERMAL INSULATION FROM RECYCLED TEXTILE FOR
BUILDING ENVELOPE**

Ana Jojić, Biljana Antunović

Утицај електрофилтерског пепела на чврстоћу самоуграђујућег бетона при притиску

Гордана Броћета¹, Александар Савић², Анђелко Цумбо¹, Марина Латиновић Крндија¹, Жарко Лазич¹, Драженка Лозо¹, Јован Волаш¹

¹Универзитет у Бањој Луци, Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет, Бања Лука, Република Српска

²Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Београд, Србија

gordana.broceta@aggf.unibl.org, sasha@grf.bg.ac.rs, andjelko.cumbo@aggf.unibl.org,
marina.latinovic@aggf.unibl.org, zarko.lazic@aggf.unibl.org, drazenka.radic@aggf.unibl.org, jovan.volas@aggf.unibl.org

Сажетак— Индустрија цемента сматра се једним од значајнијих узрочника емисије CO₂. У циљу изналажења рјешења овој проблематици у раду се предлаже замјена 17,5% потребне количине цемента за производњу самоуграђујућег бетона минералним додацима. Експерименталним истраживањем на четири врсте самоуграђујућих бетона варирана је врста минералног додатка – бетон без минералних додатака, кречњачко брашно, електрофилтерски пепео и комбинација кречњачког брашна и електрофилтерског пепела. У том смислу наглашава се да је електрофилтерски пепео примијењен оригинално, какав је као нуспроизвод настао у термоелектрани, тј. није извршено његово просијавање или додатна обрада прије употребе. Резултати истраживања показују да примјена минералних додатака нема утицај на чврстоћу бетона при старости од 2 дана, али утиче на смањење чврстоће бетона при притиску за старости веће од 2 дана. При томе, значајнији утицај има електрофилтерски пепео. Ипак, тај утицај је у функцији времена опадајућег карактера, са тенденцијом да бетони са минералним додацима достигну чврстоће бетона без минералних додатака у старостима већим од 28 дана.

Кључне ријечи— самоуграђујући бетон; електрофилтерски пепео; кречњачко брашно; термоелектрана; чврстоћа бетона при притиску; експериментално истраживање;

I. Увод

Значајан утрошак цемента, за производњу бетонских композита, намеће потребу за изналажење алтернативних материјала, којим би се смањила потреба за цементом, а тиме и емисија CO₂. У том смислу, напомиње се да је за 7 до 8% укупне емисије CO₂ у свијету, одговорна управо индустрија цемента [1], [2]. Иако су многи произвођачи цемента почели уводити мјере, којима се ограничава емисија CO₂, истовремено је евидентно и повећање глобалне потражње за цементом. Према подацима Међународне агенције за енергетику (*International Energy Agency*), од 2014. до 2017. године, уочен је пораст емисије CO₂, приликом производње цемента, за 0,3% на годишњем нивоу, а сматра се да би, због глобалног раста популације, до 2050. године производња цемента могла порастати за 23% [1]. Дакле, за стратешки развој друштва, од изузетног су значаја истраживања потенцијала за производњу овог најзаступљенијег материјала, са задатком налажења

рјешења у виду смањења количине цемента, а тиме и смањења емисије CO₂, уз искоришћење домаћих природних ресурса, али и домаћих индустријских нуспроизвода и грађевинског отпада.

Као једно од алтернативних рјешења предметном проблему је примјена минералних додатака, којима се у одговарајућем проценту замјењује маса цемента у бетонским и малтерским композитима. У том смислу, нарочито су интересантна истраживања у погледу анализе утицаја минералних додатака на савремене технологије бетонских композита, каква је технологија самоуграђујућег бетона.

Истраживањем научне и стручне јавности, показало се да је примјена минералних додатака у самоуграђујућим бетонима управо пожељна због његових специфичних карактеристика у свјежем стању, у смислу да повољно утичу на одржавања кохезије и отпорности према сегрегацији, смањење топлоте хидратације свјеже бетонске масе, а тиме и на смањење термичког скупљања, појаву прелина, нивоа порозности, нарочито у прелазној зони зрна агрегата и цементног камена, што даље води вишем нивоу многих трајносних својстава бетонских конструкција [3]–[6] и продужењу њиховог вијека експлоатације, те коначно представља и бенефите са економског и еколошког аспекта.

Као минерални додаци могу се користити различити природни и вјештачки материјали [3]–[5], [7], [8]. Но, у предметном раду приказује се могућност примјене најзаступљенијег минералног додатка на домаћем тржишту – кречњачког брашна и нуспроизвода термоелектрана – електрофилтерског пепела, за који постоји потенцијал масовније примјене не само у Републици Српској, него у цијелом региону [3], [7]–[12]. У том смислу, напомиње се да његова примјена у бетонским композитима рјешава и низ других проблема, као што су:

- стварање индустријског отпатка, чије се годишње количине мјере у милионима тона,
- финансирање сталних трошкова транспорта од термоелектране до депоније,

- проблем пречишћавања воде потребне за транспорт летећег пепела,
- загађење околине пепелима депонованим на основним депонијама отпада,
- финансирање земљаних радова и одводњавања за израду депонија великих површина,
- уништавање великих површина обрадиве земље и сл.

II. ПРИМЈЕНА ЕЛЕКТРОФИЛТЕРСКОГ ПЕПЕЛА У БЕТОНИМА

Летећи, односно електрофилтерски, пепео је минерални додатак типа пуцолана, који представља нуспроизвод, добијен при сагоријевању угља у котловима термоелектрана, који се, ношен гасовима сагоријевања, издваја на уређајима за отпашивање (филтерима) – механичким или електростатичким сепараторима. Зато што се отпашује на електроотпашивачима, односно електрофилтерима, назива се и електрофилтерским пепелом.

Ови материјали настају у зонама високих температура (изнад 1000°C) на којима долази до омекшавања или чак топљења несагорјелих минералних честица, које затим долазе у зону значајно ниже температуре (на око 250°C). Услијед оваквог термичког третирања (наглог хлађења) летећи пепели добијају стакласту структуру, при чему се због површинских напона формирају најчешће сферног облика или у форми честица издуженог, заобљеног или потпуно неправилног облика, мрко-црне боје (Сл. 1), чије се димензије крећу у границама од 1 до 200 μm . Основну минералну творевину представљају стакласте материје и мулит ($2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$) уз мање учешће кварца, хематита, магнетита, гетита, калцита, вистита, анхидрита, перикласа и угљене сустанце.



Сл. 1. Изглед електрофилтерског пепела у слободно насутом стању

Основна карактеристика летећих пепела, по којој се издвајају од осталих грађевинских материјала, је њихова изузетно ниска запреминска маса, која у растреситом стању износи од 500 до 860 kg/m^3 . Специфичне масе крећу се у границама од 1700 до 3300 kg/m^3 , а специфичне површине по Блену од 2500 до 6000 cm^2/g [8].

Чињеница да једна материја по начину свог постанка припада групи летећих пепела не мора да значи да тај пепео аутоматски припада групи пуцоланских материјала, него он треба да има одговарајући хемијски и минерални састав. Фактори који утичу на промјенљивост његовог састава уобичајено су: тип и минералношћи састав угља, степен спрашивања самог угља, тип пећи за сагоријевање, услови под којима се доводи ваздух, укључујући однос ваздух-гориво, начин на који се пепео сакупља, како се са њиме поступа и начин на који се складишти. Због комплексности наведеног процеса, управо је честа неуједначеност састава летећег пепела, а што представља највећу ману пепела, због које се смањује могућност његове примјене [3].

Европским стандардом EN 450-1 [13] дефинисани су захтјеви у погледу хемијских и физичких својстава летећег пепела, који се користи као додатак у малтерима и бетонима, а како је приказано у табели I.

ТАБЕЛА I. ХЕМИЈСКЕ И ФИЗИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ЛЕТЕЋЕГ ПЕПЕЛА ЗА МАЛТЕРЕ И БЕТОНЕ, ПРЕМА EN 450-1

Параметар	Метода испитивања	Критеријум
ХЕМИЈСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ		
Губитак жарењем	EN 196-2 ¹⁾	Категорија А: $\leq 5\%$
		Категорија В: $\leq 7\%$
		Категорија С: $\leq 9\%$
Хлориди (Cl ⁻)	EN 196-2	$\leq 0,1\%$
SO ₃	EN 196-2	$\leq 3\%$
Слободни СаО	EN 451-1	$\leq 2,5\%$ ²⁾
Реактивни СаО	EN 197-1	$\leq 10\%$
Реактивни SiO ₂	EN 197-1	$\geq 25\%$
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	EN 196-2	$\geq 70\%$
Укупне алкалије ³⁾	EN 196-2	$\leq 5\%$
MgO	EN 196-2	$\leq 4\%$
Растворљиви P ₂ O ₅	EN 451-1, додатак С	$\leq 100\text{ mg/kg}$
Укупни P ₂ O ₅	EN 196-2	$\leq 5\%$
ФИЗИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ		
Финоћа млива (> 0,045 mm)	EN 451-2	Категорија N: $\leq 40\%$ ⁴⁾
		Категорија S: $\leq 12\%$
Индекс активности	28 дана	EN 450-1/ EN 196-1
	91 дан	EN 196-1
Постојаност запремине	EN 450-1/ EN 196-3	$\leq 10\text{ mm}$
Густина	EN 196-6	max $\pm 200\text{ kg/m}^3$ од декларисане вриједности
Почетак времена везивања	EN 450-1/ EN 196-3	max $+200\text{ min}$ у односу на испитану цементну пасту
Потреба за водом	EN 450-1, додатак В	$\leq 95\%$ у односу на испитани цементни малтер

¹⁾ губитак жарењем одређује се у складу са EN 196-2 уз примјену модификација у тачки 5.2.1 EN 450-1;

²⁾ ако је садржај слободног СаО већи од 1%, летећи пепео се мора подвргнути испитивању постојаности запремине према EN 196-3;

³⁾ укупан садржај алкалија обрачунава се као садржај Na₂O (еквивалент);

⁴⁾ финоћа не смије варирати за више од $\pm 10\%$ у односу на декларисану вриједност.

Поред тога што се користе као додаци за бетон, летећи пепели силикатног поријекла, ознаке „V” и калцијског поријекла, ознаке „W,” примјењују се и као саставна

компонента цемента, а садрже их према европском стандарду EN 197-1 [14] слиједеће врсте цемента:

- портланд-цемент са додатком летећег пепела:

SEM II/A-V од 6 до 20 % летећег пепела силикатног поријекла,

SEM II/B-V од 21 до 35 % летећег пепела силикатног поријекла,

SEM II/A-W од 6 до 20 % летећег пепела калцијског поријекла,

SEM II/B-W од 21 до 35 % летећег пепела калцијског поријекла;

- портланд-композитни цемент:

SEM II/A-M од 6 до 20 % састојака: гранулисане згуре, силикатне прашине, природних и активираних природних пуцолана, летећих пепела силикатног поријекла, летећих пепела калцијског поријекла, сагорјелих шкриљаца и кречњака,

SEM II/B-M од 21 до 35 % састојака: гранулисане згуре, силикатне прашине, природних и активираних природних пуцолана, летећих пепела силикатног поријекла, летећих пепела калцијског поријекла, сагорјелих шкриљаца и кречњака;

- пуцолански цемент:

SEM IV/A који садржи од 11 до 35 % састојака: природних и активираних природних пуцолана, летећих пепела силикатног поријекла и летећих пепела калцијског поријекла,

SEM IV/B који садржи од 36 до 55 % састојака: природних и активираних природних пуцолана, летећих пепела силикатног поријекла и летећих пепела калцијског поријекла;

- композитни цемент:

SEM V/A који садржи од 18 до 30 % састојака: природних и активираних природних пуцолана и летећих пепела силикатног поријекла,

SEM V/B који садржи од 31 до 50 % састојака: природних и активираних природних пуцолана и летећих пепела силикатног поријекла.

Силикатно-алуминатни летећи пепели, код којих је садржај реактивног СаО мањи од 10% – пепели ознаке „V” – имају пуцоланске особине, док силикатно-калцијски пепели, код којих је садржај реактивног СаО већи од 10% – пепели ознаке „W,” – поред пуцоланских, могу имати и хидрауличне особине [14].

Летећи пепели се према америчком стандарду ASTM C 618 дијеле на три класе:

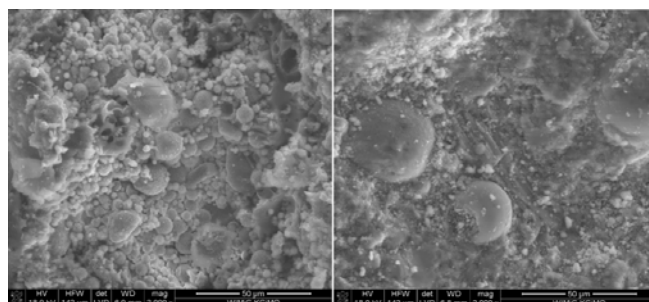
- N – сирови или калцинисани природни пуцолани као што су неке врсте дијатомејске земље, опалски рожнац и шкриљац, туф, вулкански пепео, калцинисани или некалцинисани пловућац, те разни материјали који захтијевају калцинацију

да би се добила задовољавајућа својства, као што су поједине глине и шкриљци;

- F – пепели који настају приликом сагоријевања антрацита или битуменског угља, а понекад и приликом сагоријевања суббитуменског угља или лигнита; имају пуцоланска својства;
- C – пепели који уобичајено настају приликом сагоријевања лигнита или суббитуменског угља, а могу настати и приликом сагоријевања антрацита или битуменског угља; поред пуцоланских, могу имати и хидраулична својства [15].

Наведени цемента са додатком летећих пепела, а самим тим и бетони који их садрже, одликују се нешто споријем очвршћавањем, нижом топлотом хидратације и високом отпорношћу на дејство агресивних вода [2], [8].

На Сл. 2 приказани су „SEM” снимци цементног камена за који је примијењен цемент са 15% силикатног пепела, истраживања реализованог у Пољској [2]. Сферични облици, који се уочавају на снимцима, су честице пепела. Како се види на Сл. 2 – лијево, цементни камен старости 2 дана је високог нивоа порозности, управо због споријег очвршћавања услјед удјела пепела. Сл. 2 – десно приказује цементни камен у старости од 28 дана, гдје се уочава да силикатни пепео још увијек није одреаговао, јер нема хидраулична својства, већ само пуцоланска, која постају очигледна тек током дужег временског периода.



Сл. 2. „SEM” снимак цементног камена са 15% електрофилтерског пепела након 2 дана (лијево) и 28 дана (десно) [2]

Узимајући у обзир наведено, приликом пројектовања бетонских композита изузетно је важно водити рачуна, не само о количини пепела, како је то уобичајена пракса домаћег градитељског тржишта (ако се, на жалост, уопште и води рачуна о предметном), него и о његовом саставу приликом избора врсте цемента или електрофилтерског пепела као минералног додатка, а обзиром на услове средине и услове приликом бетонирања.

Процентуално учешће летећег пепела, као минералног додатка у самоуграђујућим бетонским мјешавинама варира од 5% до 40% у односу на масу цемента [8], [16], а ријетко више од тога. Истраживањем научне јавности проценат замјене цемента електрофилтерским пепелом је најчешће оптималан у интервалу од 15% [17] до 20% [3], [4], [16], [18] при чему су проценти увијек виши у случајевима примјене чистог портланд цемента.

Европским стандардом EN 206, дефинише се концепт тзв. „к-вриједности“, према којем масени однос електрофилтерског пепела и цемента може бити максимално 0,33. Истим стандардом се упућује да се у случају прекорачења овог односа, прекорачена количина не узима у обзир код прорачуна водопрашкастог фактора и одређивања минималне количине цемента у односу на услове средине [19].

Европским препорукама за самоуграђујући бетон [20] на електрофилтерски пепео се указује као на врло користан додаток самоуграђујућих бетона, имајући у виду да утиче на повећање кохезије и смањење осјетљивости на промјене у садржају воде. Ипак, напомиње се да употреба веће количине летећег пепела може довести до значајног повећања кохезије, што би проузроковало отпор течњу и самокомпактирању свјеже масе.

Иако већина истраживања указују на ниже ране чврстоће бетона са електрофилтерским пепелом, постоје и истраживања којима се показало да и при старостима мањим од 28 дана бетони са пепелом могу достићи чврстоће референтних бетона без пепела. У том смислу истраживањем [16], у којем је варирано учешће пепела класе F (према америчком стандарду) од 0 до 40%, са инкрементом од 5%, показало се да самоуграђујући бетон, справљен са 20% пепела, у односу на масу цемента, имају за 13,4% већу чврстоћу при притиску, у односу на референтни бетон. Даљњим повећањем учешћа пепела чврстоћа при притиску се у предметном експерименту смањивала. Оваквом резултату недвосмислено доприноси управо врста пепела класе F, који, како је у наводу ASTM C 618 стандарда претходно дато, поред пуцоланских има и хидраулична својства.

Бетони са додатком летећег пепела имају сивкасту боју, па се уобичајено у случајевима када се желе постићи свјетлије нијансе бетона, као минерални додаток примјењује и извјесна количина кречњачког брашна [8].

III. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИСТРАЖИВАЊЕ

A. План и програм експерименталног истраживања

У сврху реализације сопственог експерименталног истраживања справљене су четири врсте самоуграђујућих бетона са просјечно великом количином прашкасте компоненте.

Сви бетони су трофракцијски, номинално најкрупнијег зрна у износу од 16 mm, са континуалном гранулометријском кривом, при чему су кориштени природни ријечни агрегати. Од минералних додатака примијењени су: кречњачко брашно (минерални додаток типа I), електрофилтерски пепео (минерални додаток типа II), као и њихова комбинација. Као основно везиво кориштен је портланд-композитни цемент високе чврстоће, а као хемијски додаток примијењен је суперпластификатор нове генерације. Кориштена је вода из градског водовода. За постизање потребне кохезивности и отпорности на сегрегацију није примијењен модификатор вискозитета, што је једна од могућности приликом пројектовања самоуграђујућих

бетона, обзиром да коришћење наведеног хемијског додатка, генерално, поскупљује цијену коштања бетона, да се на нашем тржишту, још увијек не обичава његова примјена, те се тако и рјеђе налази у понуди произвођача хемијских додатака.

Полазни критеријуми за пројектовање свих мјешавина, односили су се, како је то уобичајено за самоуграђујуће бетоне, на захтјеве у погледу карактеристика бетона у свјежем стању, а били су:

- постизање „потпуне компактности“, без примјене механичких средства за уграђивање, потресања или вибрација и
- постизање класе SF2, за коју се вриједност разливања слијегањем креће у границама од 660 до 750 mm (обзиром да је иста погодна за уобичајену, тј. најчешће потребну примјену; нпр. за извођење зидова, стубова); према овом захтјеву, утврђена је количина суперпластификатора, а у складу са препоруком произвођача.

За пројектоване бетоне примијењене су слиједне ознаке:

- С-Е – бетон справљен без примјене минералних додатака,
- С-С – бетон справљен примјеном минералног додатка типа I – кречњачког брашна, којим је замијењено 17,5% масе цемента,
- С-F – бетон справљен примјеном минералног додатка типа II – електрофилтерског пепела, којим је замијењено 17,5% масе цемента и
- С-С+F – бетон справљен примјеном мјешавине минералних додатака типа I и типа II, којом је, у међусобно једнаком односу, замијењено 17,5% масе цемента.

На бетонима у свјежем стању испитане су слиједеће карактеристике:

- температура бетона, према EN 12350-1 [21],
- садржај увученог ваздуха, према EN 12350-7 [22],
- запреминска маса, према EN 12350-6 [23] и
- конзистенција – разливање слијегањем, методом „Slump-flow test“, према EN 12350-8 [24].

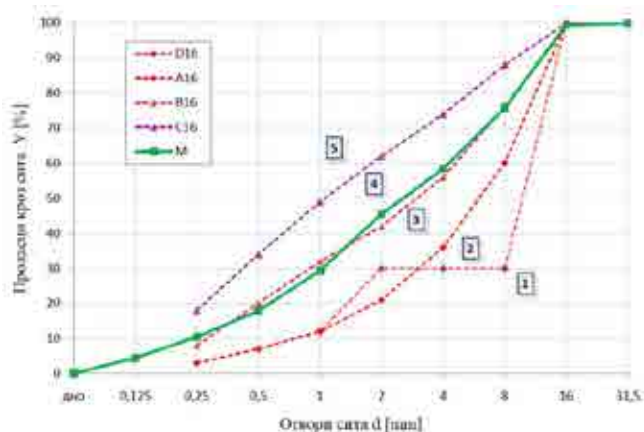
На бетонима у очврслом стању испитане су слиједеће карактеристике:

- запреминска маса, према EN 12390-7 [25].
- чврстоћа при притиску у старостима од 2, 7, 14 и 28 дана, према EN 12390-3 [26] и
- фигура лома, према EN 12390-3 [26].

B. Компонентни материјали и састав мјешавина

За израду предметних мјешавина примијењени су слиједећи компонентни материјали:

- цемент ознаке СЕМ II/B-M (S-LL) 42,5 N, „Далмацијацемент“, произвођача „Св. Јурај“ из Сплита (Каштел Шућурац),
- кречњачко брашно произвођача „Јапра“ а. д. из Новог Града,
- електрофилтерски пепео Термоелектране „Никола Тесла Б“ из Обреновца – силикатни тип електрофилтерског пепела (садржи мање од 10% аналитичког CaO), при чему се напомиње да је примијењен пепео оригиналног састава, онако како је добијен, као нуспроизвод, из Термоелектране (није просијавано прије употребе, тако да зрна крупнија од 0,125 mm доприносе садржају ситне фракције агрегата у бетону),
- ријечни агрегат „Петошевци“, произвођача „Нискоградња“ из Лакташа, за који је гранулометријска крива мјешавине приказана на Сл. 3.



Сл. 3. Гранулометријска крива мјешавине агрегата

- хемијски додаток типа суперпластификатора нове генерације „Сementol@Zeta Super S“, произвођача „ТКК“, Српеница, Словенија, базиран на модификованом поликарбоксилик-етер полимеру и
- вода из градског водовода.

За све пројектоване бетоне примијењена је приближно једнака збирна количина цемента и минералног додатка и то у износу од $483,5 \pm 7,4 \text{ kg/m}^3$, тј. око $0,16 \text{ m}^3$ у 1 m^3 бетона, односно, приближно једнака количина прашкасте компоненте, тј. цемента, минералног додатка и агрегата, зрна ситнијег од 0,125 mm, у износу од $497,9 \pm 8,1 \text{ kg/m}^3$, тј. $0,1629 \pm 0,0026 \text{ m}^3$ у 1 m^3 бетона. Количина ситног агрегата износила је $38,4 \pm 2,6\%$ запремине малтера у бетонима, док је укупна количина агрегата износила $1571,6 \pm 99,4 \text{ kg/m}^3$, тј. $0,5935 \pm 0,0254 \text{ m}^3$ у 1 m^3 бетона. Количина суперпластификатора износила је $0,0060 \pm 0,0007 \text{ m}^3$ у 1 m^3 бетона, тј. 1,5% у односу на масу цемента, односно 1,5% за еталонски бетон без минералних додатака (С-Е) и 1,2% за бетоне са минералним додацима (С-С, С-С+Ф и С-Ф) у односу на масу прашкасте

компоненте. Масени водопрашкasti однос износио је $0,425 \pm 0,025$, при чему се исти повећавао са учешћем електрофилтерског пепела, односно за бетоне С-Е и С-С је износио 0,40; за бетон С-С+Ф је износио 0,41 и за бетон С-Ф је износио 0,45.

В. Резултати и анализа истраживања

Испитивањем бетона у свјежем стању показало се да се за све пројектоване бетоне добила вриједност разливања слијегањем у интервалу од 720 до 740 mm, односно класа конзистенције SF2. У том смислу уочава се да примјена електрофилтерског пепела, уз нешто веће учешће воде, а како је претходно наведено, није деградирала флуидност свјеже самоуграђујуће масе бетона.

Изглед бетонске масе, након испитивања разливања слијегањем, приказан је на Сл. 4.



Сл. 4. Разливање слијегањем бетонске мјешавине пројектоване са кречњачким брашном и електрофилтерским пепелом

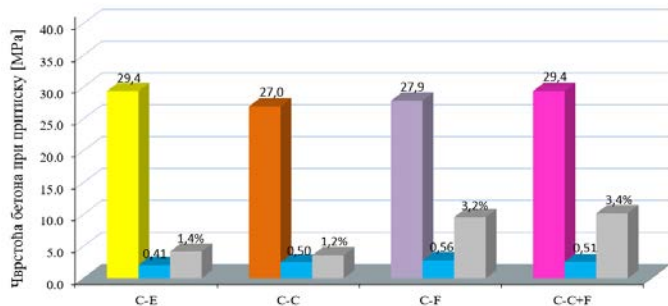
Температура бетона у свјежем стању износила је за све бетоне од 24,8 до 26,7 °C.

Количина заосталог ваздуха, измјерена порозиметром, износила од 1,2 до 3,4%, на основу чега се констатује да је за све пројектоване бетоне постигнута „потпуна компактност“, без примјене механичких средстава за уграђивање, потресања или вибрација (вриједности од 0,2% и 0,4%, респективно за бетоне С-Ф и С-С+Ф, преко дефинисане границе од 3% су, као уобичајене, прихватљиве за бетоне са пепелима).

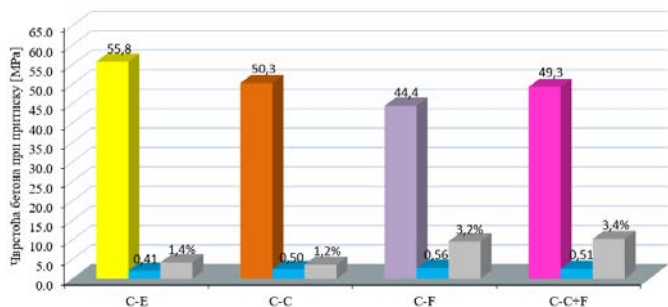
Резултати испитивања запреминске масе указују да се, за добијене вриједности од 2392 kg/m^3 до 2257 kg/m^3 , сви пројектовани бетони карактеришу као бетони нормалних запреминских маса, при чему најниже вриједности имају бетони са пепелом.

Резултати испитивања чврстоћа бетона при притиску, у старостима од 2 и 28 дана, приказани су графички, респективно, на Сл. 5 и 6, док су прираштаји чврстоћа у старости до 2 дана, од 2 до 7 дана, од 7 до 14 дана и од 14 до 28 дана представљени на Сл. 7.

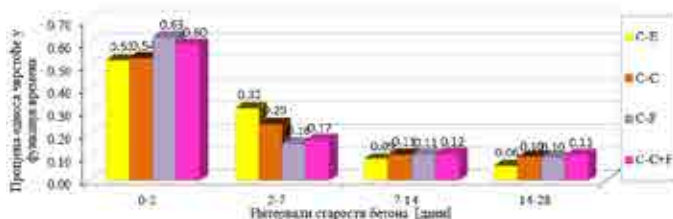
За све пројектоване бетоне добијена је правилна фигура лома и мјешовит лом по цементном камену и зрну агрегата.



Сл. 5. Чврстоће бетона при притиску у старости од 2 дана са приказом вриједности водоцементног фактора и процента увученог ваздуха



Сл. 6. Чврстоће бетона при притиску у старости од 28 дана са приказом вриједности водоцементног фактора и процента увученог ваздуха



Сл. 7. Прираштај чврстоће бетона при притиску у интервалима времена

Анализа и дискусија експерименталног истраживања спроведена је систематизацијом и компарацијом резултата експерименталних испитивања уз примјену нумеричке анализе, математичке статистике и теорије вјероватноће.

За мјерадавне вриједности, које репрезентују анализирана својства бетона, усвојене су аритметичке средине резултата испитивања, при чему су сагледани минимуми, максимуми и релативна мјера варијабилитета резултата. Значајност разлике аритметичких средина анализираних својстава извршена је примјеном Студентовог t теста, а начин тестирања је утврђен претходним тестом Снедекора.

Тестирање значајности разлика чврстоћа при притиску бетона у старостима од 2 и 28 дана, приказани су, респективно, у табелама II и III. За све анализиране бетоне, аритметичка средина је добијена из 3 резултата испитивања, тако да је број степени слободе сваког анализираних пара бетона у износу од 4. Према томе, за ниво значајности од 0,05, критична таблична вриједност тестне карактеристике t_0 разматраних парова бетона износи 2,7764.

ТАБЕЛА II. ТЕСТИРАЊЕ ЗНАЧАЈНОСТИ РАЗЛИКА ЧВРСТОЋА БЕТОНА ПРИ ПРИТИСКУ, У СТАРОСТИ ОД 2 ДАНА

Врста бетона	Чврстоћа при притиску	Станд. дев.	Врста бетона	Чврстоћа при притиску	Станд. дев.	Оцјена станд. грешке	Емпир. вр. теста
	$f_{c,cube,2}$	S_n		$f_{c,cube,2}$	S_n		
	[MPa]	[MPa]		[MPa]	[MPa]		
E	29,4	0,643	C	27,0	1,480	1,1410	2,5761
E	29,4	0,643	F	27,9	0,651	0,6470	2,8394
E	29,4	0,643	C+F	29,4	1,140	0,9255	0,0000
C	27,0	1,480	F	27,9	0,651	1,1433	0,9641
C	27,0	1,480	C+F	29,4	1,140	1,3210	2,2251
F	27,9	0,651	C+F	29,4	1,140	0,9283	1,9791

Поређењем тестних и теоријске вриједности парова бетона, старости 2 дана, констатује се да се само за пар C-E – C-F, одбацује нулта, а прихвата радна хипотеза, тј. да се само поређењем еталонског бетона, справљеног без минералних додатака и бетона, код којег је као минерални додатак примијењен искључиво електрофилтерски пепео, разлика аритметичких средина 2-дневних чврстоћа при притиску, статистички значајна, за ниво повјерења 0,05. За остале тестиране парове, прихвата се нулта хипотеза, тј. сматра се да резултати припадају истом скупу. Анализом односа, емпиријских вриједности тестова парова у којима фигурише бетон са комбинацијом минералних додатака – кречњачким брашном и електрофилтерским пепелом, закључује се да је емпиријска вриједност теста за пар C-E – C-F добијена не доминантно због утицаја примјене електрофилтерског пепела, него првенствено због веће количине воде и већег водопрашкастог фактора, примијењеног код бетона C-F. Са тим у вези, закључује се да за наведени ниво повјерења примјена и избор врсте минералног додатка, нема значајан утицај на вриједност 2-дневне чврстоће бетона при притиску.

ТАБЕЛА III. ТЕСТИРАЊЕ ЗНАЧАЈНОСТИ РАЗЛИКА ЧВРСТОЋА БЕТОНА ПРИ ПРИТИСКУ, У СТАРОСТИ ОД 28 ДАНА

Врста бетона	Чврстоћа при притиску	Станд. дев.	Врста бетона	Чврстоћа при притиску	Станд. дев.	Оцјена станд. грешке	Емпир. вр. теста
	$f_{c,cube,28}$	S_n		$f_{c,cube,28}$	S_n		
	[MPa]	[MPa]		[MPa]	[MPa]		
E	55,8	5,791	C	50,3	2,053	4,3446	1,5505
E	55,8	5,791	F	44,4	1,776	4,2831	3,2598
E	55,8	5,791	C+F	49,3	1,800	4,2881	1,8565
C	50,3	2,053	F	44,4	1,776	1,9195	3,7645
C	50,3	2,053	C+F	49,3	1,800	1,9306	0,6344
F	44,4	1,776	C+F	49,3	1,800	1,7880	3,3563

Поређењем тестних и теоријске вриједности парова бетона старости 28 дана констатује се да се за све парове, у којима фигурише бетон C-F, одбацује нулта, а прихвата радна хипотеза, тј. само су за парове C-E – C-F, C-C – C-F

и C-F – C-C+F, разлике аритметичких средина 28-дневних чврстоћа при притиску, статистички значајне. За остале тестиране парове, прихвата се нулта хипотеза, за ниво повјерења 0,05, тј. сматра се да резултати припадају истом скупу. Из наведеног се закључује да доминантан утицај на вриједност чврстоће бетона при притиску, у старости од 28 дана, има примјена електрофилтерског пепела. Како је бетон C-F справљен са електрофилтерским пепелом и нешто већом количином воде (што због постизања захтијеване конзистенције условљава примјена ове врсте минералног додатка), може се закључити да се при оваквој комбинацији компонентних материјала добијају бетони мањих чврстоћа у односу на бетоне справљене са другим примјењеним компонентним материјалима и њиховим комбинацијама. Исто тако, важно је напоменути да је евидентирани пад чврстоће у функцији времена, а за интервал од 7 до 28 дана старости бетона (како се види на Сл. 5), опадајућег карактера. У том смислу, резултати показују да примјена необрађеног електрофилтерског пепела условљава пад чврстоће у старостима 7, 14 и 28 дана, респективно, за 25,7%, 23,5% и 20,4% у односу на случај потпуног изостанка примјене додатка бетону. Исто тако показало се да примјена комбинације необрађеног електрофилтерског пепела и кречњачког брашна условљава пад чврстоће у старостима 7, 14 и 28 дана, респективно, за 19,3%, 16,3% и 11,7% у односу на случај потпуног изостанка примјене додатка бетону. Обе ове констатације иду у прилогу закључку да ће бетон у којем је дио цемента замијењен електрофилтерским пепелом, при старостима већим од 28 дана, достићи вриједности чврстоће при притиску бетона у потпуности справљених са цементом, односно бетона без минералних додатка.

Анализа утицаја примјене кречњачког брашна показује да је утицај на чврстоћу при притиску ове врсте додатка значајно мањи од утицаја електрофилтерског пепела. Бетони справљени са кречњачким брашном, у односу на бетоне без минералних додатка, имају просјечно мању чврстоћу за 16,4%, 13,8% и 9,9% у старостима, респективно, 7, 14 и 28 дана. Са друге стране, бетони справљени са кречњачким брашном, у односу на бетоне са необрађеним електрофилтерским пепелом, имају већу чврстоћу при притиску просјечно за 4,4 МПа, тј. око 11,2% у старости од 7 дана, за 5,1 МПа, тј. око 11,3% у старости од 14 дана и за 5,9 МПа, тј. око 11,7% у старости од 28 дана. Наведеним се такође уочава да је темпо опадајућег утицаја на смањење чврстоће бетона при притиску приближно једак за обе врсте минералних додатка, са благом предности кречњачког брашна, у односу на електрофилтерски пепео, при чему се напомиње да та предност није статистички значајна.

Односом 2-дневних и 28-дневних чврстоћа при притиску, констатован је брз прираштај чврстоће у функцији времена за све бетоне, са вриједностима фактора чврстоће у интервалу од 0,53 до 0,63, при чему је градијација овог фактора слиједећим редослиједом: C-F, C-C+F, C-C и C-E.

IV. ЗАКЉУЧАК

Трендови и начини градње, како на домаћем, тако и свјетском тржишту, изискују све већу потребу за производњом цемента, који се у највећој мјери примјењује као неизоставна компонента највећег броја врста и количина бетонских композита. Истовремено, истраживачке студије указују да је за 7 до 8% укупне емисије CO₂ у свијету, одговорна управо индустрија цемента. Због наведеног, али и низа других, у раду изложених разлога, од изузетног је значаја изналажење рјешења којим би се смањио утрошак цемента у малтерским и бетонским композитима.

Као једно од рјешења овог проблема у раду се предлаже примјена електрофилтерског пепела, добијеног као нуспроизвод у процесу рада термоелектрана. Наиме, електрофилтерски пепео је већ деценијама познат стручној јавности као додаток у производњи цемента, а у новије вријеме и као минерални додаток бетонима и малтерима. Са тим у вези, напомиње се да нису све врсте пепела одговарајуће за предметну намјену, јер немају сви потребна пуцоланска својства, одговарајући хемијски и минерални састав, финоћу млива, гранулометрију итд., те да је за декларисање неког пепела, као могућег додатка цементима или малтерским и бетонским композитима, неопходан низ процеса његовог испитивања и одговарајуће обраде. Све ово, иако еколошки и економски доприноси, изискује даљњи утрошак енергије. Стога се експерименталним истраживањем, приказаним у раду, анализира могућност примјене потпуно необрађеног електрофилтерског пепела, у стању онаквом, какав је добијен као нуспроизвод из термоелектране и то као компонента савремене врсте бетонских композита – самоуграђујућег бетона. Са друге стране, примјена ове врсте бетонског композита, такође има повољан утицај са еколошког и економског аспекта.

Анализом врсте самоуграђујућих бетонских композита: C-E – бетон без примјене минералних додатка, C-C – бетон у којем је 17,5% масе цемента замијењено кречњачким брашном, C-C+F – бетон у којем је 17,5% масе цемента замијењено комбинацијом кречњачког брашна и електрофилтерског пепела силикатног типа у једнаком односу и C-F бетон у којем је 17,5% масе цемента замијењено електрофилтерским пепелом силикатног типа, показало се да је за све бетоне могуће постићи високе захтјеве у погледу самоуграђљивости и компактности свјеже бетонске масе, као и конструкцијска својства бетона у очврслом стању. Са тим у вези, показало се да примјена минералних додатка нема статистички значајан утицај на ране чврстоће (чврстоће до старости 2 дана), али да деградира чврстоћу бетона при притиску за старости веће од 2 дана. Ипак, важно је напоменути да је тај утицај у функцији времена опадајућег карактера, тако да се уочава тенденција да, при старостима већим од 28 дана, бетони са предметним минералним додацима и њиховом комбинацијом, достигну чврстоће бетона, код којих је као везиво примјењен искључиво цемент.

Примјена електрофилтерског пепела има значајнији утицај на смањење чврстоће бетона при притиску у односу на примјену кречњачког брашна, у истом односу према маси цемента. Конкретно, допринос смањења чврстоће бетона при притиску услјед примјене кречњачког брашна износи: 16,4%, 13,8% и 9,9%, услјед примјене електрофилтерског пепела износи: 25,7%, 23,5% и 20,4% и услјед примјене комбинације кречњачког брашна и електрофилтерског пепела износи: 19,3%, 16,3% и 11,7% – за све наведено у старостима, респективно, 7, 14 и 28 дана, у односу на еталонски бетон, справљен без минералних додатака.

Експериментом се, такође, показало могућим постићи брзе прираштаје чврстоћа самоупраћујућих бетона са предметним минералним додацима и њиховом комбинацијом, што се сматра значајним са аспекта уштеде времена током градње и могућности ранијих скидања оплате са бетонских конструкција.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] R. Panichi, T. Nadramia, P. Segulier, A. Michel, D. Huang, "Industry Top Trends 2020: Building Materials," S&P Global Ratings, pp. 1-22, 2019.
- [2] E. Tkaczewska, G. Malata, "Properties of the Cement, Slag and Fly Ash Mixture Composition Corresponding to CEM II/C-M and CEM VI," Materials Proceedings, Vol. 13, No. 1:11, 2023.
- [3] А. Савић, Истраживање својстава свежег и очврслог самозбијајућег бетона са минералним додацима на бази индустријских нуспродуката, Докторска дисертација, Грађевински факултет Универзитета у Београду, Београд, 2015.
- [4] Г. Броћета, М. Малешев, В. Радоњанин, Трајност самоупраћујућег бетона у функцији примијешане врсте агрегата, Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет Универзитета у Бањој Луци, Бања Лука, 2021.
- [5] G. Rojo-Lopez, B. Gonzalez-Fonteboa, F. Martínez-Abella, I. Gonzalez-Taboada, "Rheology, durability, and mechanical performance of sustainable self-compacting concrete with metakaolin and limestone filler," Case Studies in Construction Materials, Vol. 17, p. e01143, 2022.
- [6] A. Hameed, A. M. Rasool, Y. E. Ibrahim, M. F. U. D. Afzal, A. U. Qazi, I. Hameed, "Utilization of Fly Ash as a Viscosity-Modifying Agent to Produce Cost-Effective, Self-Compacting Concrete: A Sustainable Solution," Sustainability, Vol. 14, No. 18, p. 11559, 2022.
- [7] D. Jevtić, A. Savić, G. Broćeta, "Application of fly ash and expanded clay in lightweight SCC concrete," VIII International Scientific Conference "Contemporary Materials," Book of proceedings, Academy of Sciences and Arts of Republic of Srpska, pp. 201-211, September 6-7, 2015, Banjaluka, 2016.
- [8] Г. Броћета, Истраживање компонентних материјала самозбијајућег бетона са методама испитивања свјеже бетонске масе, Магистарска теза, Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет Универзитета у Бањој Луци, Бања Лука, 2010.
- [9] D. Bjegović, M. Serdar, M. Jelčić Rukavina, A. Baričević, M. Pezer, "Possibilities in concrete industry towards circular economy through industrial symbiosis," Building materials and structures 2014, No. 4, pp. 31-42, 2014.
- [10] M. Malešev, V. Radonjanin, S. Draganić, S. Šupić, M. Laban, "Influence of fly ash and decreasing water-powder ratio on performance of recycled aggregate concrete," Građevinar, Vol. 69, No. 8, pp. 811-820, 2017.
- [11] A. Savić, G. Broćeta, M. Aškrabić, A. Gajić, "Effect of aggregate type and fly ash content on properties of self-compacting concrete", XI International Scientific Conference "Contemporary Materials," Book of proceedings, Academy of Sciences and Arts of Republic of Srpska, pp. 23-40, September 2-3, 2018, Banjaluka, 2019.
- [12] A. Savić, M. Vlahović, S. Martinović, N. Đorđević, G. Broćeta, T. Volkov Husović, "Valorization of Fly Ash from a Thermal Power Plant for Producing High-Performance Self-Compacting Concrete," Science of Sintering, Vol. 52, No. 3, pp. 307-327, 2020.
- [13] EN 450-1:2012 Fly ash for concrete - Part 1: Definitions, requirements and quality control.
- [14] EN 197-1:2011 Cement - Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements.
- [15] ASTM C 618:2022 Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete
- [16] K. Saphouvong, K. Thepvongsa, C. Sonemanivong, S. Simixay, "The Properties of Self-Compacting Concrete Using Fly Ash from Hongsa Power Plant," IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 849, p. 012071, 2020.
- [17] M. Abed, K. Rashid, M. U. Rehman, M. Ju, "Performance Keys on Self-Compacting Concrete Using Recycled Aggregate with Fly Ash by Multi-Criteria Analysis," Journal of Cleaner Production, Vol. 378, p. 134398, 2022.
- [18] S. Badgajar, A. Kumar Dwivedi, "Economical and environment friendly self-compacting concrete," IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 1130, p. 012041, 2022.
- [19] EN 206:2013+A2:2021 Concrete - Specification, performance, production and conformity.
- [20] BIBM, CEMBUREAU, ERMCO, EFCA, EFNARC: "The European Guidelines for Self-Compacting Concrete - Specification, Production and Use", May 2005.
- [21] EN 12350-1:2009 Testing fresh concrete - Part 1: Sampling.
- [22] EN 12350-7:2009 Testing fresh concrete - Part 7: Air content - Pressure methods.
- [23] EN 12350-6:2009 Testing fresh concrete - Part 6: Density.
- [24] EN 12350-8:2010 Testing fresh concrete - Part 8: Self-compacting concrete - Slump-flow test.
- [25] EN 12390-7:2009 Testing hardened concrete - Part 7: Density of hardened concrete.
- [26] EN 12390-3:2009 Testing hardened concrete - Part 3: Compressive strength of test specimens.

ABSTRACT

The cement industry is considered one of the most important causes of CO₂ emissions. To find a solution to this problem, the paper proposes replacing 17,5% of the required amount of cement for the production of self-compacting concrete with additions. Through experimental research on four types of self-compacting concrete, the type of additions was varied - concrete without additions, limestone filler, fly ash and a combination of limestone filler and fly ash. In this sense, it is emphasized that the fly ash was used originally, as it was formed as a by-product in the thermal power plant, i.e. it was not sieved or further processed before use. The research results show that the application of additions has no effect on the compressive strength of concrete at the age of 2 days, but it affects the reduction of the compressive strength of concrete at an age of more than 2 days. At the same time, fly ash has a significant impact. However, this influence is a function of time of a decreasing character, with a tendency for concretes with additions to reach the strengths of concrete without additions at ages greater than 28 days.

EFFECT OF FLY ASH ON THE COMPRESSIVE STRENGTH OF SELF-COMPACTING CONCRETE

GORDANA BROĆETA, ALEKSANDAR SAVIĆ, ANĐELKO CUMBO, MARINA LATINOVIĆ, ŽARKO LAZIĆ, DRAŽENKA RADIĆ, JOVAN VOLAŠ

Optimizacija izmjenjivača toplote sa prirodnom konvekcijom za sistem grijanja prostora primjenom Peltierovog termoelektričnog generatora

Milan Pupčević¹, Mitar Perušić², Petar Gvero¹, Milovan Kotur¹

¹Univerzitet u Banjoj Luci, Mašinski fakultet, Banja Luka, Republika Srpska

²Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Tehnološki fakultet, Zvornik, Republika Srpska

milan.pupcevic@mf.unibl.org, mitar.perusic@tfzv.ues.rs.ba, petar.gvero@mf.unibl.org, milovan.kotur@mf.unibl.org

Sažetak - Ovaj rad je nastavak eksperimentalne analize mogućnosti primjene Peltierovih termoelektričnih modula za grijanje objekta, tačnije optimizacija sistema. Koncept sistema je zamišljen da radi bez freona i bez negativnih i štetnih uticaja na životnu sredinu. Cilj rada je dizajnirati detaljan matematički model optimizacije postojećeg izmjenjivača toplote za grijanje prostora prirodnom konvekcijom. Eksperiment je koncipiran tako da se Peltierov element pozicionira na izmjenjivače toplote i izvrši mjerenje ulazne struje i neophodnih temperatura, a cjelokupna instalacija je skalirana dimenzionom analizom zbog cijene. Optimizacijom razmaka između rebara na izmjenjivaču toplote obezbjeđuje se povećanje toplotnog toka konvekcijom i do 10 puta više od komercijalnog neadekvatnog izmjenjivača.

Ključne riječi - *Izmjenjivač toplote; Termoelektrični efekat; Peltierov modul; Grijanje; Obnovljivi izvori energije;*

I. UVOD

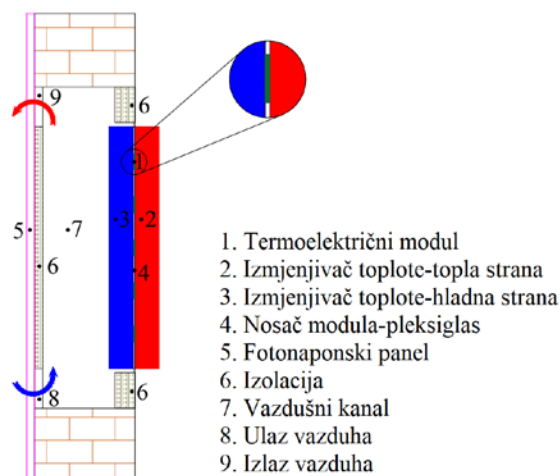
Termoelektrični elementi pronašli su svoju prvobitno važnu primjenu u svemirskom programu, ali naknadno i u izradi manjih hladnjaka, za hlađenje računara, u auto industriji, kao i za iskorištavanje otpadne toplote u industriji pri visokim temperaturama.

Jeftinije pojedine komponente, a zatim i cjelokupni termoelektrični moduli (TEM), doveli su do ideje da se primjenjuju i kod KGH sistema (klimatizacija, grijanje i hlađenje) [1], [2]. Iako imaju malu efikasnost ovi sistemi su veoma zanimljivi za grijanje i hlađenje prostora ako energiju dobijaju iz solarnih fotonaponskih modula, jer solarno hlađenje nema adekvatno komercijalno rješenje. Tokom proizvodnje električne energije koja se koristi u KGH sistemima, fosilna goriva tokom sagorijevanja uzrokuju efekat staklene bašte i kontinuirano pogoršavaju globalno zagrijavanje, sa druge strane, dovodi do potražnje za sistemima klimatizacije. Pored toga, rashladno sredstvo tradicionalnog klima uređaja, freon, nakon curenja dovodi do nepovratnog oštećenja ozonskog sloja.

Maksimalna vrijednost faktora dobreće termoelektričnih modula je za leguru Bizmut-Telurida (Bi_2Te_3) [3]. Pored Bizmut-Telurida, kao najčešće korištene legure, koriste se Olovo-Telurid, Silicijum-Germanijum i Bizmut-Antimon [4].

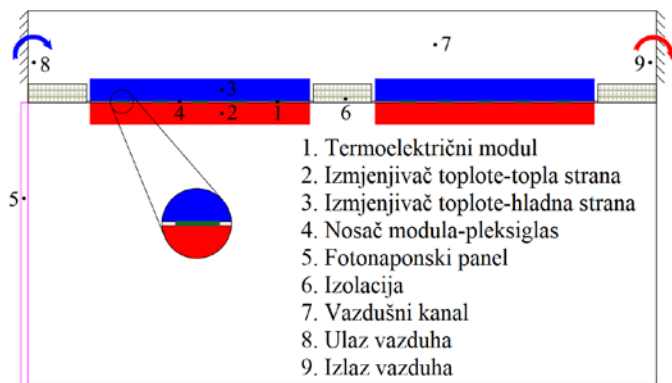
Pozicija ovih uređaja u objektu nije uslovljena zbog malih gabarita, te se mogu ugraditi u zid [5] ili u spuštenu strop prostorije [6],[7]. Postoji mogućnost i izrade vazdušnog kanala u kojem bi bio smješten izmjenjivač toplote sa Peltierovim elementom kao toplotnim generatorom, pri čemu bi se obezbijedila cirkulacija vazduha iz prostora preko modula [8].

Prilikom izgradnje novih objekata izvor toplote može se lako pozicionirati u zid ili u plafon, ali kod već postojećih objekata je veoma teško vršiti rekonstrukciju stropa i bilo bi finansijski neopravdano. Ideja rada je da se navedena instalacija pozicionira na postojeći zid pri čemu se dodatno ugradi izolacioni panel koji razdvaja sistem od okolnog vazduha. Navedeni spoljni vertikalni zid može biti izrađen od fotonaponskih panela, kako je prikazano Sl. 1.



Sl. 1. Sistem grijanja sa TEM pozicioniranim u zidu

Ranije pomenuti sistem stropnog grijanja i hlađenja, primjenom termoelektričnog efekta, prikazan je na Sl. 2. Stropno grijanje nije opravdano koristiti ukoliko sistem nije kompletan sa hlađenjem, jer se u režimu grijanja toplota zadržava u gornjim zonama prostora i upravo to je nedostatak i ograničavajući faktor ovog koncepta grijanja. Na osnovu izloženog usvojeno je da se analizira sistem grijanja pozicioniran u zid prema Sl. 1.



Sl. 2. Sistem grijanja sa TEM pozicioniranim u stropu

Termomoduli pretežno imaju konstantne vrijednosti napona i temperature pri određenim temperaturnim razlikama.

Mnogo autora analizira efikasnost Peltierovog modula kao samostalne komponente, ali za konkretnu primjenu Peltierovog elementa u KGH sistemima neophodno je posjedovati mnogo detaljnije rezultate kompletnog sistema sa izmjenjivačima toplote. Pojedini autori [5], [9]-[11] su razmatrali cjelokupni sistem sa termoelektričnim generatorom (TEG). Cilj ovog rada je napraviti detaljan matematički model prenosa toplote prirodnom konvekcijom a zatim izvršiti optimizaciju razmaka između rebara na izmjenjivaču. Ideja je prikazati toplotne snage izmjenjivača toplote cjelokupno prekrivene Peltierovim elementima, za različite dimenzije grejnih tijela.

88

U ranijem radu [12] se došlo do zaključka da je sistem sa Peltierovim elementima i aluminijskim izmjenjivačima toplote sa obje strane stabilan za prirodnu konvekciju. Sistem pri niskim naponima i strujama, koje se mogu obezbijediti i solarnim fotonaponskim sistemima, sa lakoćom dostiže 90 °C. Mana navedenog sistema je mali koeficijent grijanja COP .

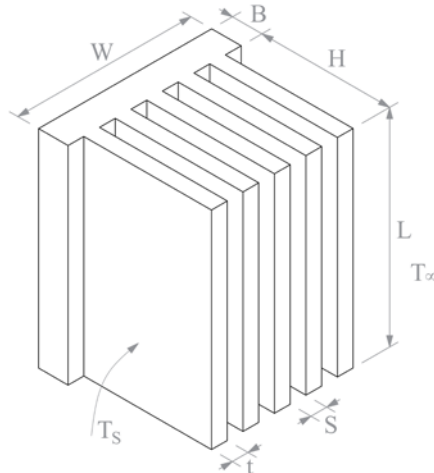
Konačni cilj ovog istraživanja je da se termoelektrični moduli koriste za hlađenje i grijanje objekata, tako da bi neka dalja istraživanja razmatrala optimizaciju broja modula na izmjenjivaču toplote, kao npr. [9].

II. MATEMATIČKI MODEL OPTIMIZACIJE IZMJENJIVAČA TOPLOTE ZA GRIJANJE

Prenos toplote je veoma specifičan kod izmjenjivača toplote sa uskim rebrima i malim razmakom između rebara. Temperatura površine T_s je usvojena kao i u eksperimentu 90 °C, a sobna temperatura T_∞ u vrijednosti od 20 °C. Temperatura T_f za koju su usvojene karakteristike fluida iznosi 55 °C. Dimenzije izmjenjivača toplote koji je korišten u samom eksperimentu su 40x40 mm, te je upravo to početna vrijednost za matematički model, a usvojena granična vrijednost dimenzija kvadratnog izmjenjivača koji bi se koristio u prostoru je 1x1 m.

Postojeći izmjenjivač toplote koji je korišten tokom eksperimentalne analize je pripremljen u obradnom centru, tako da ima identične dimenzije kao Peltierov element, to jeste da prekrije cijelu njegovu površinu.

Karakteristične dimenzije izmjenjivača toplote su dužina rebra tj. visina $L = 40$ mm, širina izmjenjivača $W = 40$ mm i visina rebra od baze $H = 25,1$ mm. Razmak između rebara iznosi $S = 1,5$ a debljina rebra $t = 1,2$ mm, Sl. 3. Da bi se definisala ukupna površina izmjenjivača A_s neophodan je broj rebara $n = 15$.



Sl. 3. Dimenzije rebrastog izmjenjivača orjentisanog vertikalno

Proračun je prvo izvršen za postojeći izmjenjivač toplote i dobijene vrijednosti toplotnog toka su analizirane i potvrđene sa vrijednostima dobijenim eksperimentalno.

Prirodna konvekcija sa vertikalne rebraste površine pravouglonog izmjenjivača bila je predmet brojnih istraživanja, uglavnom eksperimentalnih. Bar-Koen i Rozenov (Bar-Cohen i Rohsenow) [13] su prikupili dostupne podatke pod različitim graničnim uslovima i razvili korelacije za Nuseltov (Nusselt) broj i optimalni razmak između rebara S_{opt} .

Karakteristična dimenzija za vertikalne paralelne ploče koje se koriste kao rebra obično se uzima kao razmak između rebara S , pri čemu je Rejljev (Rayleigh) broj izražen jednačinom (1):

$$Ra_s = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_\infty) \cdot S^3}{\nu^2} \cdot Pr, \quad (1)$$

gdje su: β -koeficijent zapreminskog širenja, Pr -Prandtlv broj (Prandtl) i ν -kinematska viskoznost fluida.

Dužina rebra, to jeste u vertikalnom položaju visina rebra L , takođe se može koristiti za karakterističnu dužinu, pri čemu je odnos ova dva Rejljeva broja definisan jednačinom (2):

$$Ra_L = Ra_s \cdot \frac{L^3}{S^3}. \quad (2)$$

Prilikom eksperimentalne analize je uočeno da je temperaturna raspodjela po dužini izmjenjivača ujednačena, to jeste da ima mala odstupanja. Tim zaključkom je usvojena preporučena jednačina za prosječni Nuseltov broj za vertikalne izotermne paralelne ploče [14], [15], to jeste $T_s = \text{const}$.

$$Nu = \left[\frac{576}{(Ra_s \cdot S/L)^2} + \frac{2,873}{(Ra_s \cdot S/L)^{0,5}} \right]^{-0,5}. \quad (3)$$

Problem razmaka rebara će biti prikazan u nastavku, gdje za navedeni stvarni izmjenjivač kada su definisani Rejljev i Nuseltov broj, koeficijent prelaza toplote ima veoma malu vrijednost:

$$\alpha = \frac{\lambda}{S} \cdot Nu, \quad (4)$$

što implicira i veoma malu količinu toplotnog toka, definisanog jednačinom (5):

$$Q_{con} = \alpha \cdot A_s \cdot (T_s - T_\infty) = \alpha \cdot (n \cdot 2 \cdot L \cdot H) \cdot (T_s - T_\infty). \quad (5)$$

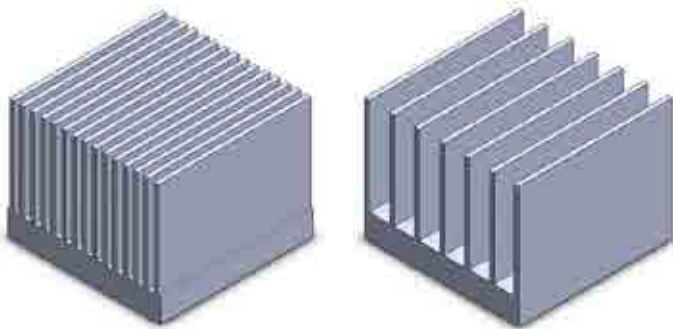
Upravo ovaj nedostatak se dešava zbog uskih razmaka između rebara i nemogućnosti idealnog strujanja vazduha između dva rebara. Da bi se prevazišao ovaj problem dalji matematički model je definisan za optimalni razmak između rebara, jer mora postojati razmak koji osigurava maksimalni toplotni tok prirodnom konvekcijom sa izmjenjivača [13], [14]:

$$S_{opt} = 2,714 \cdot \left(\frac{S^3 \cdot L}{Ra_s} \right)^{0,25} = 2,714 \cdot \frac{L}{Ra_L^{0,25}}, \quad (6)$$

na osnovu čega se dolazi do zaključka da Nuseltov broj za $S = S_{opt}$ mora biti konstantna vrijednost:

$$Nu = \frac{\alpha \cdot S_{opt}}{\lambda} = 1,307. \quad (7)$$

Prema jednačini (6), za komercijalni izmjenjivač toplote (model sa Sl. 4.a) koji ima razmak između rebara $S = 1,5$ mm, a dužinu rebara $L = 40$ mm, optimalan razmak rebara iznosi $S_{opt} = 4,71$ mm. Dalje je rađena detaljna konstrukciona analiza za izradu izmjenjivača tako da se zadrže dimenzije debljine rebra ($t = 1,2$ mm) i širine izmjenjivača ($W = 40$ mm).



a - postojeći komercijalni

b - optimalni

Sl. 4. Modelovani izmjenjivači toplote za sistem grijanja prostora

Prenos toplote, pored konvekcije, mora sadržati i zračenje ukoliko se želi detaljan matematički model, što je urađeno prema jednačini (8), gdje je ε emisivnost površine, A_s površina izmjenjivača a $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ W/m²K⁴ Štefan–Bolcmanova (Stefan–Boltzmann) konstanta. Zračenje koje se dobija sa izmjenjivača konstante temperature T_s može se podijeliti na zračenje izloženih površina i zračenje u kanalu [16].

$$Q_{rad} = [\varepsilon_{ch} \cdot S \cdot L + \varepsilon \cdot (A_s - A_{ch})] \cdot \sigma \cdot (T_s^4 - T_\infty^4). \quad (8)$$

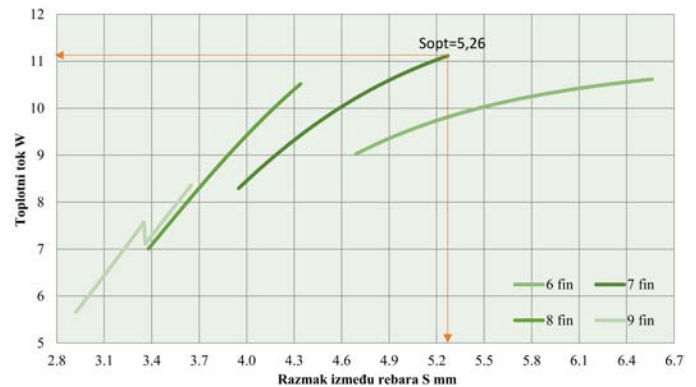
Zračenje kanala ima efektivnu (prividnu) emisivnost kanala ε_{ch} [17], za razliku od izloženih površina koje imaju emisivnost ε , kako je prikazano jednačinom (9):

$$Q_{r, ch} = \varepsilon_{ch} \cdot S \cdot L \cdot \sigma \cdot (T_s^4 - T_\infty^4). \quad (9)$$

Pojedini autori [18], [17] zanemaruju male površine, to jeste uvode se određena uprošćenja za površine koje ne odaju mnogo energije zračenjem. U nastavku je jednačina (8), zapisana uzevši u obzir sve površine izmjenjivača toplote prema Sl. 3:

$$Q_{rad} = (n-1) \cdot Q_{r, ch} + [2 \cdot L \cdot H + n \cdot t \cdot (L + 2 \cdot H) + 2 \cdot B \cdot (L + W)] \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_s^4 - T_\infty^4). \quad (10)$$

Na osnovu ukupnog toplotnog toka sa izmjenjivača analiziran je niz mogućnosti te je uočeno da će izmjenjivač dati svoj maksimum toplotne energije za broj rebara $n = 7$ i razmak $S_{opt} = 5,26$ mm (Sl. 5). Ukoliko se modelira izmjenjivač sa $S = 4,71$ mm i $n = 7$, toplotni tok konvekcijom iznosi 8,815 W, dok izmjenjivač sa 7 rebara i razmakom rebara 5,26 mm (Sl. 4.b) odaje konvekcijom 9,477 W.



Sl. 5. Optimalni razmak između rebara za izmjenjivač 40x40 mm

Zračenje kanala na izmjenjivaču toplote može se definisati i preko faktora geometrije tijela \hat{F}_{ch} [17]:

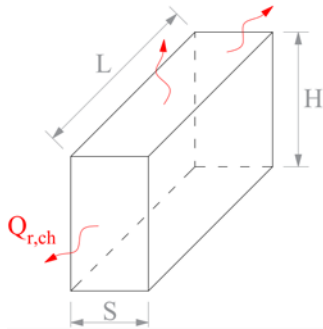
$$\hat{F}_{ch} = \frac{1}{\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} + \frac{1}{F_{S-\infty}}}, \quad (11)$$

pri čemu je $F_{S-\infty}$ ukupni faktor između zidova i osnove kanala i okolnog vazduha.

Ukoliko se faktor oblika uvrsti u jednačinu za količinu energije dobijenu zračenjem kanala, i ako se ne zanemari visina kanala H prilikom definisanja površine, kao u jednačini (9), dobija se nova jednačina u obliku:

$$Q_{r, ch} = \frac{(S + 2 \cdot H) \cdot L \cdot \sigma \cdot (T_s^4 - T_\infty^4)}{\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} + \frac{1}{F_{S-\infty}}}. \quad (12)$$

Ukupni faktor $F_{S-\infty}$, za kanal prikazan na Sl. 6, ima veoma zahtjevnu proceduru definisanja, a zavisi od oblika kanala na izmjenjivaču i eventualnih orebrenja.



Sl. 6. Kanal izmjenjivača toplote

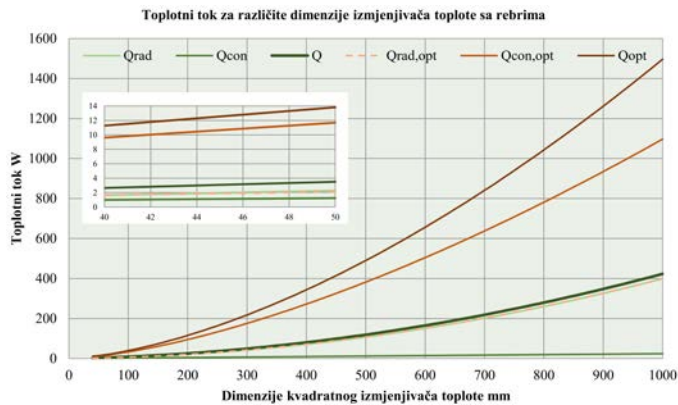
Za izmjenjivač sa rebrima konstantne debljine, prema [17], faktor geometrije može se definisati prema jednačini (13):

$$F_{S-\infty} = 1 - \frac{2 \cdot \bar{H} \cdot \left[(1 + \bar{L}^2)^{1/2} - 1 \right]}{2 \cdot \bar{H} \cdot \bar{L} + (1 + \bar{L}^2)^{1/2} - 1} \quad (13)$$

Treba naglasiti da navedeni faktor ne definišu direktno dužina rebra odnosno kanala L i visina rebra odnosno kanala H , nego njihov odnos sa širinom kanala S :

$$\bar{L} = \frac{L}{S}, \quad \bar{H} = \frac{H}{S} \quad (14)$$

Na Sl. 7. prikazane su vrijednosti toplotnog toka za različite dimenzije komercijalnog izmjenjivača toplote, koje su potvrđene eksperimentalno za izmjenjivač toplote dimenzija 40x40 mm, a zatim izvršeno modeliranje za nekoliko standardnih dimenzija grejnih tijela. Pored toga, prikazane su vrijednosti toplotnog toka za izmjenjivač toplote sa optimalnim razmakom između rebara.



Sl. 7. Toplotni tok za različite dimenzije izmjenjivača toplote

Uočava se da optimalni razmak između rebara dovodi do povećanja prenosa toplote konvekcijom sa $Q_{con} = 1,026$ W, na $Q_{con,opt} = 9,477$ W, pri čemu je toplotni tok veći za približno 10 puta. Naravno broj rebara je smanjen sa 15 na $n = 7$. Koeficijent prelaza toplote u tom slučaju je povećan sa 0,451 na $\alpha = 8,671$ W/m²K.

Toplotni tok koji se dobije prije optimizacije sa komercijalnog izmjenjivača u vidu zračenja, kada je zagrijan do temperature 90 °C, iznosi 1,664 W. Koeficijent grijanja COP (Coefficient of performance), to jeste odnos toplotnog toka Q sa izmjenjivača toplote u prostor i ulazne snage koja je uložena u vidu električne energije P , iznosi:

$$COP = \frac{Q}{P} = 0,298, \quad (15)$$

pri čemu je uzet u obzir ukupni toplotni tok Q sa izmjenjivača u iznosu od 2,69 W i ulazna snaga od 9,026 W.

Koeficijent COP ima veoma malu vrijednost, a razlog je izmjenjivač toplote koji nema optimalan razmak rebara te nije u mogućnosti predati maksimalnu količinu toplote za tu površinu Peltierovog elementa. Optimizacijom izmjenjivača toplote sa prirodnom konvekcijom, povećao se koeficijent COP sa 0,298 na vrijednost veću od 1 to jeste 1,23, pri čemu ukupni toplotni tok sa novog grejnog tijela iznosi 11,1 W.

III. EKSPERIMENTALNA ANALIZA SISTEMA GRIJANJA PRIMJENOM TERMOELEKTRIČNOG GENERATORA

Analizom dosadašnjih istraživanja [19]-[21], instalacija za eksperimentalno ispitivanje izmjenjivača toplote prikazana Sl. 8, zamišljena je tako da se jedna strana Peltierovog elementa održava na konstantnoj temperaturi pomoću laboratorijskog rashladnog uređaja. U realnom procesu to je temperatura spoljnog okolnog vazduha. Temperatura okolnih prostorija, to jeste temperatura vazduha u laboratoriji gdje se nalazi instalacija, održava se na fiksnoj željenoj temperaturi pomoću toplotne pumpe.



Sl. 8. Eksperimentalna instalacija za analizu TEG u prostoru

1-grijana prostorija; 2-rashladni uređaj koji simulira spoljni vazduh; 3-mjerna akvizicija; 4-senzori temperature vazduha u prostoru; 5-senzori temperature površine izmjenjivača toplote; 6-izmjenjivač toplote na toploj strani;

Napajanje Peltierovog termoelektričnog modula korištenog tokom eksperimentalnog mjerenja (Sl. 9.) vrši se pomoću napajanja 24 V sa mogućnošću regulacije napona od 0 do 14,5 V i struje od 0 do 12 A.

Senzori temperature su PT100 sonde, rezolucije $\pm 0,1$ °C. Osnovna akvizicija na koju su spojeni senzori je proizvođača QuantumX. Akvizicija je umjerena sa kalibrisanim uređajima i mjeri napon i struju na krajevima Peltierovog elementa i temperature u više tačaka.

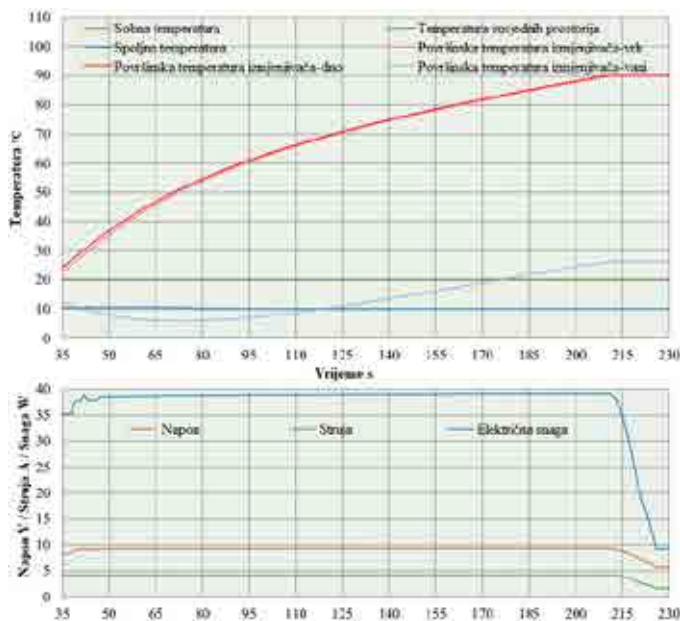
Prostor između toplog i hladnog vazduha razdvojen je pleksiglasom debljine 4 mm, koji ima ulogu i nosača termomodula zajedno sa ostatkom instalacije.



Sl. 9. Izgled korištenog Peltierovog modula

Eksperimentalni rezultati mjerenja za sistem grijanja prostora sa aluminijumskim grejnim tijelom i Peltierovim elementom kao generatorom toplote prikazani su na Sl. 10. i Sl. 11. Uočava se da su temperature izmjenjivača toplote na vrhu i u dnu izmjenjivača ujednačene i odstupanja su maksimalno 1,2 °C, dok je temperaturni prosjek 0,55 °C. Usvojena temperatura ambijenta je 20 °C.

Na Sl. 10. prikazani su rezultati brzog zagrijavanja izmjenjivača toplote, što ima za cilj analizu mogućnosti postizanja željene temperature u kratkom vremenskom roku. Svakako da je to veoma važno prilikom startovanja sistema posle prekida u radu, a uočava se da izmjenjivač dostiže temperaturu u iznosu od 90 °C za manje od 4 minuta. Spoljna temperatura vazduha tokom mjerenja prikazanog na Sl. 10. kretala se u granicama $10 \pm 0,1$ °C.



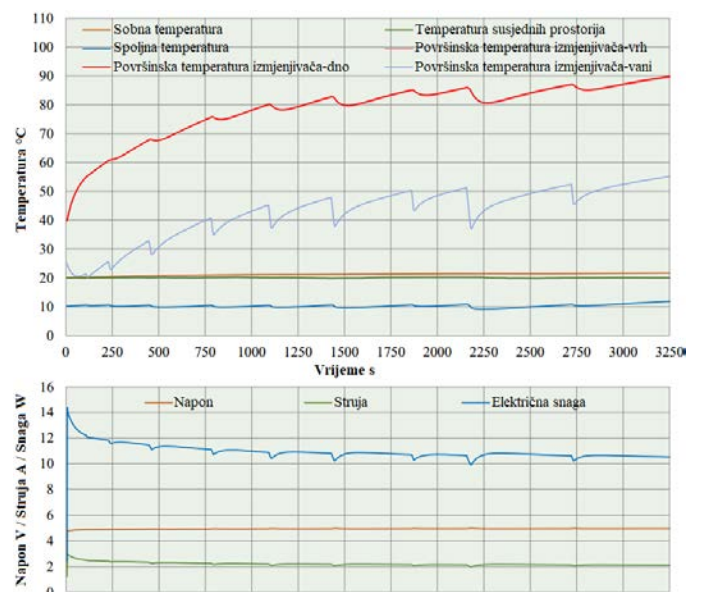
Sl. 10. Eksperimentalni rezultati mjerenja za sistem grijanja prostora sa aluminijumskim grejnim tijelom i Peltierovim elementom kao generatorom toplote – brzo zagrijavanje izmjenjivača

Na Sl. 11. prikazani su rezultati postupnog zagrijavanja izmjenjivača toplote, kako bi se analizirala stabilnost sistema. Tačnije, cilj tog mjerenja je ostvariti željenu temperaturu na izmjenjivaču toplote uz minimalni utrošak energije i doći do zaključka da li sistem radi stabilno sa promjenom parametara.

Jedna od mogućih promjena parametara je promjena spoljne temperature vazduha u slučaju pojave hladnog vjetra, što je prikazano Sl. 11. Uočava se da sistem nije stabilan, to jeste temperatura izmjenjivača u okolini se skokovito mijenja, a samim tim i temperatura toplog izmjenjivača u prostoru. Bez obzira na ovo pothlađivanje, sistem se veoma brzo ponovo zagrijava na zadatu vrijednost.

Spoljna temperatura vazduha tokom mjerenja prikazanog na Sl. 11. kretala se u granicama $10 \pm 1,5$ °C. Temperatura susjednih prostorija, posmatrajući iz prostorije u kojoj se vrše mjerenja, usvojena je kao grijani prostor i kreće se u granicama 20 ± 1 °C.

Sistem je startovan sa temperaturom sobnog vazduha u iznosu od 20,0 °C, a tokom mjerenja je dostignuta temperatura vazduha od 22,7 °C, to jeste postignuta je toplotna ugodnost.



Sl. 11. Eksperimentalni rezultati mjerenja za sistem grijanja prostora sa aluminijumskim grejnim tijelom i Peltierovim elementom kao generatorom toplote – postupno zagrijavanje izmjenjivača

IV. ZAKLJUČAK

U radu je izvršena optimizacija izmjenjivača toplote sa paralelnim rebrima, za sistem grijanja prostora sa Peltierovim termoelektričnim modulima kao generatorima toplote. Urađen je detaljan matematički model prenosa toplote sa prirodnom konvekcijom za postojeći izmjenjivač toplote, a zatim urađena optimizacija izmjenjivača toplote to jeste optimalni razmak između rebara ili širina kanala.

Izvršena su mjerenja sa postojećim izmjenjivačem toplote, koji je pripremljen da prekrije cjelokupni Peltierov element. Mjerna akvizicija je prikupila podatke ulaznog napona, ulazne struje, temperatura unutrašnjeg i spoljašnjeg vazduha, te površinskih temperatura izmjenjivača toplote na toploj i hladnoj strani.

Na osnovu eksperimentalnih mjerenja da se zaključiti da je sistem stabilan, jer pri spoljnoj temperaturi u iznosu od 10 °C uspijeva zagrijati sobni vazduh na temperaturu od 22,7 °C.

Na samom termoelektričnom modulu sa izmjenjivačem toplote dostignuta je maksimalna temperatura površine od 90 °C, pri ulaznoj električnoj snazi od 9,026 W. S obzirom da je sistem prvobitno u prostor isporučio svega 2,69 W toplotnog toka, dolazi se do zaključka da je stepen korisnosti COP malih 0,298. Kada se pogleda vrijednost ulazne električne energije i toplote koja se oslobađa u prostor, dolazi se do zaključka da bez optimizacije izmjenjivača toplote ovaj sistem nije opravdano koristiti.

Optimalni izmjenjivač toplote za prirodnu cirkulaciju vazduha bi obezbijedio toplotni tok u prostor u iznosu od 11,1 W, što za istu količinu ulazne električne energije kao u prvom slučaju definiše COP veći od 1, tačnije 1,23.

Treba naglasiti da nije sigurno koju bi količinu ulazne električne energije trošio sistem sa novim optimizovanim izmjenjivačem toplote, zagrijanim na 90 °C. Ukoliko se želi dobiti detaljna uporedna analiza, neophodno je izraditi izmjenjivač toplote definisan ovim radom, kako bi se izvršila ponovljena mjerenja identična prvom slučaju. Jedino tako je zaista moguće uporediti ova dva izmjenjivača i COP oba sistema.

Sistem sa ovim vrijednostima COP nije konkurentan toplotnim pumpama, ali su svakako jedna od opcija za zamjenu freonskih sistema. Primjenom sistema sa prinudnom cirkulacijom vazduha dodatno bi se povećala efikasnost sistema.

Dalja istraživanja imaju za cilj, pored definisanja sistema za hlađenje vazduha u prostoru, optimizaciju broja modula po površini izmjenjivača, to jeste raspored manjeg broja modula na veću površinu izmjenjivača, a samim tim i povećanje COP.

LITERATURA

- [1] Ma, X., *et al.*, Building Integrated Thermoelectric Air Conditioners-A Potentially Fully Environmentally Friendly Solution in Building Services, *Future Cities and Environment*, 5 (2019), pp. 12, doi: <https://doi.org/10.5334/fce.76>
- [2] Gondal, I. A., Design and experimental analysis of a solar thermoelectric heating, ventilation, and air conditioning system as an integral element of a building envelope, *Building Services Engineering Research and Technology*, 40 (2018), 2, pp. 220-236, doi: [10.1177/0143624418814067](https://doi.org/10.1177/0143624418814067)
- [3] Khanh, D.V.K., *et al.*, Optimization of thermo-electric coolers using hybrid genetic algorithm and simulated annealing, *Archives of Control Sciences*, 24 (2014), 2, pp. 155-176
- [4] Cheng, T. H., *et al.*, An effective Seebeck coefficient obtained by experimental results of a thermoelectric generator module, *Applied Energy*, 88 (2011), 11, pp. 5173-5179, doi: [10.1016/j.apenergy.2011.07.033](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.07.033)
- [5] Luo, Y., *et al.*, Dynamical simulation of building integrated photovoltaic thermoelectric wall system: Balancing calculation speed and accuracy, *Applied Energy*, (2017), 3, doi: [http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.03.024](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.03.024)
- [6] Liu, Z., *et al.*, Experimental evaluation of a solar thermoelectric cooled ceiling combined with displacement ventilation system, *Energy Conversion and Management*, 87 (2014), 1, pp. 559-565
- [7] Irshad, K., *et al.*, Study of thermoelectric and photovoltaic facade system for energy efficient building development: A review, *Journal of Cleaner Production*, 209 (2019), pp. 1376-1395, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.245>
- [8] Irshad, K., *et al.*, Thermal comfort study of a building equipped with thermoelectric air duct system for tropical climate, *Applied Thermal Engineering*, 91 (2015), pp. 1141-1155, doi: [10.1016/j.applthermaleng.2015.08.077](https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.08.077)
- [9] Chen, L.G., *et al.*, Performance optimization of a class of combined thermoelectric heating devices, *Science China Technological Sciences*, 63 (2020), pp. 2640-2648, doi: <https://doi.org/10.1007/s11431-019-1518-x>
- [10] Trancossi, M., *et al.*, Thermoelectric and solar heat pump use toward self sufficient buildings: The case of a container house, *Thermal Science and Engineering Progress*, 18 (2020), doi: <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2020.100509>
- [11] Afshari, F., Experimental and numerical investigation on thermoelectric coolers for comparing air-to-water to air-to-air refrigerators, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 144 (2020), doi: <https://doi.org/10.1007/s10973-020-09500-6>
- [12] Pupčević, M., *et al.*, Experimental analysis of the justification of using a space heating system using a Peltier thermoelectric generator, *IEEP Industrial Energy and Environmental Protection in the Countries of Southeast Europe*, 8 (2022)
- [13] Bar-Cohen, A., Rohsenow, W.M., Thermally Optimum Spacing of Vertical, Natural Convection Cooled, Parallel Plates, *Journal of Heat Transfer*, 106 (1984), 1, pp. 116-123, doi: [10.1115/1.3246622](https://doi.org/10.1115/1.3246622)
- [14] Cengel, Y.A., Ghajar, A.J., *Heat and Mass Transfer-Fundamentals and Applications*, McGraw-Hill, New York, USA, 2011, ISBN978-007-131112-0
- [15] Ahmadi, M., *et al.*, Natural convection from rectangular interrupted fins, *International Journal of Thermal Sciences*, 82 (2014), pp. 62-71, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2014.03.016>
- [16] Yong, K.K., *et al.*, On the role of radiation view factor in thermal performance of straight-fin heat sinks, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 37 (2010), 8, pp. 1087-1095, <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2010.06.012>
- [17] Shabany, Y., Radiation heat transfer from plate-fin heat sinks, *IEEE SEMI-THERM Symposium*, 24 (2008), pp. 132-136
- [18] Rea, S.N., West, S.E., Thermal radiation from finned heat sinks, *IEEE Transactions on parts, hybrids, and packaging*, 12 (1976), 2, pp. 115-117
- [19] Fairuz, M.R., *et al.*, Experimental study of a mini cooler by using Peltier thermoelectric cell, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 788 (2020), 5, doi: [10.1088/1757-899X/788/1/012076](https://doi.org/10.1088/1757-899X/788/1/012076)
- [20] Giaretto, V., Campagnoli, E., The Elusive Thomson Effect in Thermoelectric Devices. Experimental Investigation from 363 K to 213 K on Various Peltier Modules, *Metals*, 10 (2020), 2, doi: <https://doi.org/10.3390/met10020291>
- [21] Abbas, Z., *et al.*, Performance evaluation of novel solar-powered domestic air cooler with Peltier modules, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 34 (2020), 11, pp. 4797-4807, doi: [http://doi.org/10.1007/s12206-020-1036-0](https://doi.org/10.1007/s12206-020-1036-0)

Određivanje optimalnog odnosa instalisane snage fotonaponskih panela i instalisane snage invertora

Vojislav Kajtez, Predrag Mršić, Čedomir Zeljković

Univerzitet u Banjoj Luci, Elektrotehnički fakultet, Banja Luka, Republika Srpska
vojislav.kajtez@student.etf.unibl.org, predrag.mrsic@etf.unibl.org, cedomir.zeljkuvic@etf.unibl.org

Sažetak—Tema rada je određivanje optimalnog faktora dimenzionisanja invertora, koji se definiše kao odnos instalisane snage fotonaponskih panela i instalisane snage invertora. Odabrani su matematički modeli kojima se adekvatno uvažavaju geometrijske i energetske karakteristike fotonaponskog sistema i na osnovu njih napisan je kôd programa za simulaciju. Razvijenim softverskim alatom testiran je rad fotonaponskog sistema za različite vrijednosti faktora dimenzionisanja u potrazi za maksimalnom godišnjom proizvodnjom. Proračun godišnje proizvodnje izvršen je korištenjem podataka za tipičnu meteorološku godinu, a odvojene analize izvršene su za dva klimatski različita područja na teritoriji Republike Srpske. Rezultati koji se dobijaju ovom metodologijom bazirani su isključivo na energetskom aspektu, dok ekonomski aspekt nije uzet u razmatranje.

Ključne riječi—faktor dimenzionisanja invertora; fotonaponski sistemi; optimizacija fotonaponskih sistema; softverski alat.

I. UVOD

Fotonaponska tehnologija je u posljednjoj deceniji doživjela značajan napredak. Zadani ciljevi za udio električne energije koja se dobija konverzijom sunčeve energije postaju sve veći, samim tim i izazovniji za svijet u kome živimo. Prema podacima datim od strane IEA (IEA – International Energy Agency), može se izvesti zaključak da većina država, iz godine u godinu, bilježi rast ukupne instalisane snage fotonaponskih elektrana što rezultuje primjetnim promjenama u energetskom sektoru. S obzirom na to da se svijet trenutno nalazi u energetskoj reformi, sa ciljem dobijanja što više energije iz obnovljivih izvora, za očekivati je da će se intenzivni razvoj solarne energetike nastaviti i u narednim godinama. Države koje prednjače u ukupnoj instalisanoj snazi prema podacima iz 2021. godine su Kina (307 GW), SAD (95,2 GW), Japan (74,2 GW), Njemačka (58,5 GW) i Indija (49,7 GW) [1].

Prilikom projektovanja fotonaponskih sistema jedan od prvih zadataka jeste dimenzionisanje invertora koji će se koristiti u posmatranom sistemu. Dimenzionisanje invertora (eng. *inverter sizing*) je procedura kojom se bira odnos snage fotonaponskih panela (instalisana snaga na DC strani) i snage invertora na kojeg su priključeni fotonaponski paneli (instalisana snaga na AC strani). Navedeni odnos se naziva faktor dimenzionisanja invertora i uobičajeno se označava sa

R_S . Formulacija prethodno navedene definicije može se prikazati kao:

$$R_S = \frac{P_{PV,P}}{P_{inv,N}}, \quad (1)$$

gdje je $P_{PV,P}$ ukupna instalisana snaga fotonaponskih panela, a $P_{inv,N}$ instalisana snaga invertora na kojeg su posmatrani paneli priključeni [2]. Za $0 < R_S < 1$ inverter je predimenzionisan, dok je za $R_S > 1$ poddimenzionisan. Kada je inverter predimenzionisan očigledno je da on neće biti u potpunosti iskorišten. Sa druge strane, kada je poddimenzionisan, javlja se tzv. efekat odsijecanja zbog limitirane izlazne snage invertora koji može značajno uticati na ukupno proizvedenu električnu energiju. Optimalnu vrijednost parametra R_S definitivno nije jednostavno odrediti, jer na njegovu vrijednost direktno ili indirektno utiču razni parametri počev od geografske lokacije elektrane i klime koja vlada na tom području, pa do nagiba i orijentacije fotonaponskih panela.

Postoji više naučnih radova koji su posvećeni navedenoj tematici. *Camps* je u svom radu utvrdio da postoji mnogo više studija rađenih simulacijama nego onih što su vršene eksperimentalnim putem [3]. Simulacione metode su obično sprovedene sa uvažavanjem fizičkih ili tehnoloških aspekata, a najčešće se svode na softversku simulaciju. Fizički aspekti uključuju varijable kao što su lokacija, zračenje i temperatura, tip montaže, orijentacija i nagib modula, dok su tehnološki aspekti više vezani za fotonaponsku tehnologiju, efikasnost invertora, sisteme za praćenje putanje sunca i interval uzorkovanja [2]. U radu objavljenom od strane *Velasc-a*, u kojem su uvaženi određeni fizički aspekti, došlo se do zaključka da poddimenzionisanje utiče na smanjenje godišnje proizvodnje električne energije, a može doći i do pregrijavanja invertora što može imati negativne efekte [4]. *Notton* je u svojim analizama uvažio tehnologiju fotonaponskog panela, nagib panela, tip invertora i lokaciju. Njegov zaključak je da na faktor dimenzionisanja invertora znatno više uticaja ima kriva efikasnosti invertora nego tip tehnologije koji je upotrijebljen prilikom konstrukcije panela [5].

U studiji sprovedenoj u Portugaliji i Holandiji od strane *Kil-a* i *Weiden-a*, došlo se do zaključka da izlazna energija varira samo 0,5% za R_S u opsegu od 1,05 do 1,54 [6]. *Macedo* i *Zilles* su u svom istraživanju, u Brazilu, zaključili da se izlazna energija ne mijenja značajno za opseg R_S od 0,98 do

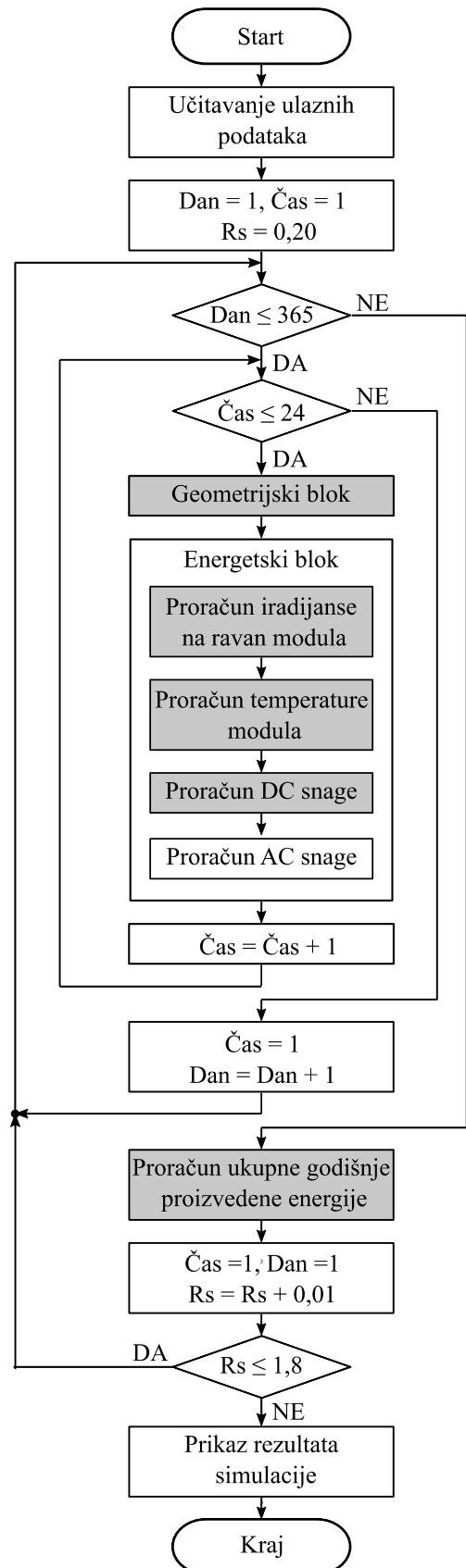
1,82 [7]. Tvrdnje da može doći do maksimalno 3% smanjenja energije pri opsegu R_S od 1 do 1,24 Camps je iznio u svom radu [3], dok sa druge strane, *Pieppo* i *Lund* su zaključili da će izlazna energija varirati maksimalno 2% za promjene R_S od $\pm 20\%$ u odnosu na $R_{S,opt}$ [8]. Dodatno, *Wang* je u svom radu, pored standardnih varijabli, uzeo u obzir i ekonomski aspekt i degradaciju panela. Njegovi rezultati su pokazali da se, za nižu specificiranu DC snagu i niži inverter/panel cjenovni omjer, optimalni opseg parametra R_S se kreće od 1,12 do 1,25, a sa druge strane za višu specificiranu DC snagu i inverter/panel cjenovni omjer, optimalni opseg parametra R_S se kreće u znatno manjem opsegu, od 1,17 do 1,19 [2].

U ovom radu su analizirani faktori dimenzionisanja invertora za dvije lokacije na teritoriji Republike Srpske na kojima vladaju dvije različite klime. Banja Luka je grad na sjeverozapadu republike gdje vlada umjerenokontinentalna klima, dok je Trebinje grad na jugoistoku gdje preovlađuje mediteranska klima. Pored klimatskih uticaja ispitan je uticaj i nagiba solarnih panela. U cilju dobijanja relevantnih rezultata simulacija, prilikom određivanja ekvivalentne krive efikasnosti invertora uzeta su u obzir četiri različita invertora koji su u aktuelnom trenutku najzastupljeniji na ovim prostorima.

II. METODOLOGIJA PRORAČUNA

Metodologija proračuna godišnje proizvodnje energije se može podijeliti u dva osnovna bloka: geometrijski i energetska. Geometrijski blok je sastavljen od funkcija u kojima se određuje pozicija Sunca i proračunava ugao pod kojim padaju Sunčevi zraci na module. Funkcije za geometrijski blok su preuzete iz rada [9]. Energetski blok sadrži funkcije kojima se proračunava iradijansa na ravan fotonaponskih panela, temperatura panela i DC snaga. Ove funkcije su takođe preuzete iz rada [9], dok je funkcija za model invertora razvijena u ovom radu.

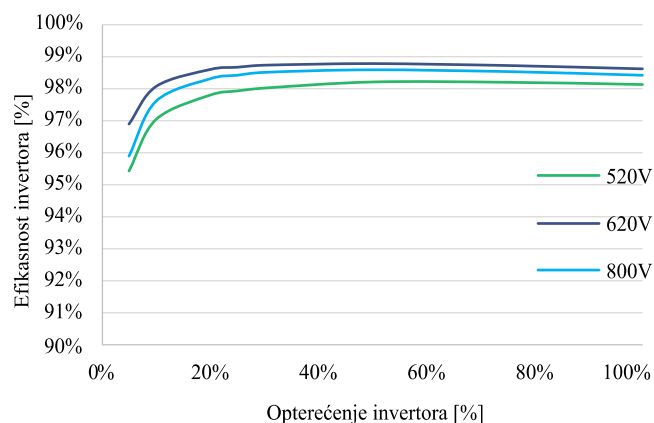
Računarski program je koncipiran tako da se na početku unesu ulazni podaci među kojima su geografska lokacija, nagib i orijentacija panela, DC snaga sistema, karakteristični gubici sistema, itd. Potom se za odabranu geografsku lokaciju, koristeći podatke o tipičnoj meteorološkoj godini, učitava vektor direktne i difuzne iradijanse i ambijentalne temperature. Ti podaci su preuzeti iz kalkulatora *PVWatts* američke Nacionalne laboratorije za obnovljivu energiju - NREL (engl. *National Renewable Energy Laboratory*) [10]. Da bi se mogao odrediti optimalan faktor dimenzionisanja invertora (R_S), mijenja se vrijednost ovog faktora u opsegu od 0,20 do 1,80 sa korakom 0,01. U okviru proračuna za jednu vrijednost faktora dimenzionisanja vrši se proračun godišnje proizvedene energije na satnom nivou. Sumiranjem satnih vrijednosti snaga dobija se ukupna godišnja proizvodnja električne energije. Optimalna vrijednost faktora dimenzionisanja se ima za najveću godišnju proizvodnju energije. Na sl. 1 prikazan je kompletan dijagram toka programa. Dijelovi programa koji su preuzeti iz rada [9] su označeni sivom bojom.



Sl. 1. Dijagram toka programa

III. MODELOVANJE INVERTORA

Invertor je pretvarač energetske elektronike koji vrši konverziju jednosmjerne struje u naizmjeničnu struju. Svaki invertor ima svoje tehničke parametre, od kojih su posebno važni nazivna snaga i stepen iskorištenja. Nazivna snaga predstavlja nominalnu snagu, odnosno maksimalnu AC snagu. U izrazu (1) ova snaga je označena sa $P_{inv,N}$. Stepen iskorištenja je drugi parametar od suštinske važnosti. Na Sl. 2 prikazana je efikasnost invertora proizvođača Huawei, tip SUN2000-50KTL-M0 [11]. Stepen iskorištenja invertora nije konstantan, nego se mijenja u zavisnosti od opterećenja invertora i u zavisnosti od napona na DC strani. Napon na DC priključcima invertora zavisi od mnogo faktora, među kojima su tip i broj fotonaponskih panela u nizu, te vremenske prilike koje vladaju u datom momentu, jer se napon mijenja u zavisnosti od snage Sunčevog zračenja i temperature fotonaponskog panela. Iz tog razloga proizvođači obično u grafičkom prikazu izdvoje tri karakteristike za tri vrijednosti napona (niži, srednji i viši napon). Ove naponske vrijednosti nisu iste za sve proizvođače, ali se mogu izvući odgovarajući naponski opsezi. Tako postoji kriva efikasnosti za niži napon u opsegu od 400 V do 520 V, srednji napon od 590 V do 670 V i viši napon za opseg od 800 V do 870 V [11]–[14]. Takođe, iz karakteristika efikasnosti invertora može se zaključiti da su invertori konstruisani tako da za srednji naponski opseg efikasnost invertora dostiže najveće vrijednosti. Ovaj podatak, sam po sebi, govori da prilikom dimenzionisanja invertora, posmatrano sa strane efikasnosti, poželjno je odabrati konfiguraciju da napon na DC priključcima invertora bude što je moguće bliži srednjem naponskom opsegu. Važno je napomenuti da na snagu sa kojom invertor radi utiče i temperatura ambijenta. Naime, kada temperatura ambijenta pređe određenu granicu, sistem za hlađenje invertora ne može da ohladi invertor, te on počne da smanjuje izlaznu snagu kako bi smanjio snagu koja se disipira na elektronskim komponentama. U ovom radu se smatra da temperatura ambijenta nikad neće biti takva da će doći do smanjenja snage invertora zbog problema sa hlađenjem.



Sl. 2. Krive efikasnosti invertora proizvođača Huawei, tip SUN2000-50KTL-M0 [11]

Prilikom određivanja ekvivalentne krive efikasnosti uzeta su u obzir četiri različita proizvođača invertora, a to su redom

Fronius, SMA, Huawei i Sungrow [11]–[14]. Ovi proizvođači invertora su ujedno i najzastupljeniji na prostoru BiH. U analizi su uzeti invertori ne stariji od tri godine sa nominalnim snagama od 50 kVA. Radi jednostavnosti, usvojeno je da se napon na DC priključcima invertora nalazi u srednjem opsegu, te su analizirane krive efikasnosti za srednji opseg napona. Zavisnost stepena iskorištenja, ekvivalentne krive efikasnosti, u odnosu na opterećenje invertora može se predstaviti u sljedećem obliku:

$$\eta(\zeta) = k_1 + k_2 \cdot \zeta + \frac{k_3}{\zeta}, \quad (2)$$

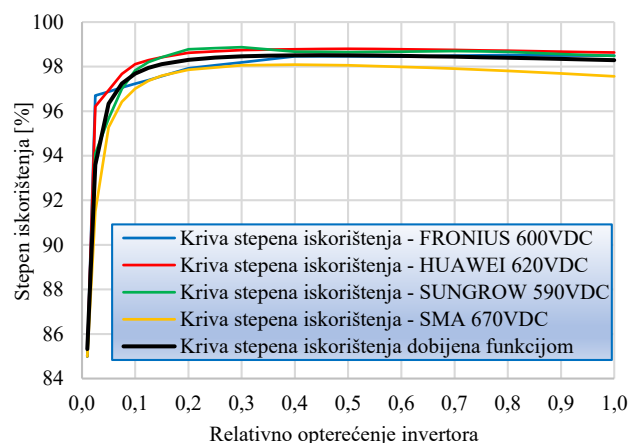
gdje su k_1 , k_2 i k_3 koeficijenti, a ζ relativno opterećenje invertora. Koeficijenti su estimirani metodom najmanjih kvadrata odstupanja i dobijene su vrijednosti:

$$k_1 = 99,1321;$$

$$k_2 = -0,7029;$$

$$k_3 = -0,1380.$$

Na Sl. 3 prikazane su krive efikasnosti četiri analizirana invertora, kao i ekvivalentna kriva efikasnosti data izrazom (2).



Sl. 3. Krive efikasnosti invertora proizvođača Fronius, Huawei, Sungrow, SMA, kao i ekvivalentna kriva efikasnosti

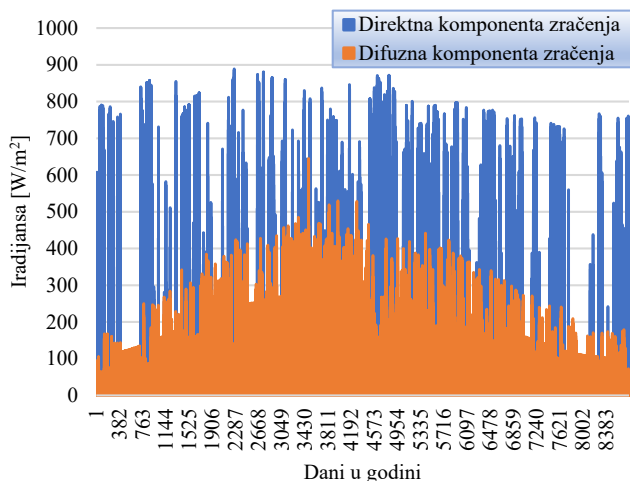
IV. REZULTATI SIMULACIJE

A. Ulazni podaci

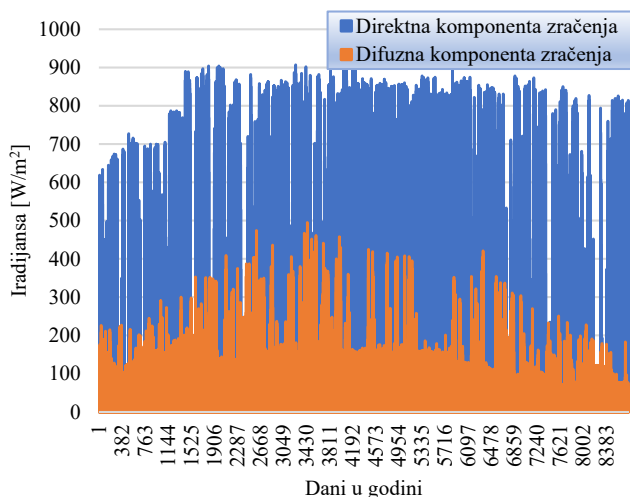
Ulazni podaci koji su potrebni za simulaciju i koji se prvo učitavaju su: geografska lokacija, nagib i orijentacija modula, DC snaga sistema (50.000 W), ukupni gubici na DC strani (14%), nominalna radna temperatura ćelija (46,51°C), vektor direktne iradijance na normalnu podlogu, vektor difuzne iradijance na horizontalnu podlogu i vektor ambijentalne temperature. Navedeni vektori su preuzeti iz podataka o tipičnoj meteorološkoj godini i dati su na satnom nivou te se i proizvodnja električne energije računa na satnom nivou.

Prva lokacija od interesa obuhvata sjeverni dio Republike Srpske, banjalučku regiju, u kojoj vlada umjereno kontinentalna klima, dok se druga odnosi na krajnji jug

Republike Srpske i regiju grada Trebinja u kojoj vlada sredozemna klima. Na Sl. 4 i Sl. 5 prikazane su direktna i difuzna komponenta Sunčevog zračenja za odabrane lokacije. Pored analize ova dva klimatska područja, u određenoj mjeri, ispitani su slučajevi koji se odnose na tip fotonaponske elektrane, tj. da li je elektrana planirana na zemlji ili na krovu objekta. Za slučaj kada je elektrana planirana na zemlji, optimalni ugao fotonaponskih panela se kreće od 30° do 40°. Kada je riječ o elektranama na krovu, nagib panela direktno zavisi od krovne konstrukcije objekta. Nagib krovne konstrukcije za proizvodne hale, skladišne hale i objekte slične namjene se obično kreće od 5° do 15° te je iz tog razloga uzet u razmatranje ugao od 10°. Za sve analizirane varijante fotonaponskih sistema usvojeno je da su fotonaponski paneli orijentisani ka jugu.



Sl. 4. Direktna i difuzna komponenta sunčevog zračenja za područje grada Banje Luke



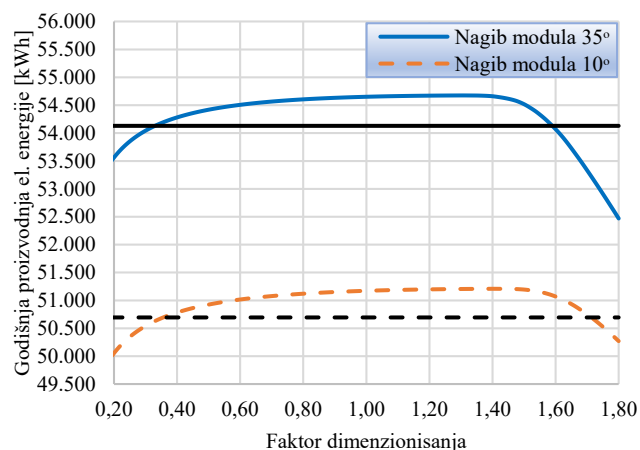
Sl. 5. Direktna i difuzna komponenta Sunčevog zračenja za područje grada Trebinja

Simulacija je vršena za faktor dimenzionisanja invertora u opsegu od 0,20 do 1,80 sa korakom od 0,01. Program je koncipiran tako da DC snaga sistema ostaje fiksna, podešena

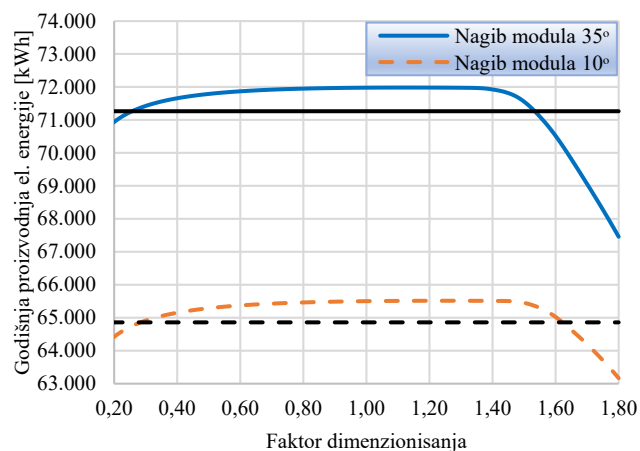
na 50.000W, a promjenom faktora dimenzionisanja se ustvari mijenja snaga invertora.

B. Rezultati

Prva analizirana lokacija je sjever entiteta, područje grada Banje Luke, a potom i jug. područje grada Trebinja. Za obje lokacije, krive proizvodnje električne energije za uglove panela od 35° i 10° su prikazane na jednom dijagramu kako bi se dobio bolji vizuelni pregled razlika u rezultatima simulacije. Grafici godišnje proizvedene električne energije u zavisnosti od faktora dimenzionisanja invertora za područje grada Banje Luke su prikazani na Sl. 6, a za područje grada Trebinja na Sl. 7.



Sl. 6. Proizvodnja električne energije u zavisnosti od faktora dimenzionisanja invertora za područje grada Banje Luke



Sl. 7. Proizvodnja električne energije u zavisnosti od faktora dimenzionisanja invertora za područje grada Trebinja

Posmatranjem grafika dobijenih u rezultatima simulacije može se zaključiti da sve karakteristike imaju sličan izgled. Na dva mjesta može se primijetiti da dolazi do većih promjena u vrijednostima generisane električne energije. Ova dva mjesta se mogu definisati kao tzv. koljena krivih i postoji jedno koljeno na početku (lijevo koljeno) i drugo na kraju (desno koljeno). Iz prethodno rečenog proističe da se karakteristike mogu podijeliti u tri karakteristična segmenta.

Prvi segment obuhvata dio krive od vrijednosti energije dobijene za $R_S=0,20$ pa do vrijednosti energije koja odgovara kraju lijevog koljena. Ovaj dio krive je karakterističan po tome što inverter radi u izrazito predimenzionisanom režimu, nije ekonomski opravdan te se može okarakterisati kao neprihvatljiv segment. Drugi segment, tj. srednji segment predstavlja dio krive od kraja lijevog koljena do početka desnog. U navedenom segmentu dolazi do jako malih promjena u generisanoj električnoj energiji. Prvobitno energija raste do maksimalne vrijednosti energije W_P (engl. *peak*), a potom slijedi blagi pad. Vrijednost faktora dimenzionisanja invertora koji odgovara vrijednosti W_P predstavlja optimalnu vrijednost i može se definisati kao R_{S_OPT} . Navedeni segment je karakterističan po tome što energija ima jako male varijacije u odnosu na maksimalnu vrijednost te se ovaj kompletan opseg krive može definisati kao prihvatljiv segment. I konačno, treći segment obuhvata dio krive od početka desnog koljena pa do vrijednosti energije dobijene za $R_S=1,80$. Treći segment je karakterističan po tome što u ovom dijelu efekat limitiranja izlazne snage invertora ipak dolazi do izražaja te krive bilježe nagli pad godišnje proizvedene električne energije. Pored navedenog, u trećem segmentu zbog prilično velikih vrijednosti faktora dimenzionisanja, postoji opasnost od termičkih naprazenja invertora. S obzirom na rečeno, treći segment, kao i prvi, se može smatrati neprihvatljivim prilikom dimenzionisanja invertora

Za slučaj prikazan na Sl. 6, u kome je analizirano područje grada Banje Luke, kada je ugao panela 10° , R_{S_OPT} bilježi vrijednost 1,40 dok za sistem u kome su paneli pod uglom od 35° ima vrijednost 1,31. Dobijeni rezultati govore da kada je nagib panela manji od optimalnog (35°), efekat limitiranja snage manje dolazi do izražaja, što za posljedicu ima da se za takav sistem može odabrati inverter manje snage. Za geografsko područje grada Trebinja (Sl. 7), u poređenju sa rezultatima za područje grada Banje Luke, proizvodnja u slučaju nagiba panela 35° je veća za oko 32%, dok je za slučaj nagiba panela od 10° veća za oko 28%. Ovo su naravno očekivani rezultati jer klima koja vlada na krajnjem jugu Republike Srpske je znatno povoljnija za solarnu energetiku. Što se tiče faktora dimenzionisanja, bilježe se vrijednosti $R_{S_OPT_35^\circ}=1,13$ i $R_{S_OPT_10^\circ}=1,24$.

Drugačiji pristup analizi rezultata simulacije se može izvršiti na način da se odredi opseg faktora dimenzionisanja za koji godišnja proizvodnja analiziranih sistema neće odstupiti značajno u poređenju sa maksimalnom vrijednošću. Tako, ako se za analizirane fotonaponske sisteme postavi uslov da proizvedena električna energija ne smije varirati više od 1% u odnosu na maksimalnu, dobiće se opsezi faktora dimenzionisanja čije su vrijednosti date u tabeli 1. Na Sl. 6 i 7 horizontalnom linijom su prikazane vrijednosti energija koje su za 1% manje od maksimalnih vrijednosti. Donja granica faktora dimenzionisanja ima prilično male vrijednosti za sve analizirane sisteme, a najniža vrijednost dobija se slučaj područja grada Trebinje pri uglu panela od 35° . Dobijena vrijednost od 0,26 govori da je u tom slučaju

instalirana snaga invertora čak četiri puta veća od instalirane snage fotonaponskih panela. Iako ovoliko predimenzionisanje invertora ima zadovoljavajuće tehničke performanse, rijetko se koristi u praksi jer nije ekonomično. Postoje rijetke specifične situacije u kojima je inverter u ovoj mjeri predimenzionisan kao što su npr.:

- kvarovi na većim dijelovima segmenata fotonaponskih panela, što za posljedicu ima da je inverter prinuđen da radi sa manjim faktorom dimenzionisanja;
- već posjedovanje opreme (prvenstveno invertora) koja nije usklađena sa sistemom koji se zahtijeva (instalirana snaga na DC strani);
- donacije u kojima nije vođeno računa o usklađenosti opreme.

TABELA 1. OPSEG PARAMETRA R_S ZA VARIJACIJE PROIZVEDENE ELEKTRIČNE ENERGIJE OD 1% U ODNOSU NA MAKSIMALNU VRIJEDNOST

<i>Analizirane lokacije</i>	<i>Nagib panela 35°</i>	<i>Nagib panela 10°</i>
Područje grada Banje Luke	$0,32 < R_S < 1,58$	$0,40 < R_S < 1,71$
Područje grada Trebinja	$0,26 < R_S < 1,53$	$0,29 < R_S < 1,61$

V. ZAKLJUČAK

U radu je razmatran problem određivanja optimalnog faktora dimenzionisanja invertora R_S sa ciljem maksimizacije godišnje proizvodnje fotonaponskog sistema. Pokazano je da se za svaku zadatu konfiguraciju sistema i zadate klimatske uslove može odrediti optimalna vrijednost faktora dimenzionisanja R_{S_OPT} . Za vrijednosti $R_S < 1$ inverter je predimenzionisan i sva snaga koja se razvije na DC strani će se konvertovati u AC snagu, ali sa generalno manjim stepenom iskorištenja, tako da sa smanjenjem R_S ispod jedinice dolazi i do smanjenja godišnje proizvodnje. U slučaju kada je $R_S > 1$, inverter je poddimenzionisan i javlja se efekat limitiranja snage, pa bi se na prvi pogled moglo očekivati da će godišnja proizvodnja opadati takođe i sa rastom parametra R_S . Rezultati ovog rada pokazuju da za fiksnu snagu na DC strani sistema, odabiranjem invertora manje snage može se dobiti veća proizvodnja električne energije. Ovakav rezultat je posljedica oblika krive efikasnosti invertora i činjenice da inverter češće radi u režimima sa većim stepenom iskorištenja u odnosu na slučaj kada je $R_S < 1$. Ipak, nakon što faktor dimenzionisanja pređe određenu vrijednost R_{S_OPT} , efekat limitiranja snage invertora značajnije dolazi do izražaja i bilježi se pad proizvedene električne energije. Ovaj dio krive se može objasniti na način da inverter jednostavno nema dovoljno velik kapacitet da konvertuje svu snagu koja se razvija na DC strani sistema. Pad vrijednosti proizvedene električne energije ipak neće biti značajan do određene vrijednosti faktora dimenzionisanja te iz tog razloga je urađena analiza rezultata sa dozvoljenom varijacijom energije u odnosu na maksimalnu vrijednost. Sa dozvoljenom varijacijom od 1% u odnosu na maksimalnu, prema tabeli 1, zaključak je da opseg faktora dimenzionisanja u većoj mjeri zavisi od karakteristika fotonaponskog sistema i da se za pojedine tipove sistema može odabrati inverter instalirane snage čak i od 60% od instalirane snage

fotonaponskih panela (slučaj područja grada Banja Luke, nagib panela 10°).

Na kraju treba napomenuti da je optimizacija faktora dimenzionisanja invertora u ovom radu bazirana samo na tehničkim parametrima i rađena je sa ciljem maksimizacije godišnje proizvodnje fotonaponskog sistema. Ukoliko bi se u analizu dodali i ekonomski kriterijumi i za cilj postavila npr. minimalna cijena proizvedenog kilovat-časa električne energije, dobile bi se drugačije vrijednosti optimalnog faktora dimenzionisanja invertora.

LITERATURA

- [1] IEA [International Energy Agency], Snapshot of Global Photovoltaic Markets 2021, Report IEA-PVPS T1-39:2021.
- [2] H.X. Wang, M.A. Muñoz-García, G.P. Moreda, M.C. Alonso-García "Optimum inverter sizing of grid-connected photovoltaic systems based on energetic and economic considerations", *Renewable Energy* 118 (2018) 709-717.
- [3] X. Camps, G. Velasco, J. de la Hoz, H. Martín, "Contribution to the PV-to-inverter sizing ratio determination using a custom flexible experimental setup", *Appl. Energy* 149 (2015) 35-45.
- [4] G. Velasco, F. Guinjoan, R. Piqué, A. Conesa, J.J. Negroni, "Inverter power sizing considerations in grid-connected PV systems", in: 2007 Eur. Conf. Power Electron. Appl. EPE, 2007.
- [5] G. Notton, V. Lazarov, L. Stoyanov, "Optimal sizing of a grid-connected PV system for various PV module technologies and inclinations, inverter efficiency characteristics and locations", *Renew. Energy* 35 (2010) 541-554.
- [6] A.J. Kil, T.C.J. Van Der Weiden, "Performance of modular grid connected PV systems with undersized inverters in Portugal and The Netherlands", in: Proc. 1994 IEEE 1st World Conf. Photovolt. Energy Convers. - WCPEC (A Jt. Conf. PVSC, PVSEC PSEC), vol. 1, 1994, pp. 1028-1031.
- [7] W.N. Macedo, R. Zilles, "Operational results of grid-connected photovoltaic system with different Inverter's sizing factors (ISF) ", *Prog. Photovolt. Res. Appl.* 15 (2007) 337-352.
- [8] K. Peippo, P.D. Lund, "Optmal sizing of solar array and inverter in grid-connected photovoltaic systems", *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 32 (1994) 95-114.

- [9] Č. Zeljković, P. Mršić, B. Erceg, "Metod za određivanje uticaja prepreka na godišnju proizvodnju fotonaponskih sistema", III naučno-stručni simpozijum Energetska efikasnost - ENEF 2017, novembar, 2017.
- [10] NREL's PVWatts® Calculator (NREL - National Renewable Energy Laboratory), Website Version 8.0.2, <https://pvwatts.nrel.gov>.
- [11] HUAWEI, SUN2000-50KTL-M0, Smart String Inverter, oficijalni tehnički list proizvođača invertora.
- [12] FRONIUS, TAURO 50-3-D, Direct Version, oficijalni tehnički list proizvođača invertora.
- [13] SMA, STP 50-41, Sunny Tripower Core1, oficijalni tehnički list proizvođača invertora.
- [14] SUNGROW, SG50KTL-M-20, String Inverter, oficijalni tehnički list proizvođača invertora.

ABSTRACT

This paper deals with the problem of optimal selection of the inverter sizing factor, which is defined as the ratio of the rated power of the photovoltaic panels and the rated power of the inverter. Mathematical models were selected to adequately take into account the geometric and energy characteristics of the photovoltaic system, and based on them, the simulation program code was written. The developed software tool was used to test the operation of the photovoltaic system for different values of the inverter sizing factor in search of maximum annual production. The annual production calculation was performed using data for a typical meteorological year, and separate analyzes were performed for two climatically different locations on the territory of the Republic of Srpska. The results obtained by this methodology are based exclusively on the energy aspect, while the economic aspect is not taken into consideration.

DETERMINING THE OPTIMAL RATIO BETWEEN THE RATED POWER OF PHOTOVOLTAIC PANELS AND THE RATED POWER OF THE INVERTER

Vojislav Kajtez, Predrag Mršić, Čedomir Zeljković

Održiva obnova vrtića poštujući NZEB standard

Darija Gajić¹, Saša Zečević², Milovan Kotur³

¹Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, Banja Luka, Republika Srpska, BiH

²ARS STUDIO d.o.o. i Istraživački centar za prostor, Banjaluka, Republika Srpska, BiH

³Univerzitet u Banjoj Luci, Mašinski fakultet, Banja Luka, Republika Srpska, BiH

darija.gajic@aggf.unibl.org, zekozmaj782@gmail.com, milovan.kotur@mf.unibl.org

Sažetak—Održivi principi gradnje i standard skoro nulte potrošnje energije (NZEB), posljednjih deset godina, su prisutni na prostoru Evropske unije (EU) i šire, pri gradnji novih zgrada. Obnova postojećih zgrada, u zavisnosti od tipa zgrade i lokacije, još uvijek nije prisutna u NZEB standardu u EU, a u ovom radu je analizirana prema NZEB standardu u okruženju (Republika Hrvatska i Republika Slovenija), jer vrijednosti parametara potrošnje energije navedenog standarda još nisu definisane na području Bosne i Hercegovine (BiH). Analizirana je obnova, odnosno značajnija rekonstrukcija vrtića u BiH koja poštuje principe održive gradnje pri čemu se više od 40% isporučene energije za rad tehničkih sistema u zgradi dobija iz obnovljivih izvora energije. Ovakav princip unaprijeđene obnove vrtića rezultirao je sa 38% većom uštedom energije, ali i za 20% većim početnim finansijskim ulaganjem od klasične, standardne obnove vrtića, čija obnova i prema važećim pravilnicima na predmetnom području nije lako dostižna, zbog tipa zgrade - vrtića.

Ključne riječi—održiva gradnja; obnova; energetska efikasnost; vrtić

I. UVOD

Energetska kriza i princip neracionalne potrošnje sve manje resursa okrenula je sve grane društva principu efikasnosti - ISO 9000:2005 definiše efikasnost kao „povezanost između napravljenog rezultata i korisnog značenja“ [1]. Porast efikasnosti i manja cijena koštanja idu u korak sa manjom štetom po okruženje. Efikasnost je primarna ekonomska kategorija i ako posmatramo informatičku tehnologiju, njen potencijal je zapanjujući za razliku od građevinske industrije. U građevinskoj industriji velike su rasprave o tome da slični skokovi u efikasnosti ne mogu biti primjenjivi. Zgrade koje su građene prije 1970. godine imaju prosječnu potrebnu energiju za grijanje oko 250-300 kWh/m² na godišnjem nivou, a ako bi se pridržavali aktuelnog Pravilnika o minimalnim zahtjevima za energetske karakteristike zgrada u našoj zemlji, dopuštena potrebna energija za grijanje je maksimalno 60-70 kWh/m² [2]. Od 2020. godine u Evropskoj Uniji (EU) standard je da nove zgrade imaju skoro nultu potrošnju energije - NZEB (Net Zero Energy Building) standard. [3],[4]. Legislativa u Bosni i Hercegovini ne zahtijeva izgradnju NZEB objekata, niti daje podsticaje za njihovu izgradnju, iako se to spominje od 2011. godine u zakonodavnim dokumentima [5]. Održiva gradnja je jedan od značajnijih segmenata održivog razvoja, a uključuje upotrebu građevinskih materijala koji nisu štetni po životnu sredinu, energetska efikasnost zgrada i upravljanje otpadom od gradnje i rušenja građevina. Održiva gradnja mora osigurati

trajnost, kvalitet oblikovanja i konstrukcija, uz ekonomsku i ekološku prihvatljivost [6].

Cilj ovog istraživanja je da se kroz prikaz planiranja i projektovanja unapređenog rješenja i energetske i ekonomskih analiza obnove vrtića, primjenom važećeg Pravilnika o minimalnim zahtjevima za energetske karakteristike zgrada (standardno rješenje) i primjenom NZEB standarda na predmetnom području Banjaluke (unapređeno rješenje), ukaže na svrsishodnost primjene održivih principa gradnje i NZEB standarda pri obnovi zgrada. Proračuni i analize energetskog stanja vrtića provedeni su programom KI expert *plus* [7].

II. PRINCIPCI ODRŽIVE GRADNJE PRI OBNOVI VRTIĆA

Održiva gradnja danas podrazumijeva sedam principa, o kojima se mora razmišljati pri projektovanju, a potpuno ih primjenjivati pri izvođenju, te korištenju i održavanju „Sl. 1“. Kod standardnog rješenja obnove vrtića, kao što se i inače pristupa obnovi zgrada na području BiH, ne planira se održivi koncept, te će se u ovom radu kod unapređenog rješenja pojasniti primijenjeni principi održive gradnje.



Sl. 1. Principi održivog gradnje [8]

A. Održivo projektovanje

Na planiranje zgrada utiče lokacija, koja je kod predmetnog vrtića otvorenog karaktera, jer je vrtić smješten u prigradskom naselju Kuljani i nema okolnih ograničenja od izgrađenosti i topografije terena „Sl. 2“. Jedina ograničenost je postojeća struktura samog vrtića, jer se vrši unapređenje/obnova postojeće zgrade. Prema analizama „Centra za predškolsko vaspitanje“ grada Banjaluka velika je potražnja za smještajem u vrtićima u tom dijelu grada, tako da će i maksimalni kapaciteti biti popunjeni. Prema standardnom rješenju, kada bi se samo postojeća zgrada obnovila, ukupan kapacitet bio bi za 86 djece. Nadogradnja vrtića riješila bi prostorne kapacitete, prema analizama navedenog Centra. Prema unaprijeđenom rješenju uočeno je da je korisna površina po jednom djetetu mala, te se u unaprijeđenom rješenju postavlja kriterijum minimalne kvadrature od 2,75 m² po jednom djetetu, a za grupe od 3 do 6 godina korisna površina po jednom djetetu je 3,30 m². Procjenjeni ukupni kapacitet je 120 djece. Pored povećanja smještajnih kapaciteta na dograđenoj galeriji su organizovane dodatne prostorije kao što su: kancelarija uprave, sala za sastanke i prezentacije i ostava. Predloženi koncept ukazuje na potpunu upotrebljivost i korištenje novoplaniranog prostora.

ostvarujući direktnu vezu sa dvorištem objekta, što je unaprijedilo i prostorno i funkcionalno rješenje vrtića „Sl. 3“.

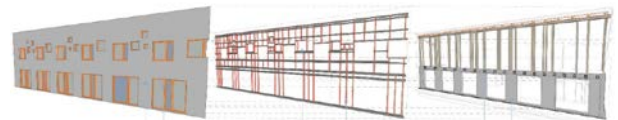
Nadograđivanje galerije planirano je tako da objekat sa južne strane ima dvije etaže i maksimalno se otvara ka jugu, a zatvara ka sjeveru spuštajući se krovom opet na nivo jedne etaže. Na dograđenom dijelu, odnosno galeriji, igra dimenzijama, i pozicijom otvora je korišćena kao arhitektonsko-vizuelni element, stvarajući razigranu fasadu, doprinoseći i atmosferi unutrašnjeg prostora.



Sl.2. 3D unaprijedene obnove vrtića

B. Održivi građevinski materijali i smanjenje otpada

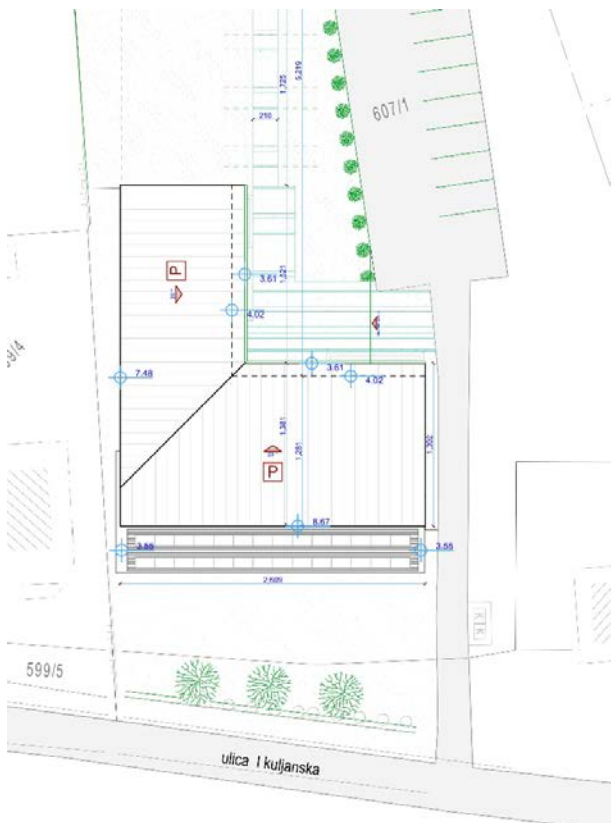
Faktor oblika zgrade, koji je poboljšan nadogradnjom galerije, planiran je, prateći trendove u EU, a i samog potencijala BiH u tom građevinskom materijalu, u drvenoj konstrukciji. Koncept održivosti je podržan kroz sve segmente gradnje i u osnovnoj konstrukciji i u omotaču. Drvo, kao obnovljiv građevinski materijal koristi se za novi omotač postojećeg dijela i za nadogradnju vrtića „Sl. 4“, dok obnovom zgrada i korištenjem postojeće osnovne konstrukcije podržavamo koncept održivosti koja se zalaže za ponovnu upotrebu materijala i time smanjenje otpada od uklanjanja postojećeg građevinskog materijala.



Sl.4. 3D prikaz - dijagram fasade po TES principima

C. Trajnost

Pravilno isprojektovani i izvedeni tehnički detalji na omotaču zgrade riješiće trajnost zgrade. Neophodno je kontrolisati vodu i vlagu na način da se pravilno hidro i toplotno izoluje zgrada. Zgrada mora da se odbrani od podzemne vode i kapilarne vlage iz zemlje, zatim od kiše i snijega. Sa južne strane zgrade zid podnožja zgrade je toplotno izolovan. Projektovana nova drvena nadstrešnica za zaštitu od sunca je odvojen, dilatiran, dio objekta od postojeće zgrade vrtića. Iskop za temelje nadstrešnice stvorio je priliku da se interveniše na toplotnom izolovanju postojećeg temelja, što su

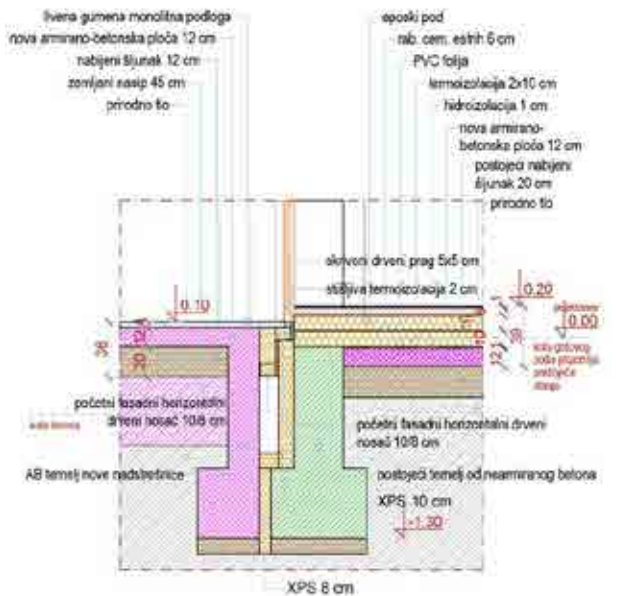


Sl.2. Situacija unaprijeđenog rješenja

U unaprijeđenom rješenju planirano je rušenje parapeta i maksimalno povećanje otvora na južnoj i zapadnoj strani,

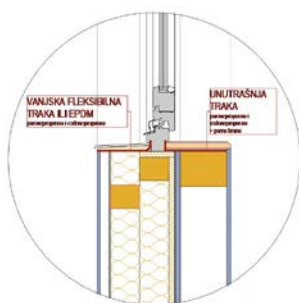
današnji principi pravilnog izolovanja temelja kod novih zgrada „Sl. 5“.

i između njih se ugrađuje termoizolacija, kao i između rogova, te se na taj način smanjuju toplotni mostovi u krovu „Sl. 8“.



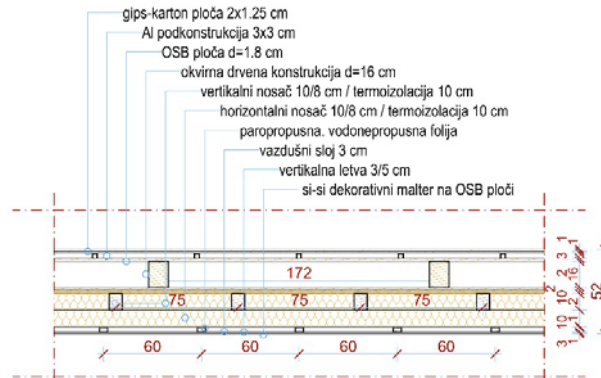
Sl.5. Unapređenje detalja temeljnog zida - sokla

Vlaga će nastati na omotaču zgrade i ako ne kontrolišemo protok vazduha. Izmjena unutrašnjeg toplog vazduha sa spoljašnjim hladnim vazduhom stvara vodenu paru i kondenzaciju koja se rješava pravilnim zaptivanjem, parnim branama i toplotnom izolacijom. Ugradnja stolarije, RAL metodom je jedan od uslova za poboljšanje zaptivenosti objekta, a samim tim je i direktan preduslov za ispunjavanje NZEB standarda. Izvodi se lijepljenjem fleksibilnih traka sa unutrašnje i spoljne strane otvora, „Sl. 6“.

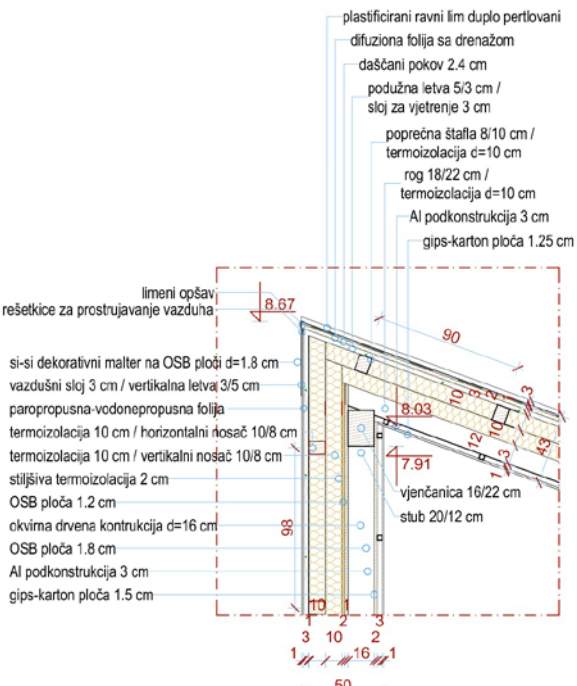


Sl.6. Detalj RAL ugradnje fasadnih pozicija

Unapređenje omotača vodilo se unakrsnom drvenom potkonstrukcijom punjenom toplotnom izolacijom, koja se postavljala naizmjenično, da bi se toplotni mostovi smanjili na minimum „Sl. 7“. Prema unaprijeđenom rješenju projektovan je jednovodan kosi krov sa padom od juga ka sjeveru. Kompletna nosiva konstrukcija je drvena. Na masivne drvene rogove sa gornje strane pričvršćuju se poprečne drvene gredice



Sl.7. Detalj fasadnog nadograđenog zida



Sl.8. Detalj fasadnog nadograđenog zida

101

D. Energetska efikasnost, kvalitet vazduha i očuvanje vode

Unaprijeđeno rješenje vrtića, koje ima za cilj dostizanje NZEB standarda, vodilo se prevashodno promjenom faktora oblika, jer snižavanje vrijednosti faktora oblika dovodi do manje potrošnje energije [9]. Standardna obnova, bez nadogradnje, a poštujući unapređenje omotača do propisanih koeficijentata prolaza toplote (U_{max}) ne može dostići pravilnikom propisanu potrebnu energiju za grijanje, odnosno energetski razred C, ni stambenih zgrada, ni obrazovnih ustanova, jer za vrtiće dozvoljeni razred nije ni propisan.

Unaprijedeno rješenje predviđa izvođenje drvene potkonstrukcije sa izolacijom od ekspaniranog polistirena ($\lambda=0,034$ W/mK) debljine 30 cm i završnim slojem od silikatno-silikonskog plemenitog maltera, zatim prozore sa drvenim okvirima i troslojnim termoizolacionim staklom sa low-E prevlakom i punjeno argonom ($U_w=0,90$ W/m²K). Na podu je postavljena hidroizolacija sa 20 cm ekstudiranog polistirena ($\lambda=0,035$ W/mK) preko kojeg je postavljena zaštita od pvc folije, a zatim cementni estrih i završni sloj epoksidni pod. Kako je krovna konstrukcija iznad grijanog galerijskog prostora, planirano je i izvedeno postavljanje sloja mineralne vune ($\lambda=0,034$ W/mK) debljine $d=35$ cm na krovnoj konstrukciji. TABELA I.

TABELA I. U-KOEFICIJENTI KARAKTERISTIČKIH ELEMENATA FASADNOG OMOTAČA – UNAPREĐENO RJEŠENJE

Naziv građevinskog dijela	A m ²	U W/m ² K	U _{max} W/m ² K
Fasadni zid prizemlja	427,66	0,12	0,30
Fasadni zid galerije	311,93	0,07	0,30
Prozori	137,86	0,90	1,60
Pod	392,06	0,16	0,30
Krov	529,23	0,08	0,20

Unaprijednim rješenjem su izmijenjene geometrijske karakteristike zgrade. Istraživanje je zasnovano na pravilno razriješenim toplotnim mostovima i zaptivenošću uz pomoć RAL ugradnje prozora, pa je očekivani tok vazduha sveden na zapreminu grijanog vazduha, pri razlici pritiska između unutrašnjeg i spoljašnjeg vazduha od 50 Pa procenjen je na $n_{50} = 1,00$ h⁻¹.

U svim prostorijama, gdje borave djeca i zaposleni, ugrađuju se ventilator konvektori. Odabrani su ventilator konvektori za dvocijevni sistem parapetne izvedbe. Na ventilator konvektorima se ugrađuju odzračni ventili, kuglaste slavine i prigušnice pomoću kojih se vrši odzračivanje i regulacija cijevne mreže. Regulacija temperature se izvodi preko žičanog, zidnog daljinskog upravljača, koji omogućava izbor režima rada (grijanje/hlađenje), brzine ventilatora i postavljanje željene sobne temperature. U periodu grijanja kao izvor toplote koriste se dvije toplotne pumpe vazduh-voda. Toplotne pumpe imaju mogućnost hlađenja. Odabrana su dva kompleta sastavljena od jedne spoljne (isparivačko-kondenzatorska jedinica) i jedne unutrašnje jedinice (hidroblok). Kapacitet grijanja svake toplotne pumpe pri spoljnoj temperaturi od -20°C je 16 kW, a kapacitet hlađenja je 13,1 kW. Jedna toplotna pumpa je sa integrisanim bojlerom tople potrošne vode zapremine 230 litara u koji je ugrađen električni grijač tople vode. Spoljne jedinice se postavljaju na čelične nosače na zidu objekta jedna pored druge i povezuju se sa unutrašnjim jedinicama termoizolovanim bakarnim cijevima za freonske instalacije. Toplotne pumpe se spajaju na akumulacioni rezervoar zapremine 300 litara.

Ventilacija prostorija za boravak djece se ostvaruje preko četiri rekuperativna ventilaciona sistema kapaciteta 900 m³/h

stepena rekuperacije 75% sa padom pritiska 170 Pa, koji se postavljaju u tavanski prostor. Količina vazduha je odabrana prema broju osoba u ovim prostorima (za 25 osoba do 900 m³/h). Ventilacioni sistem ima sopstvenu kontrolu i mogućnost rada do spoljne temperature -15 °C.

U prostorijama za boravak djece projektovana efikasna ugradna 60x60 cm LED rasvjeta. U zonama komunikacija, odnosno hodnicima, projektovana je nadgradna LED rasvjeta, kružnog oblika sa radijusom lampe od 22 cm. Sistemi su prošireni sistemom za kontrolu prisustva, što je značajno smanjilo količinu energije potrebne za rasvjetu. Izabrani su senzori prisustva u svim toaletima i prostorijama u skladu sa korisnom površinom poda.

III. DOSTIZANJE NZEB STANDARDA

Zgrade sa nultom energijom u Evropskoj uniji definisane su kroz EPBD direktivu, ali zbog razlika u nacionalnim zakonima, ostavljena je mogućnost da svaka članica uvede dodatne parametre. To se prvenstveno odnosi na proračun potrošnje primarne energije, ali je sistem toliko složen da je zbog samog proračuna teško postaviti jednoobrazne granice [10]. Zgrade sa skoro nultom energijom su zgrade koje imaju veoma visoku energetska efikasnost, odnosno potrošnja električne ili toplotne energije iz komunalnih sistema je svedena na nultu ili veoma nisku količinu energije koju bi trebalo značajno pokriti energijom iz obnovljivih izvora. Osim toga, za zgradu NZEB-a potrebno je da se ova energija iz obnovljivih izvora proizvodi unutar zgrade ili u blizini zgrade.

Upoređujući klasičnu/standardnu obnovu vrtića sa unaprijednim rješenjem da bi se dostigao NZEB standard, neophodno je poboljšati faktor oblika zgrade, sa postojećeg 0,79 na 0,68, kao i imati niže vrijednosti koeficijentata prolaza toplote za omotač, nego što su važećim Pravilnikom propisane. Prema unaprijednom rješenju objekat je zadovoljio propisane U-koeficijente i koeficijent transmisivnog gubitka po jedinici površine grijanog dijela zgrade. Godišnja potrebna toplotna energija za grijanje po jedinici korisne površine grijanog dijela zgrade $Q''_{H,nd}$ iznosi 27,93 kWh/m²a, TABELA II., čime se prema Pravilniku o vršenju energetskog pregleda zgrada i izdavanju energetskog sertifikata Republike Srpske [11] dostiže dozvoljeni energetski razred B za zgrade namjenjene obrazovanju i kulturi, kao i za sve ostale ponuđene kategorije zgrada.

Tehnički sistem vrtića je dopunjen fotonaponskim panelima, da bi se zadovoljio uslov za proizvodnju energije iz obnovljivih izvora. Projektovana je nadstrešnica na južnoj strani vrtića koja služi za poboljšanje zaštite od ljetnjeg sunca, a koja je ujedno poslužila i kao nosač za fotonaponske panele. Ukupna površina panela je 47 m². Proračunata godišnja proizvedena električna energija iz OIE na lokaciji zgrade je $E_{EL,RES} = 6984,42$ kWh/a. Sistem se sastoji od 28 monokristalnih silicijumskih panela sa neventilirajućim modulima. Dimenzije jednog panela su 1640x992x35mm.

U ovom istraživanju nije uzeta u obzir potrošnja energije pomoćnih sistema: pumpe u kotlovnici koje rade kontinualno, ventilatori na *fancoil* uređajima, elektro grijači u rekuperatorskim jedinicama kad je temperatura spoljnog vazduha veoma niska (dešava se povremeno u toku sezone

grijanja). Njihova angažovanost zavisi od spoljnih meteoroloških uslova i toplotne inercije objekta koji nisu lako predvidiva i pretpostavka autora je da je ta količina energije mala, odnosno da je ispod 1 kWh.

Projektovana proizvodnja energije iz obnovljivih izvora je 45,41% i potrošnja primarne energije po jedinici korisne površine grijanog dijela zgrade iznosi $E_{prim} = 41,30$ kWh/m²a.

TABELA II. PREGLED ENERGETSKIH POKAZATELJA UNAPRIJEĐENE OBNOVE VRTIĆA, IZVOR: ANALIZA AUTORA

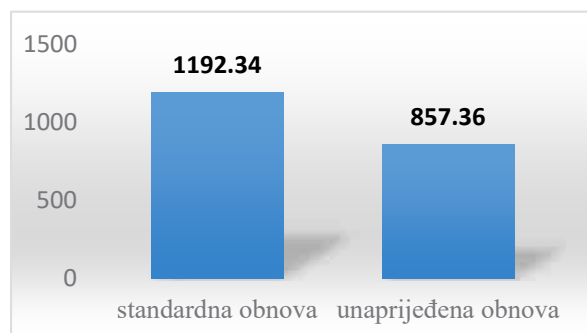
Površina fasadnog omotača grijanog dijela zgrade	$A = 1814,07$ m ²
Zapremina grijanog dijela zgrade	$V_e = 2946,00$ m ³
Faktor oblika zgrade	$f_o = 0,62$ m ⁻¹
Korisna površina grijanog dijela zgrade	$A_k = 624,04$ m ²
Potrebna godišnja toplotna energija za grijanje	$Q_{H,nd} = 17431,69$ kWh/a
Potrebna godišnja toplotna energija za grijanje po jedinici korisne površine	$Q''_{H,nd} = 27,93$ (max = 28,85) kWh/m ² a
Godišnja potrebna energija za hlađenje	$Q_{C,nd} = 10263,49$ kWh/a
Potrebna godišnja toplotna energija za hlađenje po jedinici korisne površine	$Q_{C,nd} = 16,45$ kWh/m ² a
Ukupna isporučena energija	$E_{del} = 9204,57$ kWh/a
Godišnja isporučena energija po jedinici korisne površine	$E''_{del} = 14,75$ kWh/m ² a
Ukupna primarna energija	$E_{prim} = 25772,79$ kWh/a
Ukupna primarna energija po jedinice korisne površine	$E''_{prim} = 41,30$ (max = 55,00) kWh/m ² a
Koeficijent transmissionog toplotnog gubitka po jedinici grijanog dijela zgrade	$H'_{tr,adj} = 0,20$ (max = 0,54) W/m ² K

Uzimajući u obzir energetske analize potrebna energija za grijanje kod standardne obnove iznosila bi oko 92 kWh/m²a [12], a kod unaprijeđene obnove oko 28 kWh/m²a, dok bi isporučena energija kod standardne obnove iznosila $E_{del} = 14942,37$ kWh/a, a kod unaprijeđene obnove $E_{del} = 9204,57$ kWh/a.

U zemljama bivše Jugoslavije koje su sad u Evropskoj uniji (Republika Hrvatska i Republika Slovenija), u kojima je propisan NZEB, najveća dopuštena vrijednost godišnje primarne energije po jedinici korisne površine grijanog dijela zgrade iznosi 50 – 100 kWh/m²a u zavisnosti od tipa zgrade i da je nova zgrada ili obnova/veća rekonstrukcija. U Bosni i Hercegovini još uvijek nema propisanih vrijednosti NZEB, ali bi koncept unaprijeđenog rješenje vrtića sa potrošnjom primarne energije po jedinici korisne površine grijanog dijela zgrade od $E_{prim} = 41,30$ kWh/m²a uspio dostići i niže od navedenih uslova NZEB-a u ovim zemljama Evropske unije.

IV. EKONOMSKI POKAZATELJI GRADNJE NZEB VRTIĆA

Ekonomska analiza, preko predmjera i predračuna građevinskih radova i radova na mašinskim i elektro instalacijama za 2021. godinu, pokazala je da ako obnovimo samo postojeću zgradu do nivoa važećeg pravilnika na području Republike Srpske, BiH iznosiće oko 555000 KM, u odnosu na unaprijeđeno rješenje koje bi iznosilo oko 698000 KM, što je za 20% veća cijena početne investicije. Ako posmatramo bruto građevinsku površinu postojeće zgrade vrtića koja je 465,59 m², a unaprijeđenog rješenja je 814,10 m², dobićemo da je cijena po jedinici bruto površine za 30% manja za unaprijeđeno rješenje „Sl.9.“.



Sl.9. Cijene po jedinici bruto površine - KM/m²

Osim toga, održivost koncepta unaprijeđenog vrtića je što bi se povećao i broj korisnika, za 34 djeteta, što je povećanje kapaciteta za 28%, koliko bi činila i razlika u dobijanju finansijskih sredstava od korisnika. Analizirajući cijenu boravaka koja je trenutno 165 KM/mjesečno po djetetu, na godišnjem nivou kod standardne obnove iznosila bi 170280 KM za godinu dana, dok bi unaprijeđena obnova, sa većim korisnim prostorom, te time i smještajem većeg broja djece, iznosila 237600 KM. Razlika na godišnjem nivou iznosila bi 67320 KM. Već nakon tri godine samo proširenjem kapaciteta korisnika, razlika između standardne i unaprijeđene obnove početne investicije bi se isplatila.

Razlika u isporučenoj energiji standardne i unaprijeđene varijante je 5737,8 kWh/a na godišnjem nivou. Sagledavajući cijenu električne energije sa PDV-om, koja je za decembar 2022. godine, 0,18135 KM po kWh, godišnje uštede bi iznosile 1040 KM, odnosno uzimajući u obzir kamatnu stopu od 5% i ekonomski vijek trajanja omotača zgrade od 30 godina, ukupna sadašnja vrijednost ušteda između unaprijeđene i standardne obnove iznosila bi 15966 KM (prvih 15 godina 10720 KM).

V. ZAKLJUČAK

Istraživanje je pokazalo da dostizanje NZEB standarda u odnosu na standardnu obnovu koja je propisana važećim Pravilnikom o minimalnim zahtjevima za energetske karakteristike zgrada Republike Srpske ima višestruke koristi samo ako se poštuju principi održive gradnje, odnosno u ovom slučaju održive obnove. Održivost koncepta je podržana korištenjem obnovljivih materijala pri obnovi postojećeg omotača i u nadogradnji vrtića, zatim pravilnim

projektovanjem i izvođenjem detalja, koji dovode do trajnosti zgrade i korištenjem obnovljivih izvora energije do energetske efikasnosti najvišeg nivoa.

Energetska analiza isprojektovanog unaprijeđenog vrtića prema principima održive gradnje, ukazuje da je sa proračunatim učešćem energije iz obnovljivih izvora od oko 45%, moguće dostići i veći procenat, nego što je u NZEB standardima, koji su propisani u zemljama u EU (Hrvatska i Slovenija), a koje su u okruženju Bosne i Hercegovine i koji iznosi 25-30% učešća energije iz obnovljivih izvora u ukupnoj primarnoj energiji zgrade.

Ekonomska analiza obnove vrtića, koja je uzela u obzir zadržavanje samo osnovne konstrukcije postojeće zgrade, ukazuje da se povećanjem bruto površine za 42,8%, što je bila razlika između standardne obnove, koja bi inače bila primijenjena na predmetnom području i unaprijeđene obnove koja se vodi NZEB standardom, dobija za 30% manja cijena građevinskih radova i radova na mašinskim i elektro instalacijama po m² bruto površine vrtića. Naravno, povećanjem korisne površine vrtića dolazi i do proširenja broja korisnika, što je u ovoj analizi povećanje za 28% kod unaprijeđenog rješenja obnove.

LITERATURA

- [1] M. Hegger, M. Fuchs, T. Stark and M. Zeumer, „Energy Manual: sustainable architecture“, Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser, 2008., str. 24. G. Eason, B. Noble, and I.N. Sneddon, “On certain integrals of
- [2] *Ministarstvo za prostorno uređenje, građevinarstvo i ekologiju Republike Srpske*. Pravilnik o minimalnim zahtjevima za energetske karakteristike zgrada Republike Srpske, Sl. gl. RS br. 30/15, str. 4. https://ekofondrs.org/sadrzaj/dokumenti/ee/Pravilnik_o_minimalnim_zah_tjevima_za_energetske_karakteristike_zgrada.pdf
- [3] European Commission, The Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast), Official Journal of the European Union, 53, 2010.
- [4] REGULATIONS COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) No 244/2012 of 16 January 2012 supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings by establishing a comparative methodology framework for calculating cost-optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building elements, Official Journal of the European Union.
- [5] Zakon o komunalnim djelatnostima Republike Srpske, Član 5., <https://www.vladars.net/sr-SP-Cyrl/Vlada/Ministarstva/mgr/Documents>
- [6] C. Kibert, „Sustainable Construction, Green Building Design and Delivery“, Third Edition, John Wiley & Sons, 2012.
- [7] Program KI expert plus, Hrvatska, <https://www.knaufinsulation.hr/preuzmite-dokumente/ki-expert-plus>

- [8] BUILDPASS, United Kingdom, <https://buildpass.co.uk/blog/the-7-principles-of-sustainable-construction/>
- [9] B. Antunović, D. Gajić i D. Stupar, „Energetska efikasnost predškolskih ustanova u Banjoj Luci“, Banja Luka: Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, 2020.
- [10] J. Kurmitski, „Cost Optimal and Nearly Zero-Energy Buildings (nZEB)“, Tallinn: Springer-Verlag London, 2013.
- [11] *Ministarstvo za prostorno uređenje, građevinarstvo i ekologiju Republike Srpske*. Pravilnik o vršenju energetske pregleda zgrada i izdavanju energetske certifikata Republike Srpske. Službeni glasnik Republike Srpske br. 15/30 http://ekofondrs.org/sadrzaj/dokumenti/ee/Pravilnik_o_vršenju_energetske_pregleda_zgrada_i_izdavanju_energetske_certifikata.pdf
- [12] D. Gajić, S. Zečević, M. Kotur, and A. Janković, “ENERGY AND ECONOMIC ANALYSIS OF THE RENOVATION OF THE KINDERGARTEN IN BANJA LUKA ACCORDING TO THE CURRENT RULEBOOK AND NZEB”, *STEPGRAD*, vol. 1, no. 15, pp. 170-180, Jun. 2022.

ABSTRACT

Last ten years, sustainable construction principles and the standard of almost zero energy consumption (NZEB), have been present in the European Union and beyond, in the construction of new buildings. The renovation of existing buildings, depending on the type of building and location, is not yet present in the NZEB standard in the EU, and in this paper it is analyzed according to the NZEB standard in the surrounding area (Republic of Croatia and Republic of Slovenia), because the values of the energy consumption parameters of the specified standard have not yet been defined in the Bosnia and Herzegovina (BiH). This paper analyzes the renovation, that is, the more significant reconstruction of kindergartens in Bosnia and Herzegovina, which respects the principles of sustainable construction, where more than 40% of the delivered energy for the operation of the technical systems in the building is obtained from renewable energy sources. This principle of improved renovation of the kindergarten resulted in 38% higher energy savings, and 20% higher initial financial investment than the classic, standard renovation of the kindergarten, whose renovation is not easily achievable even according to the current legislation, due to the type of building.

SUSTAINABLE RENOVATION OF KINDERGARTENS RESPECTING THE NZEB STANDARD

Darija Gajić, Saša Zečević, Milovan Kotur

Uloga kupaca-proizvođača u elektroenergetskom sistemu

Ajla Bajrić

Student II ciklusa studija, Univerzitet u Banjoj Luci, Elektrotehnički fakultet, Banja Luka, Republika Srpska
ajlabajric1807@outlook.com

Sažetak—U cilju postizanja što većeg stepena pouzdanosti, dostupnosti i ekonomičnosti, „pametna mreža“ (eng. *Smart grid*) je bazirana na automatizaciji distributivne mreže, skladištenju električne energije, te integraciji obnovljivih izvora energije. Nova kategorija, tzv. „prosumer“ (kupac-proizvođač), aktivno učestvuje u proizvodnji, samim tim i u tržištu električne energije, na način da istu proizvodi za sopstvenu potrošnju, skladištenje i isporuku u elektroenergetsku mrežu. U radu će biti prikazane osnovne informacije vezane za same kupce-proizvođače električne energije, te dati detaljniji prikaz njihove uloge u okviru elektroenergetskog sistema.

Ključne riječi—*prosumer (kupac-proizvođač); elektroenergetski sistem; obnovljivi izvori energije (Sunčeva energija);*

I. UVOD

Na radijalnom prijenosu električne energije (od elektrana do potrošača) zasnovan je tradicionalni tip elektroenergetskog sistema. Zbog neadekvatno koncipiranog funkcionisanja istog (u smislu zadovoljavanja potreba svih potrošača i korisnika), podvrgnut je konstantnom proširenju (priklučenju novih korisnika), pri čemu se javlja neefikasnost u smislu održavanja i poremećaja u radu samog elektroenergetskog sistema. Skladištenje električne energije predstavlja jedan od načina postizanja balansa između proizvodnje i potrošnje električne energije, kao i fleksibilnosti u samom radu elektroenergetske mreže. Kada proizvodnja prevazilazi potrošnju vrši se skladištenje električne energije. S druge strane, kada potrošnja prevazilazi proizvodnju, dolazi do korištenja rezervi koje su, u prethodnom slučaju, formirane.

Usljed pojave energetske krize, te naglom porastu cijena električne energije, elektroprivredna preduzeća konstantno rade na smanjenju potrošnje električne energije unutar domaćinstava kako bi višak proizvedene električne energije mogli izvesti i prodati na tržištu izvan granica Bosne i Hercegovine. U ovom smislu, sve više se radi na tome da se izvrši decentralizacija elektroenergetskog sistema, tako što se građani podstiču da poprime ulogu „aktivnih učesnika“ u proizvodnji električne energije, tj. da poprime status kupca-proizvođača.

Cilj istraživanja gore navedene teme jeste, prvenstveno, podizanje svijesti o situaciji po pitanju energenata u kojoj se trenutno nalazimo, zatim skrenuti pažnju na dekarbonizaciju elektroenergetskog sistema, smanjenju potrošnje električne energije, kao i izvozu iste na strana tržišta, te prikazati mogućnost iskorištenja obnovljivih izvora energije.

II. KUPCI-PROIZVOĐAČI ELEKTRIČNE ENERGIJE

A. Uopšteno o prosumer-ima

Naziv „prosumer“ potječe od mješavine riječi „*producer*“ i „*consumer*“ i predstavlja domaćinstvo koje, kao kupac-proizvođač električne energije, najveći fokus stavlja na sopstvenu (vlastitu) elektranu (decentralizovanu proizvodnu jedinicu¹) instalisanu, najčešće fotonaponske jedinice, na krovu samog objekta, pri čemu ima mogućnost da višak proizvedene električne energije šalje u mrežu i kasnije, po potrebi, uslijed manjka samostalno proizvedene energije, energiju ponovo preuzima iz mreže. Osim naziva „prosumer“, kog je prvi put 1980. godine pomenuo Alvin Toffler u svom djelu „*The Third Wave*“, u literaturi je moguće pronaći i nazive kao što su: „proaktivni kupac“ (Kotler, 1986. godine), „dobavljač i kupac“ (Prahald i Ramaswamy, 2000. godine) i „profesionalni kupac“ (Cova i Dalli, 2009. godine) [1].

Prema Pravilniku o uslovima priključenja elektrana na elektrodistributivnu mrežu Republike Srpske, pod kupcem-proizvođačem električne energije iz obnovljivih izvora energije podrazumijeva se krajnji kupac koji djeluje u okviru svojih prostorija smještenih unutar ograničenog područja, te koji proizvodi električnu energiju za vlastitu potrošnju, odnosno koji ima mogućnost skladištenja ili prodavanja električne energije proizvedenu iz obnovljivih izvora energije koju je sam proizveo, pri čemu, kupci, koji ne pripadaju kategoriji domaćinstava, navedene aktivnosti ne predstavljaju glavnu komercijalnu ili profesionalnu djelatnost. [2] Pod vlastitom potrošnjom podrazumijeva se potrošnja koja je u direktnoj ili posrednoj funkciji proizvodnje električne energije u proizvodnom postrojenju. S druge strane, pod potrošnjom za vlastite potrebe podrazumijeva se potrošnja električne energije u vlastitim objektima, na lokaciji proizvodnog postrojenja, u koji nije uključena vlastita potrošnja proizvodnog postrojenja [2].

Neki od razloga koji su doveli do pojave kupac-proizvođača električne energije, tačnije do razmišljanja o što većem iskorištenju obnovljivih izvora energije, jesu, zapravo, težnja da se postigne što viši stepen dekarbonizacije elektroenergetskog sistema, da se smanje tokovi električne energije duž mreže koji izazivaju gubitke u prijenosu i

¹Prema Pravilniku o uslovima priključenja elektrana na elektrodistributivnu mrežu Republike Srpske, pod proizvodnom jedinicom se podrazumijeva sinhroni modul za proizvodnju električne energije ili modul energetske parka [2].

transformaciji, te da se smanji potrošnja energije u domaćinstvima kako bi se povećao izvoz električne energije od strane elektroprivrednih preduzeća. Ovom procesu se pribjeglo, ponajviše, zbog pretjerane zagađenosti stakleničkim plinovima (mada, na drugom mjestu, i zbog ograničenih zaliha fosilnih goriva). Osnovni cilj provedbe „Green transition“ jeste smanjenje udjela i emisije stakleničkih plinova, te, na taj način, spriječiti globalno zagrijavanje ispod 2°C u odnosu na 1990. godinu. U tom smislu, Europska unija je izvršila implementaciju nekoliko Direktiva, pri čemu je posljednja izdata 2016. godine pod nazivom „Clean energy for all Europeans“. Konceptija pomenute Direktive zasnovana je na obavezi smanjenja udjela CO₂ za čak 40% do 2030. godine i povećanju udjela obnovljivih izvora energije na 32% u finalnoj potrošnji energije [3].

Postoje tri tipa kupaca-proizvođača u elektroenergetskom sistemu, a klasifikacija se može izvršiti na osnovu njihovog pristupa i to [2]:

- Kroz ulogu u tržištu električne energije,
- Na osnovu tipa energije koju generišu i izvora energije koju koriste i
- Kroz ulogu u elektroenergetskom sistemu.

B. Neto mjerenje

Regulatorni okvir unutar kog kupac-proizvođač ima mogućnost da višak proizvedene električne energije preda u mrežu i, kasnije, kada njegova potrošnja prevazilazi proizvodnju, istu preuzme iz mreže naziva se neto mjerenje. Na količinu proizvedene električne energije znatan uticaj imaju godišnja doba, kao i vremenske prilike, pri čemu je, u slučaju fotonaponskih proizvodnih sistema, najveća proizvodnja tokom ljetnog, a najmanja tokom zimskog perioda [4].

Na osnovu Zakona o obnovljivim izvorima energije (Sl. glasnik RS 16/22), Glava 1, Opšte odredbe, član 3., moguće je tačnije definisati neto mjerenje, pod čim se podrazumijeva komercijalna šema snabdijevanja kod koje se višak električne energije, koju kupac-proizvođač isporuči u mrežu tokom obračunskog perioda, prenosi u naredni obračunski period u vidu energetske kredita koji se koristi za umanjenje potrošnje električne energije u periodima kada je potrošnja električne energije kupca-proizvođača veća od proizvodnje za sopstvene potrebe. Energetskim kreditom se smatra pozitivna razlika predate više proizvedene električne energije kupca-proizvođača i preuzete električne energije sa mreže tokom obračunskog perioda [5].

U ovakvim sistemima koristi se dvosmjerno brojilo pomoću kog se uspostavlja dvosmjerni protok podataka između potrošača i distributera električne energije putem komunikacione mreže (energetskih vodova, radio veza, mobilne telefonije itd.).

III. ULOGA KUPACA-PROIZVOĐAČA U ELEKTROENERGETSKOM SISTEMU

A. Uloga kupaca-proizvođača na tržištu električne energije

Jedna od uloga kupaca-proizvođača u elektroenergetskom sistemu jeste, upravo, u okviru tržišta električnom energijom, pa se, u tom smislu, oni grupišu u stambene, komercijalne i industrijske kupce-proizvođače električne energije. Od sva tri pomenuta, do sada je najzastupljenija stambena kategorija kupaca-proizvođača, pri čemu se dio proizvedene električne energije primjenjuje unutar samog domaćinstva (za napajanje potrošača), a drugi dio za opskrbljivanje obližnjih kupaca (tačnije, predaje u elektroenergetsku mrežu). U pogledu proizvodne snage ovakvih sistema, ona je ograničena na 10 kW za stambene kupce-proizvođače. Za komercijalne kupce-proizvođače, ista se kreće između 10 kW i 250 kW, dok je za industrijske kupce-proizvođače pomenuta vrijednost preko 250 kW.

Kupci-proizvođači mogu biti organizovani kao samostalne jedinice (pojedinačni subjekti), koje aktivno učestvuju u proizvodnji električne energije i injektiranju iste u elektroenergetsku mrežu, te kao grupe (zajednice) kupaca-proizvođača koji čine mikromrežu, te, na taj način, preuzimaju veliku ulogu u tržištu električnom energijom.

Zakon o električnoj energiji (Sl. glasnik RS 68/20), Glava I, Opšte odredbe, Značenje pojmova, Član 5. Definiše energetska efikasnost, u svrhu upravljanja potražnjom, kao pristup upravljanju potražnjom čiji je cilj da utiče na količinu i vrijeme potrošnje električne energije u cilju smanjenja ukupne potrošnje električne energije i vršnih opterećenja davanjem prednosti investicijama u mjere energetske efikasnosti kao alternative gradnji novih elektrana ako su one najefikasniji i ekonomski najbolji izbor, a da se, pri tome, ne ugrozi sigurnost snabdijevanja [6].

Kada je riječ o angažmanu kupaca-proizvođača različitih tipova na tržištu električne energije, sva tri pomenuta tipa imaju mogućnost sudjelovanja u organizaciji određene firme, te njenoj fleksibilnosti, u smislu potražnje za električnom energijom, davanju doprinosa na tržištu električne energije putem online platformi (kao npr. VPP-Virtual Power Plant), planiranju razvoja potrošnje električne energije (ukupne potrošnje električne energije, vršne i minimalne snage potrošnje, faktor opterećenja), te da bivaju „agregatori“ u organizaciji ESCO (European Skills, Competences, Qualifications and Occupations).

Pogledavši situaciju na tržištu prije pedesetak godina, moguće je uočiti isključivo državna energetska preduzeća, koja su dominirala u proizvodnji, prijenosu, te distribuciji električnom energijom, pri čemu se smatralo da je jedini korektan način upravljanja energetskim preduzećima (u cilju sprečavanja određenih nepravilnosti, mita i korupcije) kada su pod upravom državnog vlasništva. Promjenom političke situacije, došlo je do privatizacije energetskih preduzeća i stvaranju konkurentnog tržišta. Integracijom politike, tržišta i energetske tranzicije (“Green transition”), mnoge države u Evropi su se opredijelile za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora. U tom smislu, kako bi se podigla svijest o poskupljenju proizvoda proizvedenih iz neobnovljivih izvora

energije (posebno sada za vrijeme ekonomske i energetske krize), kao i pretjeranoj emisiji stakleničkih plinova, masovno se uvode feed-in tarife, feed-in premije, te određene subvencije kako bi se što više građana podstaklo na proizvodnju iz obnovljivih izvora energije.

Pod feed-in tarifom se podrazumijeva tarifni instrument kojim se garantuje fiksna cijena za proizvedenu električnu energiju iz obnovljivih izvora energije, te, kao takvu, predatu u električnu mrežu. Sa kupcima-proizvođačima električne energije, država potpisuje ugovor na osnovu kog se obavezuje da će u određenom vremenskom periodu (nekoliko godina) unaprijed plaćati definisanu cijenu za svaki kilovatsat isporučene električne energije u mrežu. Visina naknade u okviru feed-in tarife može se odrediti na dva načina i to: prema administrativnoj osnovi ili putem određenih konkursa. Također, ovim ugovorom, kupac-proizvođač električne energije nije odgovoran za odstupanja od definisanog plana proizvodnje, kao i prouzrokovanog debalansa unutar elektroenergetskog sistema. Iako je ovaj tržišni instrument dugo godina bio vodeći „mehanizam“ u smislu podsticaja, u posljednje vrijeme se sve više pribjegava kombinaciji različitih tržišnih instrumenata, pri čemu nastaju, tzv. hibridni instrumenti. Jedan od primjera hibridnog instrumenta jesu aukcije (tenderi) koji, prije same izrade projekta, određuju kapacitet, tehnologiju proizvodnje, a, ponekad, i lokaciju postrojenja. Primjenom ovakvog načina tržišta, menadžeri preuzimaju značajnu ulogu u određivanju cijene po jedinici električne energije, koja je krajnje definiše na osnovu: različitih ponuda, cijene koju nudi menadžer, kao i ostalih kriterija vezanih za samo postrojenje. S obzirom na svoju fleksibilnost, aukcije su se pokazale jako korisnim „oružjem“, jer se, na ovaj način, vrši prilagodba i prema kupcu-proizvođaču i prema interesu države. Poredeći feed-in tarifu i aukcije, moguće je opaziti razliku isključivo u smislu cijena. Kod feed-in tarife, istu određuju kreatori same tržišne politike, dok se kod aukcija cijena definiše konkurentnim nadmetanjem između učesnika. Kada tržišna politika zagovara određenu tehnologiju proizvodnje, tada se primjenjuje feed-in tarifa. S druge strane, kada su u pitanju veći projekti i ustaljeni načini proizvodnje, onda se primjenjuju aukcije [7].

Prema Zakonu o obnovljivim izvorima energije (Sl. glasnik RS 16/22), 2022., Glava I, Opšte odredbe, član 3., tržišna premija za velika postrojenja označava promjenjivu premiju koju, kao podsticaj, mogu ostvariti proizvođači električne energije u velikim postrojenjima, u skladu sa zakonom, određenu kao razliku između prodajne cijene i referentne tržišne cijene i koja se usklađuje na kvartalnom nivou [5].

Jedan od tržišno orijentisanih sistema podsticaja jeste, zapravo, premijski sistem (feed-in premije) koji funkcioniše na način da kupac-proizvođač električne energije prodaje proizvedenu električnu energiju izravno na tržište, te na unaprijed određenu cijenu prodaje električne energije dobiva dodatni iznos premije. S obzirom da je u ovom slučaju dosta transparentnija tržišna politika, u odnosu na feed-in tarife, primjenjuje se za postepenu integraciju obnovljivih izvora energije. Efikasnost premija zavisi od stepena izloženosti rizicima na tržištu, te, u tom smislu, mogu biti fiksne i promjenjive (definisanje najviše i najniže vrijednosti premije u

određenim vremenskim intervalima). Proizvođači, koji su „okarakterisani“ promjenjivom premijom bivaju manje izloženi tržišnim rizicima od proizvođača sa fiksnom premijom. Primjenom ovakvog sistema podsticanja građana, proizvođači (tj. kupci-proizvođači) su odgovorni za svaku nepravilnost unutar elektroenergetskog sistema (kao npr. odstupanje od planirane proizvodnje).

B. Uloga kupaca-proizvođača priključenih na elektroenergetsku mrežu (uloga u elektroenergetskom sistemu)

Još jedan od načina na koji se može pristupiti posmatranju i klasifikaciji kupaca-proizvođača jeste, zapravo, da li su oni priključeni na elektroenergetsku mrežu ili funkcionišu kao samostalan sistem.

Samostalni sistemi su, obično, mali sistemi (namijenjeni za opskbu jednog ili nekoliko domaćinstava), te se primjenjuju kada ne postoji mogućnost snabdijevanja električnom energijom iz mreže. Oni su, najčešće, pozicionirani u nekim ruralnim područjima gdje bi priključenje na mrežu zahtijevalo velike troškove što nije ekonomski prihvatljivo. Jedno od veoma važnih pitanja, kod ovakvih sistema, jeste, zapravo, skladištenje električne energije, koje se realizuje pomoću baterija (akumulatora), tj. spremnika energije i predstavlja veoma važan dio čija je uloga balansiranje između proizvodnje i potrošnje tokom noćnih sati ili perioda sa malim intenzitetom sunčevog zračenja.

Kada je, konkretno, riječ o kupcima-proizvođačima koji su povezani na elektroenergetsku mrežu, tada se može pristupiti opisivanju istih u zavisnosti od sudjelovanja, odnosno, uloge u elektroenergetskom sistemu. U tom smislu, kupci-proizvođači se povezuju sa električnim vozilima, zatim skladištenjem električne energije, iskorištavanju obnovljivih izvora energije, te automatizacijom i daljinskim upravljanjem. Iako je kroz rad pomenut naziv „prosumer“ u poveznici sa električnom energijom, isti se može iskoristiti i u smislu provedbe sistema grijanja, odnosno hlađenja.

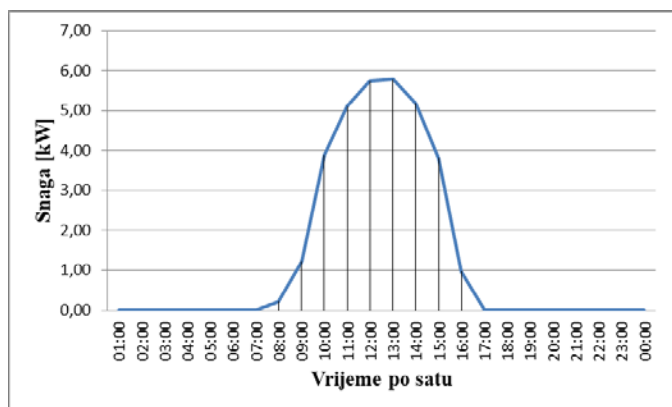
S obzirom na to da je dosadašnji razvoj elektroenergetske mreže BiH, koncipiran na radijalnom napajanju mreže, kada bi došlo do masovnije primjene električnih automobila² i elektromobilnosti, tada bi prenosni kapacitet distributivne mreže bio nedovoljan za kvalitetnu i kontinuiranu opskrbu električnom energijom. Imajući u vidu informaciju da je krajem jula tekuće godine, usvojena Odluka o privremenoj suspenziji i smjjenjenju carinske stope prilikom uvoza električnih i hibridnih automobila u Bosnu i Hercegovinu, to bi moglo, tokom postojeće energetske krize, predstavljati razlog za „brigu“, jer bi se, primjenom punionica³ (kojih do sada ima 173 na teritoriji Bosne i Hercegovine [8]), dodatno

²Prema Zakonu o električnoj energiji (Sl. glasnik RS 68/20), Glava I, Opšte odredbe, Značenje pojmova, Član 5., električno vozilo se definiše kao motorno vozilo opremljeno sistemom za prijenos snage koje sadrži barem jedan neperiferi električni uređaj za skladištenje energije sa mogućnošću ponovnog punjenja koji je moguće puniti eksterno [7].

³Prema Zakonu o električnoj energiji (Sl. glasnik RS 68/20), Glava I, Opšte odredbe, Značenje pojmova, Član 5., pod mjestom za punjenje označava se standardizovani električni priključak putem kog je u datom trenutku moguće puniti električno vozilo ili zamijeniti bateriju električnog vozila [7].

opoterio elektroenergetski sistem. Najskuplja komponenta električnog automobila jeste litij-jonska baterija (mada se u posljednje vrijeme pribjegava drugim tipovima) koja je izvedena tako da, u zavisnosti od potrebe vožnje, ima mogućnost podnošenja velikih oscilacija. Ukoliko bi došlo do nekoordiniranog punjenja električnog automobila, u elektroenergetskom sistemu bi se javilo opterećenje koje bi rezultiralo odstupanjem od optimalnih vrijednosti napona, kvalitete električne energije, efikasnosti, kao i regulacije frekvencije. Kako bi se riješio pomenuti problem, masovno se razmišlja o priključenju kupaca-proizvođača na „vozilo-mreža (eng. *Vehicle-to-Grid*) sistem“ u cilju balansiranja opterećenja tokom vršnih sati, a što bi se ostvarilo skladištenjem električne energije pomoću baterija (akumulatora), koje se nalaze unutar „prosumer-skog sistema“, pri čemu bi tada snaga varirala između gornje granice koja napaja mrežu i donje granice koja crpi energiju iz mreže [9].

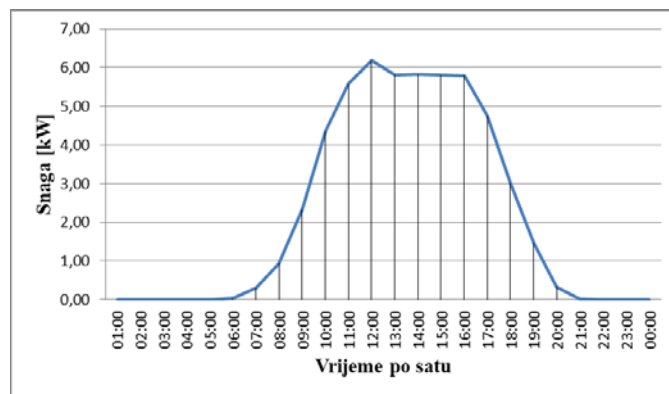
Kako je elektroenergetski sistem koncipiran na način da se sastoji iz određenih podsistema, potrošački podsystem se nalazi posljednji u nizu, pa će, za potrebe analize statusa „kupca-proizvođača“, biti detaljnije razmatran. Opterećenje fotonaponskog sistema varira u zavisnosti od dnevnih aktivnosti, kao i vremenskih prilika, te se pomenute varijacije mogu pratiti na dnevnim dijagramima opterećenja. Kao konkretan primjer poslužit će fotonaponska elektrana smještena na ravnom krovu objekta na teritoriji Travnika (sjeverna geografska širina lokacije: 44°12'57"; istočna geografska dužina lokacije: 17°40'35"), nadmorske visine 564 m, instalisane snage 9 kW, koja je optimizovana za maksimalnu godišnju proizvodnju, te će ista biti posmatrana u statusu „kupca-proizvođača“ električne energije. Na slici 1. prikazana je vrijednost snage proizvedene električne energije za zimski solsticij, tj. 21.12.2022. godine.



Sl. 1. Vrijednost snage proizvedene električne energije za zimski solsticij

Kao što je jasno vidljivo na dijagramu, za vrijeme zimskog solsticija, maksimalna vrijednost snage proizvedene električne energije iznosila je 5,78 kW i postignuta je tačno u 13:00h.

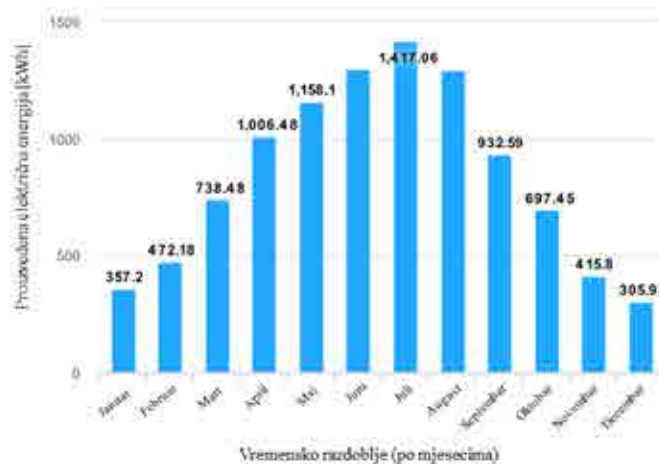
S druge strane, još jedan karakterističan dan u godini jeste ljetni solsticij, pa će na sljedećem dijagramu biti prikazana vrijednost snage proizvedene električne energije u toku ljetnog solsticija.



Sl. 2. Vrijednost snage proizvedene električne energije za ljetni solsticij

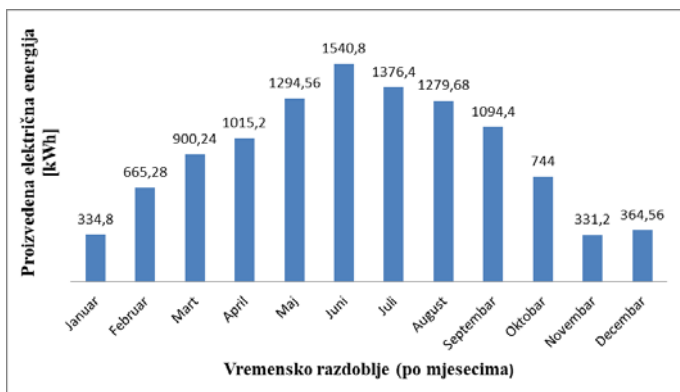
Na slici 2. moguće je uočiti da je maksimalna vrijednost snage proizvodnje električne energije na dan 21.06.2022. godine iznosila 6,18 kW i tu vrijednost je dostigla tačno u 12:00h. Uprkos činjenici da se na dan ljetnog solsticija na sjevernoj hemisferi emituje najviše sunčeve svjetlosti, sa dijagrama se može zaključiti da je, posebno u drugom dijelu dana, došlo do oblačnosti, te je maksimalna snaga proizvodnje električne energije na ljetni solsticij za 0,4 kW veća u odnosu na zimski solsticij.

Za potrebe komparacije proizvodnje električne energije na dnevnom i godišnjem nivou, u jednom ovakvom sistemu, na sljedećim slikama bit će prikazana proizvodnja električne energije na godišnjem nivou.



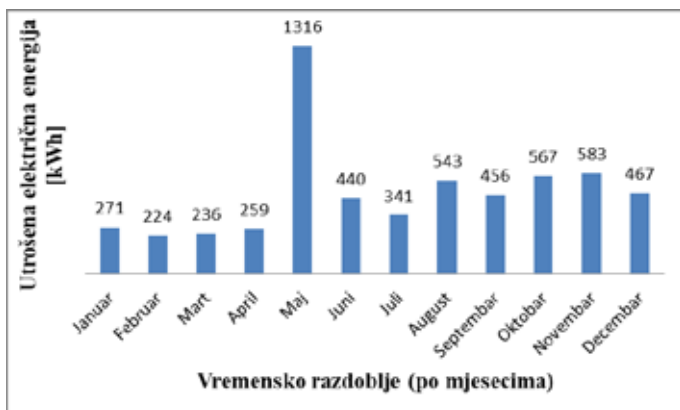
Sl. 3. Pretpostavljena proizvodnja električne energije na godišnjem nivou (PVGIS)

Dijagram prikazan na slici 3. predstavlja pretpostavljenu količinu proizvedene električne energije, u pomenutom fotonaponskom sistemu, na godišnjem nivou, a rezultati su dobiveni u softverskom paketu PVGIS koji je javno dostupan. Iz dobivenih vrijednosti može se zaključiti da će u toku ljetnog perioda (tačnije, juna, jula i augusta), kada je najveća koncentracija sunčevog zračenja, biti proizvedeno najviše električne energije, tj. pretpostavlja se oko 1417,06 kWh na mjesečnom nivou.



Sl. 4. Proizvodnja električne energije na godišnjem nivou

Na slici 4. prikazane su realne vrijednosti proizvedene električne energije u fotonaponskom sistemu. Upoređujući vrijednosti pretpostavljene (prema PVGIS-u) i realne vrijednosti proizvedene električne energije, zaključuje se da je u januaru, julu, augustu i novembru realni fotonaponski sistem proizveo manje električne energije od pretpostavljene.



Sl. 5. Potrošnja električne energije na godišnjem nivou

Praveći komparaciju između dijagrama na slici 4. i slici 5. evidentno je da je tokom cijele godine proizvodnja premašivala potrošnju električne energije, izuzev mjeseca maja kada je fotonaponski sistem proizveo 1294,56 kWh električne energije, a za potrebe domaćinstva utrošeno je 1316 kWh. Sumirajući cjelokupne rezultate dobivene iz realnog fotonaponskog sistema, u toku 2022. godine, fotonaponski sistem, instalisane snage 9 kW, proizveo je 10941,12 kWh, dok je za potrebe domaćinstva utrošeno 5703 kWh. Preostali iznos proizvedene električne energije, tačnije 5238,12 kWh, kada bi ovaj sistem funkcionisao na principu „kupac-proizvođač“, bivalo bi predato u mrežu, odnosno skladišteno u sistemu.

Iz navedenih podataka i dijagrama može se zaključiti da je jedan ovakav sistem, u ekonomskom smislu, izuzetno prihvatljiv za instalaciju iz razloga što je više u ulozi proizvođača, nego u ulozi kupca električne energije (ostvaruje profit čak i u zimskom periodu kada je prisustvo sunčevih zraka manje u odnosu na ljetni period).

IV. ZAKLJUČAK

Usljed pojave energetske krize, te pod dejstvom politike određenih država, unutar 2022. godine se sve više pažnje posvećivalo elektroenergetskom sistemu u Bosni i Hercegovini u procesu energetske tranzicije. Naime, u posljednje vrijeme se sve više razgovara na temu statusa „kupaca-proizvođača“, te njihovoj ulozi unutar elektroenergetskog sistema.

Koncept „pametne mreže“ zasnovan je na dvosmjernom protoku električne energije, praćenog automatizacijom, u datom vremenu. Primjenom ovakvog modela elektroenergetskog sistema, postižu se mnogi benefiti kao što su: uvid u korištenje i uštedu električne energije, smanjenje troškova očitavanja brojila, svođenje gubitaka na minimum, produktivnije upravljanje proizvodnim kapacitetima, jednostavnije donošenje odluka o investiranju i učešću na tržištu električne energije.

Osnovni cilj uvođenja kupaca-proizvođača u elektroenergetski sistem jeste iskorištavanje energetske potencijala. U tom smislu, oni mogu preuzeti veliku ulogu u proizvodnji električne energije, pri čemu se pretpostavlja da će do 2050. godine njihov udio u proizvodnji za stambeni sektor iznositi čak 89% [11]. Da bi ovakav način proizvodnje električne energije „zaživio“ na teritoriji Bosne i Hercegovine, neophodno je sprovesti dodatne obuke i aktivnosti pomoću kojih će se podići energetska pismenost među građanima.

Budući da je u radu naglašeno da kupci-proizvođači imaju aktivnu ulogu na tržištu električnom energijom, u tu svrhu potrebno je izvršiti redizajniranje istog kako bi se uspješno prilagoditi novim nezavisnim proizvođačima (učiniti ga što fleksibilnijim).

LITERATURA

- [1] K. Kotilainen, „Energy Prosumers' Role in the Sustainable Energy System“, Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals (ENUNSDG), 2019.
- [2] Pravilnik o uslovima priključenja elektrana na elektrodistributivnu mrežu Republike Srpske
- [3] „Prosumers' role in the future energy system“, Centre of Sustainable Energy Studies, ISBN: 978-82-93198-34-5
- [4] A. Bajrić, „Individualni stambeni objekti kao kupci-proizvođači električne energije, tzv. „prosumer“ u Bosni i Hercegovini“, 24. Međunarodna konferencija „Nove tehnologije u funkciji održivog razvoja saobraćaja, ekologije, logistike i politehnike“, Zbornik radova (ISSN: 2232-8807), godina: 11., broj: 24., maj 2022.
- [5] Zakon o obnovljivim izvorima energije Republike Srpske (broj: 02/1-021-127/22), 2022.
- [6] Zakon o električnoj energiji Republike Srpske (broj: 02/1-021-599/20), 2020.
- [7] „Feed-in tarife i aukcije-Mehanizmi podrške obnovljivim izvorima energije“, <https://www.serbio.rs/item/411-feed-in-tarife-i-aukcije-mehanizmi-podr%C5%A1ke-obnovljivim-izvorima-energije> (Datum: 11.12.2022.)
- [8] „Trenutačno u BiH postoje 173 punjača za električna vozila, <https://www.vecernji.ba/vijesti/trenutacno-u-bih-postoje-173-punjac-a-za-elektricna-vozila-1635584> (Datum: 12.12.2022.)
- [9] A. Bajrić, „Uticaj globalne pandemije na dalji razvoj električnih automobila i elektromobilnosti na svjetskom nivou i BiH“, 22-Međunarodno savjetovanje „Tehničko-tehnološke prilagodbe izazovima saobraćaja, ekologije, informacionih tehnologija i logistike u

okolnostima pandemije COVID-19“, Zbornik radova (ISSN: 2232-8807), godina: 10, broj: 22., maj 2021.

[10] Programski paket PVGIS, 2023.

[11] Promicanje kupaca s vlastitom proizvodnjom-energija s ljudima, PROSEU

ABSTRACT

In order to achieve the highest degree of reliability, availability and economy, the “smart grid” is based on the automation of the distribution network, the storage of electricity and the integration of renewable energy sources. A new category, the so-called "prosumer" (producer-consumer)

actively participates in the production, thus also in the electricity market, by producing energy for its own consumption, storage and delivery to the power grid. This paper will present basic information related to the prosumers themselves and give more detailed description of their role within the power system.

THE ROLE OF THE PROSUMER IN THE POWER SYSTEM

Ajla Bajrić

SMARTIA MF65

Alumil
Building excellence every day



Jedinstvena estetika, vrhunske performance

SMARTIA MF65 je toplotno izolovani sistem za sklopiva vrata. Zahvaljujući minimalističkom dizajnu, maloj vidljivosti aluminijuma i odličnim termičkim i zaptivnim performansama, idealan je izbor za velike i izdržljive konstrukcije.

- / Povećava ulaz prirodnog svjetla i vidljivost
- / Unaprijeđuje svaki prostor zahvaljujući svojoj jedinstvenoj estetici, minimalističkom dizajnu i veoma tankim profilima
- / Postiže vrhunsku toplotnu izolaciju (do $U_w = 1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$) koja štedi energiju i troškove
- / Omogućava robusne i velike konstrukcije (do 1.3m širine krila ili do 3m visine krila)
- / Povećava zaštitu protiv provale (četverostruko zaključavanje u 3 tačke, mehanizam protiv podizanja)
- / Pruža širok izbor rješenja (neparan broj krila, dvostruko ili trostruko zastakljivanje, standardni ili nizak prag)
- / Obezbeđuje nesmetan i besprijekoran rad zahvaljujući visokokvalitetnim i izdržljivim točkicama

POSJETITE NAS!

D.O.O. „BH ALUMINIUM“
Njegoševa bb, 75440 Vlasenica
T: +387 56 733 720, F: +387 56 733 196

PJ SARAJEVO
Halilovići 6, 71000 Sarajevo
T: +387 33 766 275, F: +397 33 766 276

PJ BANJA LUKA
Glamočani bb, 78250 Laktaši
T: +387 51 508 630, F: +387 51 508 631

PJ BIJE LJINA
Industrijska zona 2, br. 48, 76300 Bijeljina

ALUMIL IZLOŽBENI SALON
Džemala Bijedića 279, lamela C5
naselje Bulevar, Ilidža, 71000 Sarajevo

www.alumil.com
bhmarketing@alumil.com





SMARTIA
P150 URBAN



SMARTIA
P200 SLIM



SMARTIA
P100 SLIM

Osvijetlite prostor, sačuvajte ga od buke

Novi ALUMIL unaprijeđeni arhitektonski sistemi za kancelarijske pregrade **SMARTIA P100 Slim**, **P200 Slim** i **P150 Urban** dizajnirani su sa ciljem da efikasno pregrade prostor i unaprijeđe radne uslove poboljšanjem privatnosti, prirodnog osvjetljenja i cjelokupne estetike.



Više prirodnog svjetla I transparentnost

Velike površine sa smanjenim linijama aluminijuma omogućavaju nesmetanu difuziju prirodnog i viještačkog svjetla



Najbolje rješenje za zvučnu izolaciju

Garantuje zvučnu izolaciju I privatnost.



Minimalistički dizajn i jedinstvena estetika

Elegantna rješenja sofisticiranog dizajna za moderne kancelarije.



Širok spektar tehničkih rješenja

Složena tipologija, podesivi uglovi, fiksni okviri sa zatvorenim ili otvorenim staklenim zidovima I visoko funkcionalnim vratima

POSJETITE NAS!

D.O.O. „BH ALUMINIUM“

Njegoševa bb, 75440 Vlasenica

T: +387 56 733 720, F: +387 56 733 196

PJ SARAJEVO

Halilovići 6, 71000 Sarajevo

T: +387 33 766 275, F: +397 33 766 276

PJ BANJA LUKA

Glamočani bb, 78250 Laktaši

T: +387 51 508 630, F: +387 51 508 631

PJ BIJE LJINA

Industrijska zona 2, br. 48, 76300 Bijeljina

www.alumil.com

bhmarketing@alumil.com

Sa rješenjima koja su dio budućnosti, LANACO je jedna od vodećih kompanija u regiji i globalno priznat partner u IT industriji.

LANACO pruža konsultantsku podršku u izboru softverskih licenci poznatih IT kompanija.



Implementacije LANACO rješenja su na lokalnom i globalnom nivou.



80% ukupnih prihoda kompanije je od vlastitih proizvoda i usluga.

Portfolio kompanije uključuje realizaciju i implementaciju SaaS rješenja koja transformišu procese unutar poslovanja organizacija nezavisno od oblasti u kojoj djeluju.



LANACO realizuje sve softverske i hardverske zahtjeve i kreira end-to-end ponudu za svoje klijente, partnere i korisnike.

Nudi usluge komunikacije i kolaboracije, mikrotalasnih mreža, računarskih i wireless mreža i IT bezbjednost.



Kroz priznat i nagrađen centar za Edukaciju, LANACO je podrška u karijernom razvoju iz svih IT oblasti.



Lanaco Data Centar kompanijama i organizacijama obezbijuje potpunu IT infrastrukturu uz najveće mjere bezbjednosti (Tier4) bez obzira na lokaciju.

Kompanija je ostvarila uticaj u:

- Finansijskom sektoru (mala, srednja i velika preduzeća)
- Ugostiteljskom sektoru (mali i veliki ugostiteljski lanci)
- Energetskom sektoru (veliki distributivni sistemi)
- Trgovinskom sektoru (veliki trgovinski lanci)
- Medicinskom sektoru (javno i privatno zdravstvo)
- Tranzitnoj trgovini i tranzitnom saobraćaju
- Obrazovnom sektoru (državne i privatne obrazovne institucije)

U zavisnosti od kompleksnosti poslovnih organizacija, njihovih praksi i zahtjeva, LANACO sveobuhvatna rješenja pokrivaju specifične potrebe svih organizacija.



Kreiranjem i primjenom IoT rješenja, LANACO je dao doprinos zajednicama i gradovima u Bosni i Hercegovini, u domenu ekološke održivosti i efikasnosti.



GoParking:

- SMS i servis za kartično plaćanje
- Tri aplikacije za upravljanje i kontrolu sa parking uslugama: GoParking Business, GoParking Control i GoParking

GoPass:

- Prepoznavanje zauzetosti parkinga
- Prepoznavanje vozila na osnovu tablica
- Brojač zauzetosti parking mjesta
- Led displej prezentacija
- Ulazno/izlazni terminal
- Upravljanje parking barijerama / rampama
- Kasa



EcoOne:

Uticaj kompanije na uspješnost poslovanja malih i srednjih preduzeća, ogleda se u više od 200 implementacija LANACO ERP rješenja EcoOne kojeg odlikuje:

- Brže i efikasnije poslovanje
- Maksimalna dostupnost
- Pokrivenost svih poslovnih procesa
- Najveći nivo sigurnosti podataka



Fond za zaštitu životne sredine Republike Srpske osnovan je 2007. godine kao pravno lice sa javnim ovlaštenjima. Osnivač Fonda je Republika Srpska. Osnivačka prava i dužnosti u ime Republike Srpske vrši Vlada Republike Srpske, a nadzor nad radom Fonda vrše Ministarstvo za prostorno uređenje, građevinarstvo i ekologiju i Ministarstvo energetike i rudarstva. U novembru 2011. godine usvojen je Zakon o Fondu i finansiranju zaštite životne sredine Republike Srpske ("Službeni glasnik Republike Srpske", br. 117/11, 63/14, 90/16), kada se naziv i djelatnost Fonda proširuje za energetske efikasnosti. Djelatnost Fonda obuhvata poslove u vezi sa prikupljanjem sredstava, kao i finansiranjem pripreme, sprovođenja i razvoja programa i projekata u oblasti zaštite životne sredine, energetske efikasnosti i korišćenja obnovljivih izvora energije, kao i u oblasti upravljanja ambalažnim otpadom i posebnim kategorijama otpada.

Fond je 14.07.2022. godine donio Odluku o raspisivanju Javnog konkursa za dodjeljivanje bespovratnih finansijskih sredstava Fonda za sufinansiranje projekata iz oblasti energetske efikasnosti za fizička lica.

Predmet ovog Javnog konkursa bila je dodjela bespovratnih finansijskih sredstava Fonda, radi ulaganja u realizaciju projekata iz oblasti energetske efikasnosti i obnovljivih izvora energije kao mjera energetske efikasnosti u stambenim objektima, a koje se odnose na povećanja energetske efikasnosti u postojećim stambenim objektima u vlasništvu. Finansirani su projekti rekonstrukcije, renoviranja, smanjenja potrošnje energije, te projekti kojima se doprinosi povećanju korišćenja obnovljivih izvora energije, kao mjere energetske efikasnosti. Ovim javnim konkursom, sredstva su dodijeljena za sufinansiranje projekata koji uključuju jednu ili više navedenih mjera, i to:

- 1) obnova spoljne zaštite objekta (postavljanje termoizolacije na fasadi, postavljanje termoizolacije na stropu ili krovu, zamjena vanjske stolarije) i
- 2) povećanje energetske efikasnosti sistema grijanja i hlađenja (nabavka peći i kotlova, zamjena instalacija).

Postupak dodjele finansijskih sredstava sprovodi se u skladu sa odredbama "Pravilnika o načinu i kriterijumima za dodjelu finansijskih sredstava i mjerilima za ocjenjivanje prijedloga za dodjeljivanje sredstava Fonda za zaštitu životne sredine i energetske efikasnost Republike Srpske".

U toku je medijska kampanja koja se odvija pod sloganom "Domaćinski sa energijom – I ljepše i isplativije" u okviru koje je dostupna nova podstranica Fonda <https://utoplidom.ekofondrs.org/>

Na stranici se mogu pronaći značajne informacije o energetskej efikasnosti u stambenom sektoru, aktuelna dešavanja iz oblasti energetske efikasnosti i obnovljivih izvora energije, kao i kalkulator za izračun smanjenja potrošnje energije i ostvarene uštede CO₂, <https://motivator.ekofondrs.org/>





Фонд за заштиту животне средине
и енергетску ефикасност Републике Српске

Environmental Protection and Energy
Efficiency Fund of the Republic of Srpska



Фонд за заштиту животне средине
и енергетску ефикасност Републике Српске



utoplidom.ekofondrs.org



giz

MOTIVATOR

Ušteda energije Pojilica privatnosti

Kalkulator ušteta energije

ZAPOČNI

Priloga: Motivator ušteda energije i poboljšanje privatnosti u Srbiji i BiH. Izdati su od strane GIZ i Fondacije za zaštitu životne sredine i energetske efikasnosti Republike Srpske.



giz

Fondacija za zaštitu životne sredine i energetske efikasnosti Republike Srpske







BREEAM®
OUTSTANDING



**Reynaers
Aluminium**

Kao dio Reynaers grupe, Reynaers Aluminium je vodeći stručnjak za razvoj, distribuciju i komercijalizaciju inovativnih i održivih aluminijskih arhitektonskih rješenja. To uključuje širok izbor sistema prozora i vrata, fasada, kliznih sistema i zimskih bašti.

Osim široke palete standardnih rješenja, razvijamo i specijalna rješenja, prilagođena pojedinačnom klijentu ili projektu.

Uspjeh naše kompanije ojačan je našim bliskim partnerstvom s 5000 partnera fabrikatora, arhitekata i razvojnih inženjera širom svijeta. Ova jedinstvena saradnja odražava se u našem motu: "TOGETHER FOR BETTER" - Zajedno za bolje.

Reynaers Aluminium je osnovan 1965. i trenutno zapošljava preko 2650 radnika u više od 40 zemalja svijeta i izvozi u više od 70 zemalja na 5 kontinenata.



BREEAM®



SCIENCE
BASED
TARGETS

DRIVING AMBITIOUS CORPORATE CLIMATE ACTION



Reynaers Aluminium
Predstavništvo u BiH
Maglajska 1, sprat III
71000 Sarajevo, BiH
T: +387 33 745 420
office.sarajevo@reynaers.com
www.reynaers.com

Zgrade budućnosti

Implementacijom EcoStruxure rješenja,
moderniziraj i pripremi za budućnost postojeću
i buduću infrastrukturu za upravljanje zgradama.

se.com/ba

Life Is On

Schneider
Electric

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна и универзитетска библиотека
Републике Српске, Бања Лука

620.9:624(048)

НАУЧНО-стручни симпозијум Енергетска ефикасност ENEF (5 ;
2023 ; Бања Лука)

Zbornik radova / V Naučno-stručni simpozijum Energetska
efikasnost ENEF, Banja Luka, 26 - 27. april 2023. ; [organizatori
simpozijuma Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet
Univerziteta u Banjoj Luci, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u
Banjoj Luci, Mašinski fakultet Univerziteta u Banjoj Luci, Savez
energetičara Republike Srpske] ; [urednici Darija Gajić, Malina
Čvoro]. - Banja Luka : Arhitektonsko-građevinsko-geodetski
fakultet Univerziteta, 2023 ([S. l. : s. n.]). - 122 стр. : илустр. ; 30
cm

Тираж 100. - Библиографија уз радове. - Abstracts.

ISBN 978-99976-978-9-9

COBISS.RS-ID 138306817