

## **Braunfield investicije u Srbiji sa ciljem smanjenja emisije CO<sub>2</sub> i očuvanja životne sredine: studija slučaja**

## **Brownfield investments in Serbia with the aim of reducing CO<sub>2</sub> emissions and preserving the environment: case study**

*Branko Slavković<sup>1\*</sup>, Budimir Sudimac<sup>2</sup>, Ljubica Kovačević<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Državni univerzitet u Novom Pazaru, Vuka Karadžića bb, Novi Pazar, Srbija /  
State university of Novi Pazar, Vuka Karadžića nn, Novi Pazar, Serbia

<sup>2</sup>Univerzitet u Beogradu, Arhitektonski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73/II, Beograd, Srbija /  
University of Belgrade, Faculty of Architecture, Bulevar kralja Aleksandra 73/II, Belgrade, Serbia

<sup>3</sup>Univerzitet u Prištini, Ekonomski fakultet, Kolašinska 156, Kosovska Mitrovica, Srbija /  
University of Priština, Faculty of Economics, Kolašinska 156, 38220 Kosovska Mitrovica, Serbia

\*Autor za prepisku / Corresponding author

Rad primljen / Received: 01.09.2022, Rad prihvaćen / Accepted: 02.11.2022.

**Sažetak:** Ovaj rad ima za cilj da ukaže na potencijal braunfield investicija Republike Srbije. Napuštena industrijska postrojenja i ruinirani kompleksi, obično smešteni u delovima grada koji su u vreme industrijske revolucije bili jezgra razvoja, u razvijenim zemljama ne predstavljaju rugla kao kod nas, već veoma atraktivna mesta kojima je udahnut novi život. Takozvane braunfield investicije, koje pored oživljavanja starih objekata, podrazumevaju i revitalizaciju zagađenog građevinskog zemljišta, u svetu su aktuelne već oko dve decenije. Ovim radom su ispitane mogućnosti adaptacije i prenamene industrijske zgrade u Novom Pazaru u zgradu poslovne namene, sa primenom pasivnih solarnih sistema, sa ciljem smanjenja emisije CO<sub>2</sub> i posledica po životnu sredinu. Energetske karakteristike zgrade su dobijene korišćenjem softvera DesignBuilder i simulacione platforme EnergyPlus, uzimajući u obzir parametre potrebnih unutrašnjih temperaturnih i klimatskih podataka za Republiku Srbiju. Metodološki pristup u ovom istraživanju podrazumeva izradu scenarija sanacije konkretnog industrijskog objekata prema čijim svojstvima su numeričkom simulacijom istraživane mogućnosti energetske sanacije i izvršena komparativna analiza dobijenih rezultata potrebne energije grejanja i hlađenja i smanjenje emisije CO<sub>2</sub>.

**Ključne reči:** braunfield investicije, energetska efikasnost, emisija CO<sub>2</sub>, solarna energija, energetska sanacija, adaptacija.

**Abstract:** This paper aims to point out the potential of Brownfield investments of the Republic of Serbia. Abandoned industrial plants and ruined complexes, usually located in parts of the city that were the core of development during the Industrial Revolution, in developed countries are not a mockery like ours, but very attractive places that breathe new life. The so-called Brownfield investments, which, in addition to reviving old buildings, also include the revitalization of polluted construction land, have been current in the world for about two decades. This paper examines the possibilities of adapting and reuse an industrial building in Novi Pazar into an office building, with the use of passive solar systems, with the aim of reducing CO<sub>2</sub> emissions and environmental consequences. The energy characteristics of the building were obtained using the DesignBuilder software and the EnergyPlus simulation platform, taking into account the parameters of the required internal temperature and climate data for the Republic of Serbia. The methodological approach in this research implies the development of a scenario for the rehabilitation of a specific industrial facility according to whose properties the possibilities of energy rehabilitation were investigated by numerical simulation and a comparative analysis of the obtained results of required heating and cooling energy and CO<sub>2</sub> reduction.

**Keywords:** brownfield investments, energy efficiency, CO<sub>2</sub> emissions, solar energy, energy rehabilitation, adaptation.

<sup>1</sup>[orcid.org/0000-0003-4585-8978](https://orcid.org/0000-0003-4585-8978), e-mail: [bslavkovic@np.ac.rs](mailto:bslavkovic@np.ac.rs)

<sup>2</sup>[orcid.org/0000-0003-1234-0689](https://orcid.org/0000-0003-1234-0689), e-mail: [sudimac@arh.bg.ac.rs](mailto:sudimac@arh.bg.ac.rs)

<sup>3</sup>[orcid.org/0000-0002-7663-7126](https://orcid.org/0000-0002-7663-7126), e-mail: [ljubica.kovacevic@pr.ac.rs](mailto:ljubica.kovacevic@pr.ac.rs)

## UVOD / INTRODUCTION

Zgrade troše oko 40% ukupne energije u Evropskoj uniji (EPBD, 2010). Građevinski sektor je u ekspanziji, što dodatno povećava potrošnju energije. Energetska efikasnost i korišćenje energije iz obnovljivih izvora predstavljaju važne mere koje su potrebne da bi se smanjila potrošnja energije u zgradama i zagađivanje životne sredine (Pucar, 2013). U skladu s tim bitno je istražiti sve aspekte upravljanja obnovljivim izvorima energije (Žikić et al., 2021).

Analiza energetske performansi zgrada je tema koja je značajno ispitana u brojnim naučnim radovima preko pojednostavljenih i detaljnih modela, baziranim na svojstvima prozora, obliku zgrade i klimatskim uslovima (Andjelković et al., 2015). Uticaj vrste zastakljenja i vrste senila na energetske karakteristike zgrade sa primenom dvostruke fasade takođe je u velikoj meri istražena tema (Slavković, 2019; Gratia et al., 2007). Simulacije toplotnih dobitaka sa primenom pasivnih solarnih sistema sa aspekta energije su dovoljno ispitani u dosadašnjim istraživanjima (Vujošević, Popović, 2016).

Primenjeni su brojni predlozi u cilju smanjenja godišnjih potreba za energijom za grejanje i hlađenje, kao na primer dvostruke fasade koja predstavlja dodatnu oblogu na spoljašnjem zidu zgrade (Ignjatović, 2012).

Mali je broj istraživanja na temu primene dvostruke fasade pri rekonstrukciji omotača industrijskih zgrada. Optimizacija modela industrijske zgrade za unapređenje energetske karakteristike zgrade za klimatske uslove Republike Srbije u slučaju prenamene prostora do sada nije značajno ispitana tema (Slavković, 2017). Adaptacija i prenamena postojećih industrijskih objekata u objekte različite namene predstavlja opravdan pristup u savremenoj arhitektonskoj projektantskoj praksi širom sveta. Strategije kojima se definišu principi na osnovu kojih je moguće transformisati napuštene prostore predstavljene su u radovima u kojima su ispitane studije slučaja u Republici Srbiji (Nikezić, Janković, 2012). Primena pasivnih solarnih sistema pri sanaciji industrijskih objekata do sada je nedovoljno istražena tema, te se ovim radom u tom pogledu očekuje izvestan naučni doprinos. Analogno primeni elemenata pasivne solarne arhitekture na postojećim industrijskim objektima u Republici Srbiji, sličan pristup je primenljiv na svim objektima koji poseduju slične konstruktivne karakteristike omotača, volumetrije i orijentacije zgrade (Gajdobranski et al., 2021).

1. MATERIJALI I METODE /  
MATERIALS AND METHODS

Ovim radom su prikazani potencijalni načini primene dvostruke fasade, kao elementa pasivne solarne arhitekture, u postupku rekonstrukcije, prenamene i energetske rehabilitacije postojećeg objekta. Cilj je da se ukaže na mogućnosti redukcije emisije ugljen-dioksida i smanjenja posledica po životnu sredinu. Naime, postojeći industrijski objekat je potrebno adaptirati u objekat administrativne namene. Primarni parametri koji najviše utiču na energetske performanse poslovnih zgrada su zahtevi za grejanjem i hlađenjem tokom radnog vremena (Harmati et al., 2015). U skladu sa tim, ovim radom su ispitani različiti modaliteti primene dvostruke fasade na istočnoj i zapadnoj fasadi uz rekonstrukciju prozorskih otvora i vrata, rekonstrukciju netransparentnih delova fasade dodavanjem termoizolacionog sloja. Primena dvostruke fasade podrazumeva koridorni tip dvostruke fasade (Auer et al., 2007).

Ovim predlogom rekonstrukcije objekta pristupilo se u skladu sa Evropskim standardom EN 13947 (ECS, 2006) i EN 15251, ASHRAE 55 standardom i Pravilnikom o energetske efikasnosti zgrada (Službeni glasnik, 2011), o maksimalnim dozvoljenim koeficijentima prolaza toplote za određene konstruktivne elemente, proračunom redukcije termičkih gubitaka i smanjenja emisije ugljen-dioksida.

Odabrani tip industrijskog objekta jeste industrijska hala sa ravnim krovom. Orijentacija koju hala zahvata jeste pravac sever-jug. Ovaj tip industrijskog objekta predstavlja tipičnu zgradu industrijske hale građene šezdesetih godina u Jugoslaviji u tom periodu. Prenamenom industrijske zgrade u poslovnu dat je predlog funkcionalnih zona u objektu na osnovu kojih je izvršeno zoniranje toplotnih opterećenja funkcionalnih celina. Model novoprojektovane zgrade je podvrgnut numeričkoj simulaciji korišćenjem softvera EnergyPlus i DesignBuilder čijim rezultatima su dobijene vrednosti energije potrebne za grejanje i hlađenje objekta, emisija ugljen-dioksida, internih dobitaka u objektu, količina solarnih dobitaka. Kao kriterijum unapređenja energetske efikasnosti objekta u radu je diskutovan njegov uticaj na životnu sredinu, odnosno, smanjenje emisije ugljen-dioksida. Na osnovu dobijenih rezultata za potrebnu energije i emisije ugljen-dioksida kod objekata koji imaju dvostruku fasadu kao omotač, diskutovana je optimizacija dobijenih rešenja sa aspekta energetike.

Izabrani tip industrijskog objekta kreiran je u kompjuterskom programu i podvrgnut je numeričkim simulacijama radi sticanja uvida u njegove energetske performanse. Numerička simulacija se sprovodi u skladu sa važećim propisima iz oblasti energetske

efikasnosti zgrada, na osnovu klimatskih karakteristika lokacije, podataka o građevinskim materijalima, elementima i sistemima, podataka o elektro opremi, uređajima i načinu korišćenja objekta. Upotrebom kompjuterskih simulacija energetske karakteristika zgrada dobija se velika prednost prilikom projektovanja novih ili sanacije već izgrađenih objekata. Već u prvoj fazi projektovanja mogu se ispitati različite alternative u dizajnu i zadovoljenju estetskih i energetske zahteva koji se od zgrade očekuju.

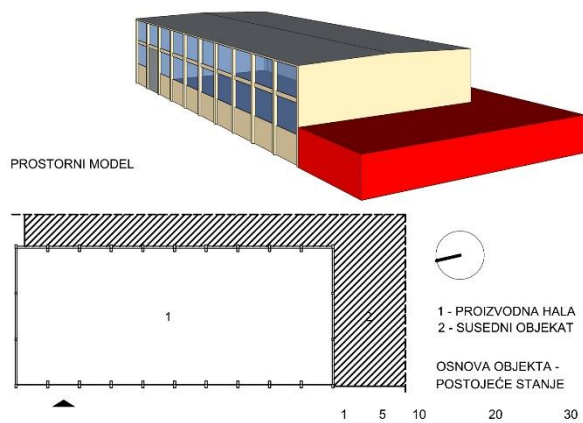
Simulacija različitih sanacija izabranog modela izvedena je upotrebom EnergyPlus simulacione platforme, uz pomoć grafičkog softvera DesignBuilder. Ova softverska kombinacija odabrana je pre svega zbog pouzdanosti programa EnergyPlus, koji je jedan od najefikasnijih aparata na koji se oslanja većina drugih komercijalnih softvera (Crawley et al., 2005) i zbog pouzdanosti softvera DesignBuilder kojim su dobijeni simulacioni podaci koji se značajno podudaraju sa realnim podacima pri funkcionisanju zgrade (Anđelković, 2015).

Metodološki pristup izradi scenarija prema kojima se vrši unapređenje energetske performansi zgrade rukovođen je težnjom za očuvanjem postojećeg identiteta zgrade, unapređenjem dizajna zgrade upotrebom pasivnih solarnih principa arhitekture, očuvanjem geometrije i načina otvaranja prozorskih otvora i vrata, zamenu neadekvatnog i ekološki neopravdanog krovnog pokrivača sa novim materijalom.

## 2. REZULTATI I DISKUSIJA / RESULTS AND DISCUSSION

Odabrani industrijski objekat jeste hala za bojenje koja je pripadala kompleksu tekstilnog kombinata „Raška“ u Novom Pazaru (Projektna dokumentacija, 1969). Ovaj objekat je delo arhitekta B. Stojadinovića, sagrađen je 1969. godine i predstavlja tipičan objekat visoke industrijske hale sa ravnim krovom, građen u Jugoslaviji u tom periodu. Objekat je industrijska zgrada u kojoj je smešten proizvodni pogon za bojenje. Osnova objekta je pravougaonog oblika orijentacije sever-jug sa odstupanjem od pravca sever-jug za 13°, spratnosti P + 0 (slika 1).

U neposrednom okruženju objekta, nalaze se objekti koji su predstavljali prateće objekte tekstilnog kombinata „Raška“. Na osnovu položaja objekata na užoj lokaciji, konstatovana je spratnost okolnih objekata. Uz južnu stranu posmatrane zgrade nalazi se niža upravna zgrada TK „Raška“, dok se uz istočnu fasadu nalazi drugi objekat koji predstavlja zaseban sadržaj TK „Raška“. Navedeni objekti svojim položajem, visinom i senkom delimično utiču na osunčanost posmatranog objekta.

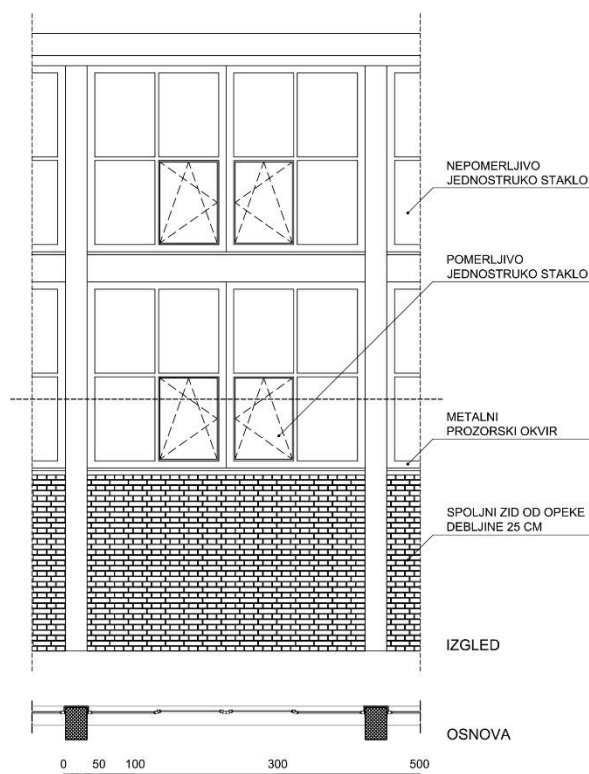


Slika 1 - Raspored funkcija u objektu u osnovi – postojeće stanje

Figure 1 - The schedule of functions in the building - the current condition

Objekat sadrži transparentne elemente na istočnoj i zapadnoj fasadi sa ujednačenim rasporedom praćenim konstruktivnim rasterom.

Ukupna površina objekta iznosi 764,3 m<sup>2</sup>, a zapremina grejanog prostora 6387,5 m<sup>3</sup>.



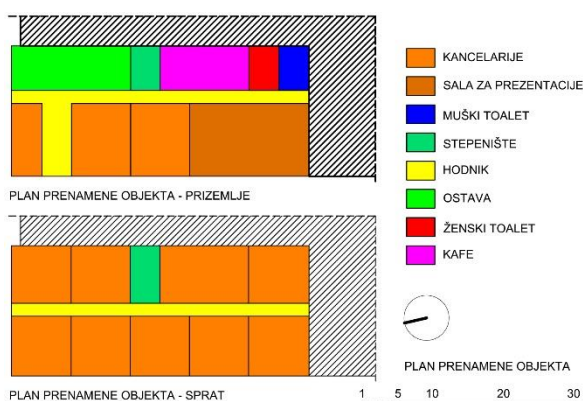
Slika 2 - Izgled segmenta zapadne fasade i presek prozora u osnovi

Figure 2 - The segment of western facade and the horizontal section of the window

Konstruktivni sklop industrijske hale čini prefabrikovana armirano betonska konstrukcija skeletnog tipa sa čeličnom rešetkom kao grednim nosačem. Spoljni zidovi su od opeke debljine 25 cm, malterisani sa unutrašnje strane produžnim malterom u sloju od 2 cm. Krov zgrade jeste ravan krov sa durisol pločama i trapezastim limom kao završnim slojem. Ploča na tlu se sastoji od nabijenog betona debljine 15 cm na tampon šljunku u sloju od 15 cm, sa keramičkim pločicama kao finalnim slojem.

Prozori na industrijskoj hali su jednostruki sa jednoslojnim staklom debljine 6 mm sa koeficijentom prolaza toplote  $U=5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$  i metalnim okvirom bez termoprekida sa koeficijentom prolaza toplote  $U=6,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Sanacijom i adaptacijom predviđena je prenamena navedenog objekta u zgradu administrativne namene. Sanacija je izvršena unapređenjem energetskih karakteristika omotača postojećeg objekta. Netransparentni delovi fasade su unapređeni dodavanjem kamene vune 15 cm. Gde je bilo neophodno, zbog maksimalno dozvoljenih vrednosti koeficijenta prolaza toplote, dodat je sloj od 20 cm. Transparentni delovi su unapređeni zamenom postojećeg stakla sa niskoemisionim staklom 4+12+4 (Kr) sa koeficijentom prolaza toplote  $U=1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  i PVC okvirom sa koeficijentom prolaza toplote  $U=1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Pri sanaciji se vodilo računa po iskorišćenju postojeće konstrukcije zgrade i postojeće infrastrukture. Pri tome se prenamenom prostora koristila postojeća fizička struktura i u skladu sa tim je prostor namenjen za industrijsku proizvodnju preuređen u kancelarijske prostorije, sa salom za sastanke i horizontalnom komunikacijom i pratećim sadržajima za ovu vrstu objekata. U cilju što većeg iskorišćenja prostora formiran je dvostrakt sa koridorom i administrativne jedinice koje su pozicionirane na istočnoj i zapadnoj fasada objekta (slika 3).



Slika 3 - Predlog rešenja funkcionalnih zona prenamene u poslovnu zgradu  
Figure 3 - Proposed solution of functional zones converted into an office building

Na osnovu navedenih karakteristika omotača zgrade određena su energetska svojstva zgrade. Rezultati proračuna koeficijenata prolaza toplote, postojećeg i predloga budućeg stanje zgrade, prikazani su u tabeli 1.

U tabeli 2 navedeno je pet različitih scenarija sanacije objekta od kojih 4 uključuju primenu dvostruke fasade dok jedan scenario predstavlja klasičnu sanaciju omotača.

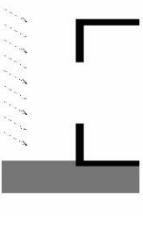
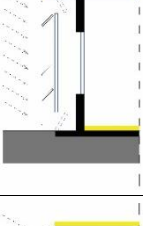
Tabela 1 - Dozvoljene i ostvarene vrednosti koeficijenta prolaza toplote za konstruktivne elemente omotača zgrade

Table 1 - Allowed and realized values of the coefficient of heat transfer for the structural elements of the building envelope

Građevinski element	Kolefijent prolaza toplote $U_{max} [\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$		
	Dozvoljeno	Postojeće	Sanirano
Spoljni zid	0,40	1,835	0,221
Ravan krov	0,20	0,663	0,182
Pod na tlu	0,40	2,449	0,219
Prozor	1,50	5,84	1,31
Ulazna vrata	1,50	3,124	1,251

Softverom DesignBuilder definisan je fizički model zgrade sa konkretnim geografskim položajem i upotrebom materijala, slojevima fasadnog omotača. U softveru je zadat raspored toplotnih zona, njihova unutrašnja projektna temperature, vremenski intervali korišćenja, zauzetost, opterećenje od električnih uređaja i osvetljenja. Radno vreme funkcionisanja zgrade definisano je na osnovu 40 časovnog radnog vremena u nedelji, odnosno, 8h po danu i to u periodu 08:00 – 16:00 časova od ponedeljka do petka. Unutrašnje projektne temperature su definisane prema Pravilniku o energetskej efikasnosti zgrada (Službeni glasnik, 2011), gde navedena projektna temperatura se van radnog vremena koriguje za  $\pm 4^\circ\text{C}$  u zavisnosti od režima grejanja ili hlađenja objekta. Prisustvo ljudi, odavanje toplote po osobi, zauzetost definisani su takođe prema Pravilniku, dok su vrednosti odavanja toplote električne opreme i osvetljenja preuzeti iz softvera DesignBuilder u zavisnosti od toplotne zone. Obzirom da objekat zauzima umereno zaklonjen položaj gde je više od jedne fasade izloženo vetru, navedene vrednosti provetravanja objekta prirodnom ventilacijom u zavisnosti od stanja zaptivenosti zgrade definisani su sa 0,9 izmena vazduha po času za postojeće stanje i 0,5 za stanje nakon sanacije.

Tabela 2 - Predlog mera sanacije industrijske hale  
Table 2 - Proposed measures for the rehabilitation of the industrial hall

	Dijagram sanacije	Opis sanacije
Postojeće stanje		<b>Postojeće stanje</b> - Postojeće stanje zgrade podrazumeva postojeće stanje konstruktivnih elemenata omotača zgrade sa konstruktivnim sklopom zgrade. Posmatrajući odabrane tipove industrijskih zgrada evidentan je nedostatak termoizolacionog sloja u krovu, fasadnom zidu i podu zgrade, što rezultira jako visokom koeficijentu prolaza toplote. Prozorski otvori u fasadnom zidu se sastoje od jednostrukog stakla debljine 6 mm i koeficijentom prolaza toplote $U=5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ , sa metalnim okvirom bez termoprekida. Vrata u fasadnom zidu su metalne konstrukcije sa koeficijentom prolaza toplote $U=3,124 \text{ W/m}^2\text{K}$ .
Scenario 1		<b>Scenario 1</b> – Sanacija omotača zgrade dodavanjem termoizolacionog sloja kamene vune 15 cm u fasadnom zidu i ploči na tlu, dok je na krovu potrebno dodati kamenu vunu 20cm. Rekonstrukcija prozorskih otvora je praćena zamenom postojećih metalnih okvira PVC profilima sa koeficijentom prolaza toplote $U = 1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ i zamenom postojećeg jednostrukog stakla dvostrukim niskoemisionim staklom 4+12+4 (Kr) sa koeficijentom prolaza toplote $U = 1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Ulazna metalna vrata su takođe zamenjena novim sa koeficijentom prolaza toplote $U = 1.25 \text{ W/m}^2\text{K}$ .
Scenario 2		<b>Scenario 2</b> – Ovaj vid sanacije podrazumeva sanaciju objekta kao u scenariju 1 za izuzetkom istočnog i zapadnog fasadnog zida. Na istočnom i zapadnom zidu nije predviđena sanacija netransparentnih delova fasade već samo rekonstrukcija prozorskih otvora kao u scenariju 1. Na istočnoj i zapadnoj fasadi formirana je dvostruka fasada čiju spoljnu opnu čini zid zavesa na rastojanju od 60cm od postojećeg fasadnog zida sa jednostrukim staklom debljine 6 mm i koeficijentom prolaza toplote $U = 5.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ .
Scenario 2a		<b>Scenario 2a</b> – Scenario 2a predstavlja unapređenu sanaciju scenarija 2 uvođenjem noćne ventilacije provetravanjem čime bi se smanjila potrebna energija za hlađenje objekta u letnjem periodu. Noćna ventilacija podrazumeva provetravanje objekta kontrolom otvora u donjoj i gornjoj zoni dvostruke fasade, otvora unutrašnjih prozora i otvora/nadsvetla unutrašnjih vrata čime bi se konstantno provetravanje od 0.5 ac/h u periodu od 18 – 06 h povećalo na maksimalnih 1.2 ac/h u periodu od 1. aprila do 1. oktobra.
Scenario 3		<b>Scenario 3</b> – Scenario 3 takođe predstavlja unapređenu sanaciju scenarija 2 uvođenjem senila na istočnoj i zapadnoj fasadi u sklopu dvostruke fasade, čime bi se smanjila potrebna energija za hlađenje objekta u letnjem periodu. Senila podrazumevaju fiksne horizontalne brisoleje duž cele dvostruke fasade, širine 50 cm postavljenih pod uglom od 45° u vertikalnom razmaku od po 80 cm.
Scenario 3a		<b>Scenario 3a</b> – Scenario 3a predstavlja unapređenu sanaciju scenarija 3 dodatnim uvođenjem noćne ventilacije provetravanjem čime bi se smanjila potrebna energija za hlađenje objekta u letnjem periodu. Noćna ventilacija podrazumeva provetravanje objekta kontrolu otvora u donjoj i gornjoj zoni dvostruke fasade, kontrolu otvora unutrašnjih prozora i otvora/nadsvetla unutrašnjih vrata čime bi se konstantno provetravanje od 0.5 ac/h u periodu od 18 – 06 h povećalo na maksimalnih 1.2 ac/h u periodu od 1. aprila do 1. oktobra.

U ovom delu rada prikazani su rezultati energetskih potreba zgrade za grejanjem i hlađenjem i rezultati emisije ugljen-dioksida dobijeni kompjuterskom simulacijom uz pomoć softvera EnergyPlus i DesignBuilder.

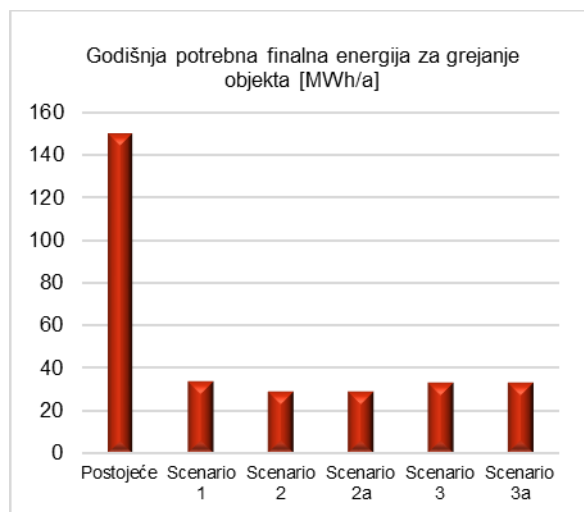
Na osnovu ukupne finalne godišnje potrebne energije za grejanje zgrade (tabela 3) zaključuje se da se ovakvim pristupom sanacije omotača zgrade mogu ostvariti velike uštede energije i to do 5 puta manje potrošnje energije u odnosu na postojeće stanje zgrade. Naime, prema scenariju 1, sanacijom

omotača zgrade potrošnja godišnje potrebne energije za grejanje umanjuje se za 77,74%. Prema scenarijima 2 i 2a koji uključuju primenu dvostruke fasade, potrošnja godišnje potrebne energije za grejanje zgrade umanjuje se za 80,94%. Prema scenarijima 3 i 3a koji uključuju primenu dvostruke fasade sa senilima, potrošnja godišnje potrebne energije za grejanje zgrade umanjuje se za 77,85% (dijagram 1).

*Tabela 3 - Potrebna godišnja finalna energija za grejanje objekta*

*Table 3 - Final annual energy required to heating the building*

Stanje zgrade	Grejanje [MWh]	Grejanje [kWh/m <sup>2</sup> ]	Grejanje [kWh/m <sup>3</sup> ]
Postojeće	149,99	99,50	24,29
Scenario 1	33,39	22,61	5,62
Scenario 2	28,59	18,72	4,59
Scenario 2a	28,59	18,72	4,59
Scenario 3	33,22	21,74	5,34
Scenario 3a	33,22	21,74	5,34



*Dijagram 1 - Potrebna finalna energija za grejanje zgrade*

*Diagram 1 - Final annual energy required to heating the building*

Najmanja količina finalne energije za grejanje potrebna je u slučaju sanacije prema scenarijima 2 i 2a koji uključuju primenu dvostruke fasade, ali ne predstavlja značajnu razliku u odnosu na sanaciju prema scenariju 1, 3 i 3a. Na osnovu uvida u potrošnju energije za grejanjem po jedinici površine, 18,72 - 22,74 kWh/m<sup>2</sup>, možemo konstatovati da se bilo kojim predloženim scenarijom sanacije postojeći objekat može unaprediti do energetskeg razreda B kategorije (dozvoljeno 17 - 33 kWh/m<sup>2</sup>).

Na osnovu ukupne godišnje potrebne energije za hlađenje zgrade (tabela 4) zaključuje se da se ovakvim pristupom sanacije omotača zgrade mogu ostvariti značajne uštede u odnosu na postojeće stanje zgrade. Naime, prema scenariju 1, sanacijom omotača zgrade potrošnja godišnje potrebne energije za hlađenje umanjuje se za 41,57%. Prema scenariju 2 koji uključuje primenu dvostruke fasade, potrošnja godišnje potrebne energije za hlađenje zgrade umanjuje se za 35,82%, dok se prema scenariju 2a umanjuje za 41,84%. Prema scenariju 3 koji uključuju primenu dvostruke fasade sa senilima potrošnja godišnje potrebne energije za hlađenje zgrade umanjuje se za 74,38%, dok se scenarijom 3a kojim se pored senila uvodi i noćna ventilacija količina potrebne energija za hlađenje smanjuje za 76,75% (dijagram 2).

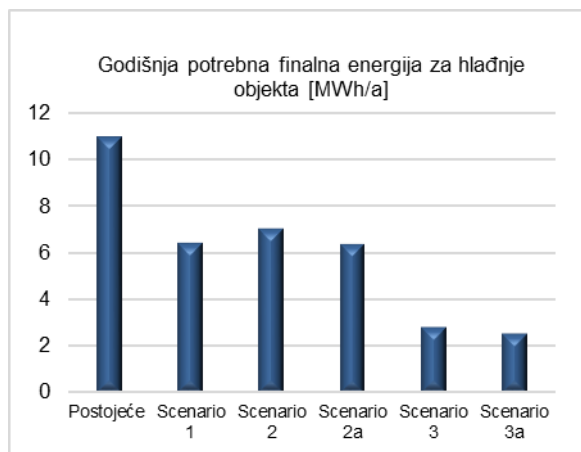
*Tabela 4 - Potrebna godišnja finalna energija za hlađenje objekta*

*Table 4 - Final annual energy required to cooling the building*

Stanje zgrade	Hlađenje [MWh]	Hlađenje [kWh/m <sup>2</sup> ]	Hlađenje [kWh/m <sup>3</sup> ]
Postojeće	10,97	14,31	1,71
Scenario 1	6,41	8,59	1,05
Scenario 2	7,04	9,00	1,10
Scenario 2a	6,38	8,16	1,00
Scenario 3	2,81	3,59	0,44
Scenario 3a	2,55	3,26	0,40

Godišnja primarna energija za rad tehničkih sistema za grejanje i hlađenje prostora, koja uzima u obzir izvor energije, prema Pravilniku o energetskeg efikasnosti objekata, određuje se tako što se godišnja finalna energija potrebna za obezbeđenje toplotnog komfora pomnoži sa faktorom pretvaranja za određeni energent. Faktor konverzije za prirodni gas je 1,1, dok je faktor konverzije za električnu energiju kao izvor 2,5. Prema istom propisu, godišnja emisija ugljen-dioksida je 0,20 kg/kWh za prirodni gas i 0,53 kg/kWh za električnu energiju. Količina primarne energije i emisija ugljen-dioksida za izabrani tip industrijskog objekta prikazani su u tabeli 5.

Na osnovu prikazanih rezultata, ako izuzmemo postojeće stanje, najveću potrebu za primarnom energijom ima objekat koji bi se sanirao prema scenariju 1 (-35,30%), zatim prema scenariju 2, 2a, i 3. Dok bi objekat saniran prema scenariju 3a zahtevao najmanje ukupne primarne energije (-71,76%) za grejanje i hlađenje objekta (dijagram 3).



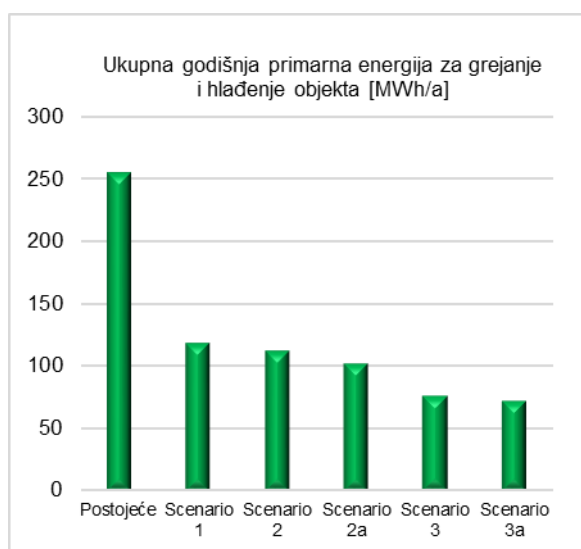
Dijagram 2 - Potrebna finalna energija za hlađenje zgrade

Diagram 2 - Final annual energy required to cooling the building

Tabela 5 - Potrebna primarna energija za grejanje i hlađenje objekta i količina emisije CO<sub>2</sub>

Table 5 - Total required primary energy for heating and cooling the building and CO<sub>2</sub> emission

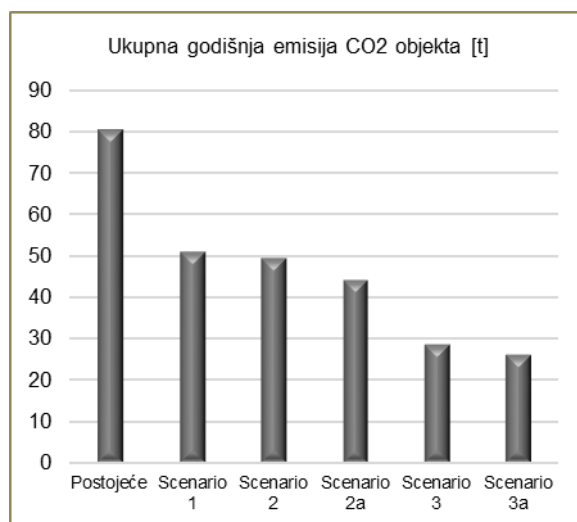
Stanje zgrade	Primarna energija Ukupno [MWh]	Emisija CO <sub>2</sub> Ukupno [t]
Postojeće	254,26	80,31
Scenario 1	118,75	50,82
Scenario 2	112,55	49,27
Scenario 2a	102,54	43,97
Scenario 3	76,30	28,38
Scenario 3a	71,80	26,00



Dijagram 3 - Ukupna potrebna primarna energija za grejanje i hlađenje objekta

Diagram 3 - Total required primary energy for heating and cooling the building

Što se tiče emisije ugljen-dioksida, izuzimajući postojeće stanje objekta, poredak saniranih objekata prema ovom kriterijumu bi bio isti kao i prema potrebnoj količini primarne energije. Prema svim scenarijima sanacije značajno se umanjuje emisija CO<sub>2</sub> i to: scenariom 1 za 29,49 tona (36,72%), scenarijom 2 za 31,04 tone (38,65%), scenarijom 2a za 36,34 tone godišnje (45,25%), scenariom 3 za 51,93 tone godišnje (64,66%) i scenarijom 3a za 54,31 tona godišnje (67,62%) (dijagram 4).



Dijagram 4 - Ukupna količina emisije CO<sub>2</sub>

Diagram 4 - Total CO<sub>2</sub> emission

## ZAKLJUČAK / CONCLUSION

Ovaj rad predstavlja studiju slučaja jednog tipa industrijskog objekta u klimatskim uslovima Republike Srbije i pokazuje kako različiti koncepti dvostruke fasade utiču na energetske efikasnosti pri sanaciji i prenameni industrijskih objekata. Istraživanje je sprovedeno pomoću numeričkih kompjuterskih simulacija konkretnog modela industrijske zgrade i njegovih različitih scenarija sanacije koristeći EnergyPlus simulacionu platformu. Poredak rezultata simulacije energetske učinkacije objekta i na osnovu uticaja na životnu sredinu, smanjenjem emisije ugljen-dioksida. Glavni cilj ovog istraživanja je bio da se ispita uticaj dvostruke fasade na energetske karakteristike zgrade, tačnije na energije potrebne za grejanjem i hlađenjem, i da se izabere optimalni scenario sanacije industrijske zgrade sa ravnim krovom.

Rezultati energetske simulacije su pokazali varijacije između energetske potrebe različitih scenarija sanacije. Ekološki najopravdaniji scenario sanacije je scenario 3a, sanacija sa primenom dvostruke fasade sa fiksnim senilima i noćnom ventilacijom u letnjem periodu. Navedeni scenario predstavlja pristup sanaciji zgrade sa najmanjom potrebnom primarnom energijom za grejanje i hlađenje zgrade, kao i sa-

nacija pri kojoj se ostvaruje najmanja emisija ugljen-dioksida. Ostali scenariji sanacije imaju svoje prednosti kako u energetskom pogledu tako i u dizajnerskim konceptima, što ostaje na izboru investitora i arhitekta pri nalaženju najpovoljnijeg rešenja, uzimajući u obzir sve potrebne činioce.

Ovo istraživanje moglo bi da doprinese arhitektonskom dizajnu u praksi, jer pokazuje konkretne rezultate energetskih simulacija industrijskih objekata sa dvostrukom fasadom u procesu prenamene i adaptacije u poslovnu zgradu. Pored toga, ono pokazuje kako se operativno istraživačke tehnike mogu primeniti u teoriji upravljanja sanacijom i adaptacijom u konkretnu namenu. Nadamo se, da će ovo istraživanje pružiti konkretne informacije u projektovanju sanacije i prenamene industrijskih objekata u administrativni sa dvostrukom fasadom u klimatskim uslovima Republike Srbije, jer najbolje predstavlja metodološki pristup kombinovanja različitih naučnih oblasti u cilju postizanja najboljeg rešenja i dizajna koji može da poboljša kvalitet prostora oko nas.

Preporuke za dalja istraživanja obuhvataju analize različitih tipova industrijskih objekata sa mogućnošću prenamene i aplikacije dvostruke fasade i njihovim energetskim performansama u različitim klimatskim uslovima. Osim toga, ulazni parametri u simulaciji mogu se menjati kako bi se ostvarile najbolje energetske karakteristike zgrade i pronašlo najbolje prihvatljivo rešenje.

#### LITERATURA / REFERENCES

- [1] Andjelković, A. S. et al. (2015), The Development of simple calculation model for energy performance of double skin facades, *Thermal Science*, 16(Suppl. 1), S251-S267
- [2] Anđelković, A. (2015), *Modeliranje energetskih karakteristika dvostrukih ventilisanih fasada*, doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Srbija.
- [3] Auer, T. et al. (2007), *Facades Principles of Construction*, Berlin, Medialis.
- [4] Crawley, D., Hand, J., Kummert, M., Griffith, B. (2005). *Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs*. Washington: US Department of Energy.
- [5] DesignBuilder: <http://www.designbuilder.co.uk>
- [6] EPBD. (2010). Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings. Official Journal of the European Union, 153, 13-35.
- [7] EnergyPlus: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus>
- [8] ECS, (2006). European committee for standardization: European standard EN 13947 - Thermal performance of curtain wall – Calculation of thermal transmittance.
- [9] Gajdobranski, A., Krmpot, V., Anđelković, M. (2021), Upotreba obnovljivih izvora energije na poljoprivrednim gazdinstvima, *Ecologica*, 28(104), 503-509.
- [10] Gratia, E. et al. (2007), The most efficient position of shading devices in a double-skin façade, *Energy and Buildings*, 39 (2007), 364-373.
- [11] Harmati, N., et al. (2015), Energy performance modelling and heat recovery unit efficiency assessment of an office building, *Thermal Science*, 19(Suppl. 3), S865-S880.
- [12] Ignjatović, M. G., et al. (2012), Influence of different glazing types and ventilation principles in double skin façades on delivered heating and cooling energy during heating season in an office building, *Thermal Science*, 16(Suppl. 2), S461-S469.
- [13] Projektna dokumentacija Bojačnice, (1969), TK „Raška“. Istorijski arhiv Ras, Novi Pazar.
- [14] Nikezić, A., Janković, B. (2012). „Eco-infill“ as an alternative strategy for post-industrial landscape in the light of climate change: The case of Belgrade shipyard, *Facta Universitatis – Series: Architecture and Civil Engineering*, 10(3), 327-341.
- [15] Pravilnik o energetskoj efikasnosti zgrada. *Sl. Glasnik RS*, No 61/2011.
- [16] Pravilnik o uslovima i načinu izdavanja sertifikata o energetskim svojstvima zgrada. *Sl. Glasnik RS*, No 61/2011.
- [17] Pucar, M. (2013). Energetski aspekti razvoja naselja i klimatske promene – stanje, mogućnosti, strategije i zakonska regulativa u Srbiji. U: Pucar, M., Dimitrijević, B., Marić, I. (Ur.). *Klimatske promene i građena sredina – politika i praksa u Škotskoj i Srbiji* (57-108). Monografija br. 70. Beograd: Institut za arhitekturu i urbanizam Srbije.
- [18] Slavković, B. (2019). Influence of glazing type on energy efficiency of industrial buildings in the process of revitalization – A case study, *Facta Universitatis – Series: Architecture and Civil Engineering*, 17(1), 33-44.
- [19] Slavković, B. (2017), Application of the double skin façade in rehabilitation of the industrial buildings in Serbia, *Thermal Science*, 21(6B), 2945-2955.
- [20] Vujošević, M., Popović, M. (2016). The comparison of the energy performance of hotel buildings using PROMETHEE decision-making method, *Thermal Science*, 20 (1), 197-208.
- [21] Žikić, S., Nestorović, M., Stevanović, M. (2021), Ekonomski, ekološki i društveni aspekti održivog upravljanja obnovljivom energijom, *Ecologica*, 28 (101), 57-65.