



UNIVERZITET U BEOGRADU
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Savetovanje

**SAVREMENI MATERIJALI I POSTUPCI SANACIJE
GRAĐEVINSKIH OBJEKATA**

**Beograd
26. novembar 2013.**

Savetovanje: **SAVREMENI MATERIJALI I POSTUPCI SANACIJE
GRAĐEVINSKIH OBJEKATA**

Izdavači: **Udruženje inženjera građevinarstva, geotehnike, arhitekture i
urbanista "Izgradnja", Beograd, Kneza Miloša 7a/II
i
Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet,
Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73/I**

Editori: **Prof. dr Mihailo Muravljev, dipl.inž.građ.
Prof. dr Boško Stevanović, dipl.inž.građ.**

Tehnička
priprema: **Stoja Todorović - Saška**

Štampa: "ANAGRAM" d.o.o. – Zemun

Tiraž: 250 primeraka

CIP – Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

624.059.2/.3(082)
69.059.2/.3(082)
691(082)

САВЕТОВАЊЕ Савремени материјали и поступци санације грађевинских објеката (2013 ;
Београд)

Savetovanje Savremeni materijali i postupci sanacije građevinskih objekata, Beograd, 26.
novembar 2013. / [organizatori] Udruženje Izgradnja [i] Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet ;
[editor Mihailo Muravljev, Boško Stevanović]. – Beograd : Udruženje inženjera građevinarstva,
geotehnike, arhitekture i urbanista Izgradnja, 2013 (Zemun : Anagram).– [5], 174 str. : ilustr. ; 25 cm

Tiraž 250. – Str. [5]: Predgovor / Mihailo Muravljev, Boško Stevanović. – Napomene uz tekst. –
Bibliografija uz svaki rad. – Abstracts.

ISBN 978-86-82307-21-1

1. Удружење Изградња (Београд)
а) Грађевински објекти – Санација –
Зборници б) Грађевински материјали –
Коришћење – Зборници
COBISS.SR-ID 202669068

S A D R Ź A J

Prof. dr Vlastimir Radonjanin, dipl.inž.grad. Prof. dr Mirjana Malešev, dipl.inž.grad. REPARATURNI MALTERI - PRIMENA U OKVIRU SANACIONIH RADOVA Stručni rad	1
Prof. dr Dragica Jevtić, dipl.inž.tehn. SPECIJALNI BETONI I MALTERI I NJIHOVA PRIMENA U SANACIJAMA Naučni rad	19
Prof. dr Mihailo Muravljov, dipl.inž.grad. PRAKTIČNA PRIMENA KARBONSKIH TRAKA I TKANINA ZA SANACIJU I OJAČANJE KONSTRUKCIJA Stručni rad	31
Mihailo Petrović, dipl.inž.grad. INJEKCIONE MASE I POSTUPCI INJEKTIRANJA KONSTRUKCIJSKIH ELEMENATA Stručni rad	55
Doc. Dušan Ignjatović, dipl.inž.arh. Doc. mr Nataša Čuković Ignjatović, dipl.inž.arh. PRIMENA TERMOVIZIJSKOG SNIMANJA U PROCENI ENERGETSKE EFIKASNOSTI ZGRADA Pregledni rad	63
Prof. dr Aleksandra Krstić-Furundžić, dipl.inž.arh., Tatjana Kostić, dipl.inž.arh., mr Marija Grujić, dipl.inž.arh. ENERGETSKI ASPEKT OBNOVE PREFABRIKOVANIH STAMBENIH OBJEKATA U BEOGRADU Naučni rad	81
Dr Nada Denić, dipl.inž.tehn., prof. dr Dragica Jevtić, dipl.inž.tehn. POSTUPCI ZA SANACIJU VLAGE U ZIDOVIMA Pregledni rad	97
Dijana Mičev, dipl.inž.arh. PROBLEMATIKA SANACIJE KROVOVA Pregledni rad	111

Prof. dr Radenko Pejović, dipl.inž.građ. PRIMERI SANACIJE BETONSKIH MOSTOVA Stručni rad	125
Drago Ostojić, dipl.inž.građ. POBOLJŠANJE SEIZMIČKE OTPORNOSTI OBJEKATA Stručni rad	145
Prof. dr Boško Stevanović, dipl.inž.građ. NEKI SPECIFIČNI PRIMERI SANACIJE OBJEKATA Stručni rad	155

Prof. dr Aleksandra Krstić-Furundžić¹

Ass. Tatjana Kosić²

Ass. mr Marija Grujić³

NAUČNI RAD

UDK: 620.9:69.059.2/3

ENERGETSKI ASPEKT OBNOVE PREFABRIKOVANIH STAMBENIH OBJEKATA U BEOGRADU

REZIME

Mnoga prigradska naselja su izgrađena u Beogradu posle Drugog svetskog rata. Zbog loših energetske performansi, prisutna je visoka potrošnja energije za grejanje i hlađenje i emisija CO₂. Jedan od predstavnika takve stambene arhitekture je naselje Konjarnik. Procena različitih scenarija za poboljšanje energetske karakteristika montažnih višeporodičnih objekata u Konjarniku je sprovedena u radu. Hipotetički modeli unapređenja energetske performansi omotača postojeće zgrade su kreirani u cilju smanjenja energetske potrebe za grejanje, a time i smanjenja emisije CO₂. Analizom troškova održavanja kroz životni ciklus zgrade procenjena je efikasnost mera obnove u pogledu izvodljivosti, ekonomičnosti i uticaja na životnu sredinu.

Ključne reči: obnova zgrada, ušteda energije, prefabrikovane zgrade, emisija CO₂

IMPROVEMENT OF PREFABRICATED MULTIFAMILY BUILDINGS IN BELGRADE – IN TERMS OF ENERGY

SUMMARY

Several suburban settlements had been built in Belgrade after the World War II. They are all characterized by poor energy performance causing high energy consumption (for heating and cooling) and CO₂ emissions. One of the examples of such architecture is the housing settlement Konjarnik. Assessment of different scenarios for energy performance improvements of prefabricated multifamily building in Konjarnik is carried out in the paper. Hypothetical models of energy performance improvements of the existing building envelope are created in order to reduce energy demands for space heating, and thus reduce CO₂ emissions. The goal of Life cycle costs analyses is to evaluate economic efficiency and feasibility of different measures and their impact on the environment.

Key words: building refurbishment, energy savings, prefabricated housing, CO₂ emissions

¹ Arhitektonski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/II, Beograd,

² Arhitektonski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/II, Beograd,

³ Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, Beograd,

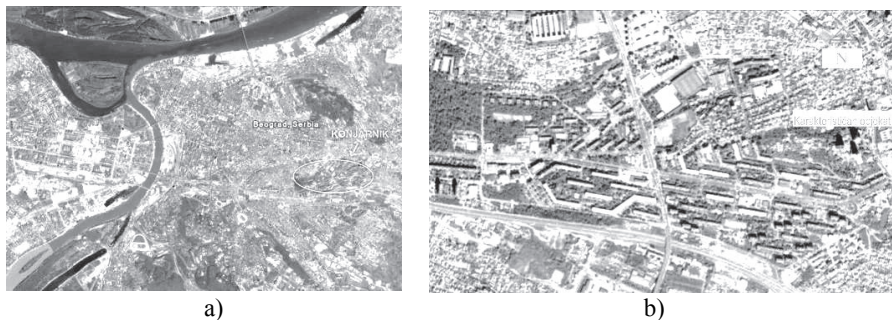
UVOD

Nove energetske efikasne zgrade predstavljaju mali procenat u odnosu na ukupan građevinski fond. Do sedamdesetih godina zgrade su projektovane bez razmatranja energetske potrebe i potrošnje. Prema podacima prikupljenim od strane Zavoda za statistiku Srbije, oko 55% od ukupno 583.908 postojećih stambenih jedinica u Beogradu je izgrađeno u tom periodu [Krstić-Furundžić i Bogdanov, 2010]. Ovi podaci ukazuju da beogradski izgrađeni fond ima značajan broj objekata čije se energetske performanse moraju poboljšati. To ne treba zanemariti jer se time mogu postići značajne uštede energije.

Mnoga prigradska naselja izgrađena su u Beogradu posle Drugog svetskog rata. U to vreme se u našoj zemlji najčešće primenjivalo nekoliko montažnih sistema, što je dovelo do izgradnje stambenih naselja sa brojnim objektima istih ili sličnih osnova. Glavni problem ovog istraživanja je da se procene različite mogućnosti unapređenja energetske svojstava postojećih prefabrikovanih stambenih objekata u Beogradu. Tačnije, predlažu se i ispituju različita rešenja za smanjenje potrošnje energije postojećih objekata. Metodološki pristup podrazumeva analizu karakteristika kako postojećih zgrada i hipotetičkih modela unapređenja omotača zgrade, tako i uporedne analize dobijenih rezultata. Procenjuju se opcije za smanjenje potrebne energije za grejanje prostora, a samim tim i za smanjenje emisije CO₂. Ovaj pristup se generalno može primeniti kod obnove zgrada, ali generalizacija tehničkih rešenja i mogućih doprinosa se mora pojedinačno pažljivo razmotriti.

PODACI ZA STUDIJU SLUČAJA: NASELJE KONJARNIK

Tokom 50-ih pa sve do 70-ih, kao što je prikazano u Tabeli 2, veliki broj prefabrikovanih objekata je izgrađeno u prigradskim naseljima u Beogradu. Jedan od primera je stambeno naselje Konjarnik koje je izabrano kao studija slučaja na kojoj su analizirane mogućnosti za poboljšanje energetske performansi.

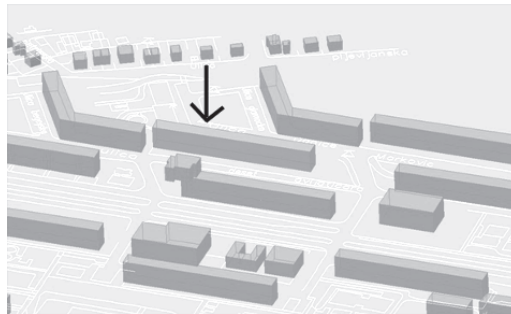


Slika 1. (a) Lokacija Konjarnika na mapi Beograda i (b) Dispozicija zgrada u naselju

Konjarnik je deo urbane gradske zone, udaljen oko 4 km od centra grada (slika 1). Naselje, koje se sastoji od tri lokalne zajednice, obuhvata ukupno 7.174 stanova (Petrović, 1973). Većina stanova izgrađena je u prefabrikovanim sistemima: u "Trudbenik" sistemu 2.950 stanova i u "IMS" sistemu 1.733 stanova.

POLOŽAJ I OBLIK ZGRADE

Predmet analize je stambeni objekat u ulici Deset avijatičara br. 7-15 (slika 1). Osmospratna zgrada (prizemlje, 6 spratova i potkrovlje) sastoji se od 5 lamela (ulaza) u nizu. Za analize je izabrana jedna od centralnih lamela, ulaz br. 11 (slika 2).

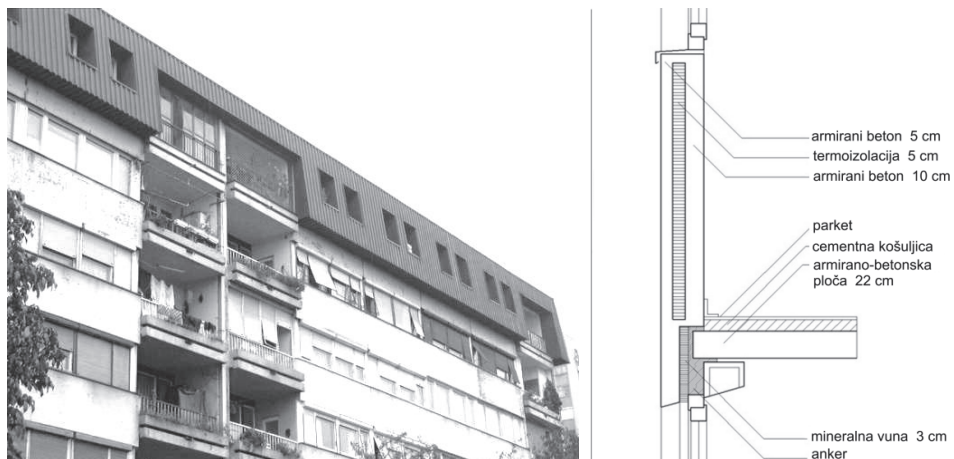


Slika 2. Lokacija zgrade u polu-otvorenom bloku

Zgrada se nalazi u okviru polu-otvorenog bloka, na južno orijentisanoj padini. Svojom dužom osom, koja se pruža u pravcu istok-zapad, paralelna je sa izohipsama. Susedne zgrade su na dovoljnoj udaljenosti što sprečava zasenčenje objekta. Svaka lamela ima tipičnu osnovu sprata sa četiri jednostrano orijentisana stana; dva veća stana su južno orijentisana, dok su dva manja stana orijentisana ka severu.

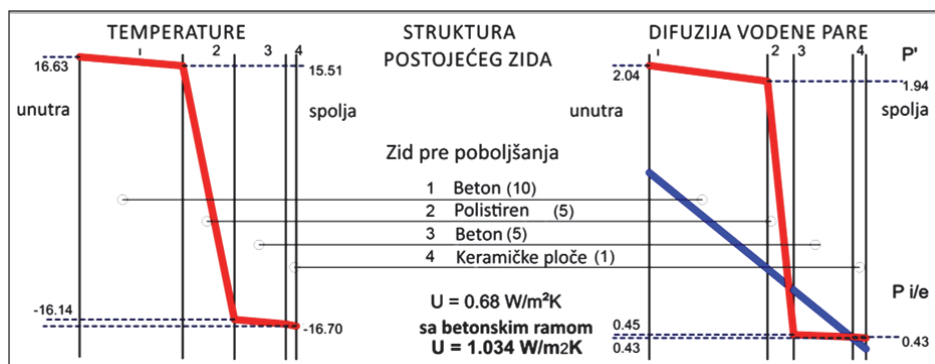
STRUKTURA OMOTAČA ZGRADE

Energetski "rasipne" i "bolesne" kuće su uglavnom posledica nepoštovanja bioklimatskih principa projektovanja tokom perioda jeftine energije 60-ih i 70-ih godina. Zbog nezadovoljavajuće toplotne izolacije ili njenog potpunog odsustva i neodgovarajućih arhitektonskih detalja u pogledu građevinske fizike, nasledene stambene zgrade su "rasipnici" energije i imaju nizak nivo unutrašnjeg komfora – "bolesne kuće", utičući negativno na ljudsko zdravlje [Krstić-Furundžić, 2010]. S obzirom da je to posledica slabo izolovanih spoljašnjih zidova, neophodna je njihova bioklimatska rehabilitacija [Krstić-Furundžić i Rajčić, 2007].



Slika 3. Izgled stambene zgrade u naselju Konjarnik i postojeća konstrukcija fasadnog zida

U pogledu termičkih svojstava, prefabrikovani parapetni panel (slika 3) postojeće zgrade u naselju Konjarnik karakterišu sledeće osobine (slika 4): visok koeficijent prolaza toplote, odnosno U-vrednost; niska temperatura unutrašnje površine; prisustvo kondenzacije sa mogućim zamrzavanjem i razvojem buđi. Prisustvo navedenih karakteristika omotača rezultira lošim toplotnim komforom i lošim uslovima života koji negativno utiču na ljudsko zdravlje.



Slika 4. Toplotna svojstva zida pre unapređenja

ENERGETSKE PERFORMANSE POSTOJEĆEG OBJEKTA

Energetske karakteristike postojećeg objekta se razmatraju u pogledu potrošnje energije za grejanje prostora. U naselju Konjarnik je zastupljeno daljinsko grejanje na bazi lož ulja.

POTROŠNJA ENERGIJE ZA GREJANJE PROSTORA

Glavne karakteristike fasade su nizovi prozora i parapeta što utiče na energetske performanse omotača objekta.

Tabela 1. Tipovi i U-vrednost parapeta i zastakljenja

	PARAPETNI ZID			ZASTAKLJENJE		Godišnja potrošnja energije za grejanje	
	Struktura zida	U-vrednost [W/m ² K]	U-vrednost usled toplotnih mostova [W/m ² K]	Tip zastakljenja	U-vrednost [W/m ² K]	[kWh]	[kWh/m ²]
Model postojeće zgrade	unutrašnji beton 10cm, termoizolacija 5cm, spoljašnji beton 5cm	0,67	1,034	jednostruko zastakljenje flot staklom (4mm) u dvostrukom drvenom prozoru sa razmaknutim krilima	3,0	353.810	283,60

U-vrednosti parapetnog zida i zastakljenja prikazani su u Tabeli 1 i na Slici 4. Betonski okvir prisutan duž ivice fasadnog parapetnog panela predstavlja toplotni most što rezultuje u U-vrednost od 1,034 W/m²K [Kosić et al., 2009]. Novi srpski propisi o energetske efikasnosti u zgradama, u slučaju obnove zgrada, određuju za fasadni zid U-vrednost od 0,4 W/m²K za Beogradske klimatske uslove. U pogledu termodinamike, prozori se pominju kao problem kako zbog veličine i neodgovarajućih termičkih karakteristika ($U > 3,0$ W/m²K) tako i zbog prisustva infiltracije vazduha. Prozori su drveni dvostruki sa razmaknutim krilima jednostruko zastakljenim flot staklom debljine 4mm i sa unutrašnjim platnenim roletnama.

Zvanični podaci beogradskih toplana pokazuju da, na osnovu podataka o potrošnji energije za grejanje za period 2006.-2008. (period od 15. oktobra do 15. aprila), prosečna godišnja potrošnja energije za grejanje prostora svih pet lamela iznosi 1.769 MWh. Godišnja potrošnja energije za centralnu lamelu iznosi 353.810 MWh, odnosno 283,60 kWh/m² (Tabela 1). Ovi podaci pokazuju da je veoma velika potrošnja energije prisutna što ukazuje da je predmetna zgrada energetski neefikasna.

Razlog za takvu potrošnju energije je neodgovarajući omotač zgrade u smislu toplotnih svojstava što ima za posledicu:

- toplotne (transmisionne) gubitke,
- pregrevanje zgrade,
- velike ventilacione (infiltracija i izmene vazduha) gubitke i
- gubitke u sistemu grejanja.

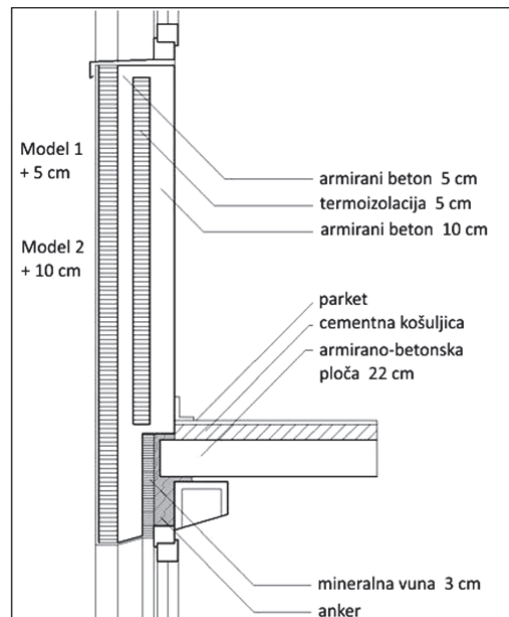
Distribucija toplotne energije od strane beogradskih toplana nije u skladu sa temperaturnim oscilacijama u zimskom periodu, što se takođe odražava na potrošnju.

UNAPREĐENJE ENERGETSKIH SVOJSTAVA POSTOJEĆEG PREFABRIKOVANOG OMOTAČA ZGRADE

Različiti scenariji-modeli unapređenja energetskih performansi postojećeg omotača zgrade su kreirani u cilju postizanja smanjenja energetskih zahteva za grejanje prostora, a time i smanjenja emisije CO₂. Metodološki pristup obuhvata:

- kreiranje različitih modela unapređenja postojećeg omotača zgrade,
- numeričke simulacije modela i
- poređenje rezultata (modela).

Različiti modeli unapređenja omotača zgrade su kreirani prema beogradskim klimatskim uslovima, orijentaciji zgrade i tehničkim karakteristikama konstrukcije postojećeg objekta.



Slika 5. Unapređena struktura zida

MODELI UNAPREĐENJA TOPLOTNIH KARAKTERISTIKA

Predlozi za unapređenje koji se smatraju najpogodnijim i koji su izabrani kao mere za unapređenje energetske performansi stambenih zgrada na Konjarniku su: povećanje debljine termoizolacije uključujući i prekid toplotnih mostova, potpuna zamena prozora savremenim tipovima, koje karakterišu bolje toplotne i solarne performanse, kao i zastakljivanje lođa. Izabrana su dva modela (M1 i M2) unapređenja omotača zgrade koja su prikazana u Tabeli 2 i na Slici 5.

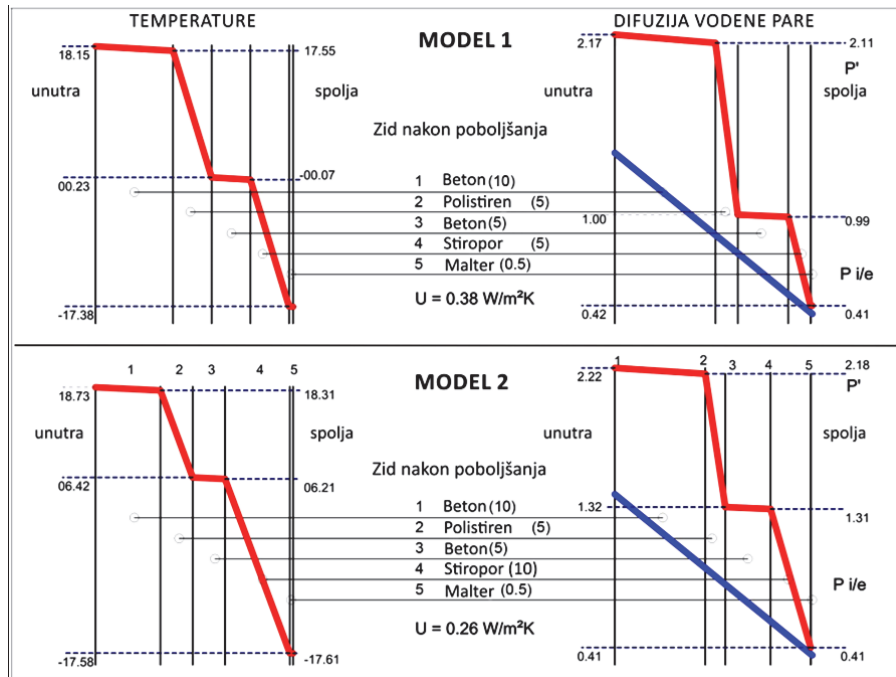
Tabela 2. Modeli unapređenja toplotnih karakteristika omotača zgrade

Model unapređenja toplotnih karakteristika	PARAPETNI ZID		KROVNA PLOČA		ZASTAKLJENJE				
	Struktura zida	U-vrednost [W/m ² K]	Debljina termoizolacije	U-vrednost [W/m ² K]	Prozori		Lođe		
					Tip zastakljenja i profila	U-vrednost [W/m ² K]	Tip zastakljenja i profila	U-vrednost [W/m ² K]	
Model M1	unutrašnji beton 10cm, termoizolacija 5cm, spoljašnji beton 5cm + 5cm dodat stiropor ukupna debljina TI = 10cm	0,371	10cm dodate tvrdo presovane mineralne vune čini 22cm termoizolacije	0,171	dvostruko zastakljenje (4+12+4mm) postavljeno u petokomorni PVC profil	2,30	dvostruko zastakljenje (4+12+4mm) postavljeno u petokomorni PVC profil	2,30	Predviđeni broj izmena vazduha 2 - 3
Model M2	unutrašnji beton 10cm, termoizolacija 5cm, spoljašnji beton 5cm + 10cm dodat stiropor ukupna debljina TI = 15cm	0,255	10cm dodate tvrdo presovane mineralne vune čini 22cm termoizolacije	0,171	nisko-emisiono zastakljenje sa ispunom od argona postavljeno u petokomorni PVC profil	0,90	dvostruko zastakljenje (4+12+4mm) postavljeno u petokomorni PVC profil	2,30	0,8 - 1

Postavljanje dodatne spoljašnje toplotne izolacije pruža sledeće prednosti (slika 6):

- niži koeficijent prolaza toplote i veću temperaturu unutrašnje površine zida ($t_{si}=+18,15^{\circ}\text{C}$ i $+18,73^{\circ}\text{C}$ umesto $t_{si}=+16,63^{\circ}\text{C}$ pre unapređenja) čime je sprečena kondenzacija i razvoj plesni,

- poboljšana funkcija zida kao sloja za akumulaciju toplote i
- unapređenje toplotnog komfora i uslova života u celoj zgradi.



Slika 6. Toplotne karakteristike zida nakon unapređenja

NUMERIČKE SIMULACIJE

Za simulaciju energetskih svojstava zgrade formirani su 3D matematički modeli. Za termodinamičke simulacije korišćen je specijalizovani softverski paket TAS. Simulacija je mnogo efikasnija kada se koristi za poređenje predviđenih performansi različitih projektantskih rešenja, nego kada se koristi za predviđanje performansi jednog rešenja [Hensen et al., 2004]. Iz tog razloga su kreirani sledeći modeli unapređenja: Model 1 i Model 2, koji se odlikuju različitim energetskim performansama. Simulacije su sprovedene uzimajući u obzir održavanje zadatih vrednosti temperature unutrašnjeg vazduha (od 20°C u sobama do 22°C u kupatilu), koje pružaju zadovoljavajuće uslove toplotnog komfora u grejnom periodu. Za analize i matematičke simulacije modela uzeti su u obzir klimatski uslovi za teritoriju Beograda koji se odnose na dnevne temperature tokom godine, učestalost temperatura, učestalost intenziteta sunčevog zračenja, učestalost oblačnosti, učestalost brzine vetra i njegovog pravca u zimskom, letnjem i prelaznom periodu.

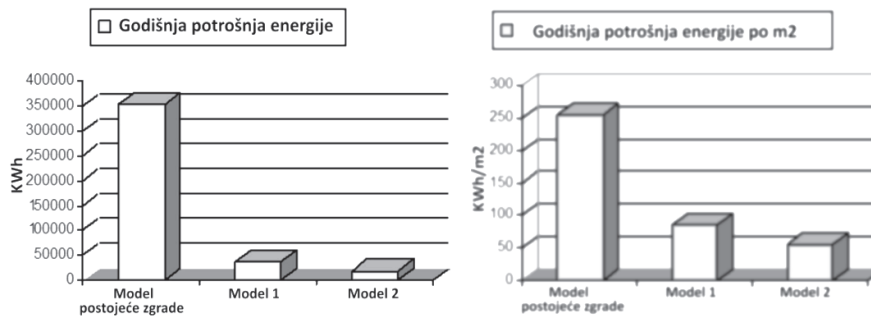
POREĐENJE REZULTATA

Rezultati unapređenja omotača zgrade su razmatrani i prezentovani kroz smanjenje potrošnje energije i smanjenje emisije CO₂.

Kako nacionalni softverski paket još nije izabran, obračun i određivanje energetske klase zgrade odnosi se na energiju potrebnu za grejanje (prema Pravilniku o energetskej efikasnosti zgrada). Na osnovu rezultata termodinamičke simulacije, model M1 pokazuje da je godišnja potrošnja energije za grejanje 37.242 kWh, a u odnosu na efektivnu grejanu površinu centralne lamele koja je 1.250 m², godišnja potrošnja energije za grejanje iznosi 29,79 kWh/m². Model M2 pokazuje da je godišnja potrošnja energije za grejanje 18.446 kWh, a u odnosu na efektivnu grejanu površinu predmetne lamele, godišnja potrošnja energije za grejanje iznosi 14,75 kWh/m². Za oba modela unapređenja izračunate su godišnja potrošnja energije za grejanje, kao i godišnja potrošnja energije po kvadratnom metru i zatim upoređene sa postojećom potrošnjom energije u zgradi, što je prikazano u Tabeli 3 i na Slici 7.

Tabela 3. Godišnja potrošnja energije za grejanje po modelima

Model zgrade	Potrošnja energije (kWh/a)	Potrošnja energije (kWh/m ² a)
Model postojeće zgrade	353.810	283,60
Model 1	37.242	29,79
Model 2	18.446	14,75



Slika 7. Poređenje godišnje potrošnje energije za grejanje u postojećoj zgradi i unapređenim modelima

Tabela 4. Godišnja potrošnja primarne energije za grejanje po modelima

Model zgrade	Potrošnja energije (kWh/a)	Potrošnja energije (kWh/m ² a)
Model postojeće zgrade	424.572	339,66
Model 1	44.690	35,75
Model 2	22.135	17,70

Godišnja potrošnja primarne energije za grejanje je proračunata primenom faktora pretvaranja (1,2) za odgovarajući energent (lož ulje) koji je izvor toplote za sistem za grejanje, što je prikazano u Tabeli 4.

Prednosti predviđenih unapređenja

Prednosti predviđenih unapređenja mogu se identifikovati kroz uštedu energije i smanjenje emisije CO₂. Primetno je da je značajna vrednost ukupne godišnje uštede primarne energije za grejanje, kao i godišnje uštede energije po kvadratnom metru, što je prikazano u Tabeli 5.

Tabela 5. Godišnja ušteda primarne energije za grejanje prema modelima

Model zgrade	Ušteda energije (kWh)	Ušteda energije (kWh/m ²)	Smanjenje potrošnje energije (%)
Model 1	379.882	303,90	89
Model 2	402.437	321,95	94

Potrošnja primarne energije za grejanje prostora u slučaju unapređenih modela je smanjena za više od 89% za Model 1, i više od 94% za Model 2. To podrazumeva godišnje smanjenje energrtskih potreba za 379,882 kWh za Model 1, dok za Model 2 smanjenje iznosi 402,437 kWh. U odnosu na efektivnu grejanu površinu, postignuto je smanjenje energetske potreba za oko 304 kWh/m² za Model 1 i 322 kWh/m² za Model 2. Ove energetske uštede postignute su dodavanjem toplotne izolacije, zastakljivanjem lođa i zamenom postojećih prozora novim tipom prozora.

Proračun emisije CO₂ se zasniva na činjenici da je u stambenom naselju Konjarnik dostupno daljinsko grejanje koje kao energent koristi lož ulje (specifična emisija za lož ulje prema Pravilniku o energetskej efikasnosti zgrada iznosi 0,26 kgCO₂/kWh). U Tabeli 6 su prikazane vrednosti godišnjih emisija CO₂ za centralnu lamelu postojeće zgrade i za unapređene modele. U Tabeli 7 su za oba modela predstavljene vrednosti godišnjeg smanjenja emisije CO₂ postignute poboljšanjem energetske performansi omotača zgrade. Prema prikazanim rezultatima, evidentno je da se značajno smanjenje emisije CO₂ može postići unapređenjem omotača zgrade.

Tabela 6. Emisija CO₂

Model zgrade	Emisija CO ₂ (kg/godišnje)
Model postojeće zgrade	110.389
Model 1	11.619
Model 2	5.755

Tabela 7. Smanjenje emisije CO₂

Model zgrade	Smanjenje CO ₂ (kg/godišnje)	Smanjenje CO ₂ (%)
Model 1	98.770	89
Model 2	104.634	94

ANALIZA EKONOMSKE EFIKASNOSTI

Predmetna analiza troškova u životnom veku ima za cilj ocenu ekonomske efikasnosti i isplativosti gore prezentovanih scenarija i ocenu njihovog uticaja na životnu sredinu. Analiza troškova u životnom veku bavi se ocenom isplativosti ulaganja u poboljšanje termičkog kvaliteta omotača kolektivne zgrade u Beogradu, u cilju redukcije potrošnje energije za grejanje.

Ekonomska analiza životnog veka je izvršena metodologijom diskontovanja investicija i troškova na neto sadašnju vrednost iz razloga što se analiza bazira na poređenju različitih scenarija.

Za analizu je korišćen kompjuterski program BLCC (Building Life Cycle Cost), verzija 5.3-12, (EERE, 2012), koji je razvijen od strane Departmana za energiju SAD-a (U.S. Department of Energy), koji se koristi za vrednovanje korisnosti ušteda energije u životnom veku. Proračuni troškova u životnom veku se baziraju na diskontnim stopama i stopama porasta cene energije koje se predviđaju u okviru Saveznog programa menadžmenta energije (FEMP - Federal Energy Management Program) u Sjedinjenim Državama, koje se obnavljaju i objavljuju svake godine 1. aprila. Uz određene modifikacije, BLCC program je korišćen za analizu nekoliko investicionih projekata u Srbiji, prilikom ocenjivanja ekonomske opravdanosti varijantnih rešenja primene mera optimizacije na omotač zgrade, građevinsku strukturu, osvetljenje i sisteme termotehnike (Plavšić i Grujić, 2005).

Kriterijumi za vrednovanje rezultata analize svrstani su u dve grupe (Plavšić, 2004):

- Kriterijumi za vrednovanje ekonomske efikasnosti uključuju:
 - neto sadašnju vrednost (NSV),
 - internu stopu rentabiliteta (ISR) i
 - period povraćaja uložениh sredstava (PPS).
- Kriterijumi za vrednovanje eksternih efekata uključuju:
 - očuvanje i unapređenje životne sredine i
 - održivi razvoj izvora energije.

Zaključna analiza ocene efikasnosti projekta i varijanti projekta (putem korišćenja kompjuterskog programa BLCC) iskazana je kroz dva područja:

- ocena finansijsko-tržišne efikasnosti projekta, kojom se utvrđuje opravdanost investicije pod stvarnim uslovima na tržištu, merena akumulacijom projekta i
- ocena društveno-ekonomske efikasnosti projekta, koja vrednuje učinke projekta na društveno-ekonomski razvoj zemlje.

U zaključnoj analizi različiti scenariji se rangiraju prema svakom od uključenih kriterijuma. Program daje mogućnosti izbora i to:

1. scenario koji je najpovoljniji sa aspekta najnižih troškova životnog veka,
2. scenario sa najkraćim vremenom povraćaja uložениh sredstava,
3. scenario sa najmanjim emisijama gasova staklene bašte.

Kada se prva dva kriterijuma posmatraju kao jednakovredna, odluka će se doneti tako što izabrano rešenje najviše od svih zadovoljava oba uslova.

ANALIZA TROŠKOVA ŽIVOTNOG VEKA

Komparativna analiza scenarija za unapređenje termičkog omotača zgrade (postojeći model zgrade i dva modela sa termički poboljšanim svojstvima omotača) izvedena je na osnovu troškova investicije, sa jedne, i ušteda troškova za grejanje ostvarenih u veku projekta sa druge strane. Svaki scenario ima specifično povećanje investicionih ulaganja u odnosu na osnovni (postojeći) model zgrade i odgovarajuću redukciju potrošnje energije za grejanje. Ukupni rezultati različitih scenarija mere se prema: (a) investicionim troškovima, (b) troškovima potrošnje energije i (c) operativnim troškovima, troškovima održavanja i popravki (OO&P). Troškovi periodičnih remonta nisu uključeni u analizu iz razloga što se usvojeni period analize troškova životnog veka bazira na standardnom životnom veku prozorske komponente.

Isplativost i opravdanost ulaganja u poboljšanje termičkih svojstava fasade ocenjuje se sa stanovišta potrošnje finalne energije.

Investiciona ulaganja

Investiciona ulaganja tretirana su kao jednokratni troškovi u prvoj godini ekonomskog veka projekta.

U analizi poboljšanja termičkih karakteristika omotača, svaki poboljšani model ima specifično povećanje investicionih ulaganja u odnosu na postojeći model. U Tabelama 8 i 9 prikazani su troškovi investicionog ulaganja za svaki scenario.

Troškovi energije

Svaki scenario u analizi energetske svojstava termičkog omotača zgrade bazira se na različitim rešenjima za redukciju potrošnje energije, koja rezultuju različite troškove energije na godišnjem nivou. Toplotna energija iz gradske mreže usvojena je na nivou od 0,05 €/kWh (isporučena energija). Cena je usvojena prema cenovniku za domaćinstva Beogradskih elektrana (za 1. decembar 2012. godine).

Analiza troškova

Analiza troškova životnog veka za scenarije sa unapređenjem svojstava termičkog omotača zgrade izvedena je za period od 25 godina. Period od 25 do 30 godina je vreme u kojem se, uz redovno održavanje, garantuju termička svojstva selektovanih prozorskih komponenti u različitim scenarijima.

Analiza troškova u životnom veku izvršena je za svaki predloženi scenario. Upotrebom BLCC kompjuterskog programa utvrđena je neto sadašnja vrednost (NSV)

za svaki scenario i izabran je scenario koji daje najbolje rezultate u toku životnog veka. Svi budući troškovi su diskontovani primenom diskontne stope od 3.5%.

Osnovna pretpostavka je da inflacija ima neutralan efekat na život projekta, ukoliko se cenovni odnosi (paritet cena) ne menjaju u veku projekta, odnosno, da uticaj inflacije deluje istovetno za sve elemente primitka i izdataka projekta.

Rezultati ekonomske analize

Rezultati analize životnog veka, ušteta u životnom veku i emisije gasova staklene bašte za scenarije koji se bave poboljšanjem termičkih karakteristika omotača zgrade dati su Tabelama 8, 9 i 10.

Tabela 8. Rezultati analize životnog veka za scenarije Model 1 i Model 2 u odnosu na referentni model (postojeće stanje omotača zgrade)

Scenario	Godišnja potrošnja toplotne energije (kWh)	Godišnji troškovi		Ukupna investiciona ulaganja (€)	Sadašnja vred. troškova		LCC
		Troškovi toplotne energije (poč. god.) (€)	Godišnji troškovi za OO&P* (€)		Diskontovani ukupni troškovi za OO&P* (€)	Diskontovani ukupni troškovi energije (€)	
referentni model	353.810,00	17.694,00	1.000,00	-	16.484,00	291.605,00	308.088,00
model 1	37.242,89	1.863,00	1.000,00	117.180,00	16.484,00	30.695,00	164.359,00
model 2	18.446,15	923,00	2.000,00	141.910,00	32.967,00	15.203,00	190.080,00

* Operativni troškovi, troškovi održavanja i popravki

Tabela 9. (deo a i b) Uštete u životnom veku za Model 1 i Model 2

Scenario	Godišnja redukcija toplotne energije (kWh)	Ukupna investicija (€)	Uštete (+) ili troškovi (-) energije		Ne-energetske uštete (+) ili troškovi (-)	
			Godišnje uštete toplotne energije (€)	Diskontovane uštete toplotne energije (€)	Godišnji troškovi za OO&P* (€)	Diskontovani troškovi za OO&P* (€)
Model 1	316.567,11	117.180,00	15.828,00	260.910,00	-1.000,00	-16.484,00
Model 2	335.363,85	141.910,00	16.768,00	276.402,00	-2.000,00	-32.967,00

* Operativni troškovi, troškovi održavanja i popravki

Tabela 9 - deo a

Scenario	Uštede u prvoj godini (€)	Obični period povraćaja sredstava (PPS) (godina)	Prilagođena interna stopa rentabiliteta (ISR) (%)	Ukupne diskontovane operativne uštede (€)	Odnos ušteta i ulaganja
Model 1	14.828,00	7,90	6,59	244.426,00	2,09
Model 2	14.768,00	9,61	5,76	243.434,00	1,72

* Operativni troškovi, troškovi održavanja i popravki

Tabela 9 – deo b

Tabela 10. Emisija gasova staklene bašte – analiza termičkih karakteristika omotača zgrade

	Postojeći model		Model 1		Model 2	
	godišnje emisije (kg)	emisije u životnom veku (kg)	godišnje emisije (kg)	emisije u životnom veku (kg)	godišnje emisije (kg)	emisije u životnom veku (kg)
	CO ₂	231.319,39	5.782.193,00	24.349,23	608.647,52	12.060,01
SO ₂	1.165,61	29.136,25	122,69	3.066,95	60,77	1.519,04
NO _x	345,22	8.629,43	36,34	908,35	18,00	449,90

Sledeći zaključci se mogu izvesti iz analize troškova u životnom veku:

– Troškovi u životnom veku kod modela sa unapređenim termičkim svojstvima omotača su značajno manji u poređenju sa referentnim modelom - postojećim stanjem zgrade (Tabela 8).

– Prema rezultatima LCC analize u Tabeli 8 najpovoljniji model sa aspekta troškova u životnom veku je Model 1, iako je redukcija potrošnje energije kod Modela 2 skoro dvostruko veća u odnosu na Model 1. Razlog za ovakav rezultat analize troškova u životnom veku su troškovi održavanja za Model 2, koji su udvostručeni u odnosu na troškove održavanja Modela 1, i veći troškovi investicije.

– Analiza ušteta u životnom veku (Tabela 9) pokazuje da Model 1 ima najkraći period povratka uloženi sredstava (PPS), koji iznosi 7,9 godina. Kod Modela 2 PPS iznosi 9,61 godina. Scenario Model 1 takođe ima manje povećanje osnovne investicije i veći odnos ušteta i ulaganja. Tako, sa aspekta ekonomskih ušteta u životnom veku, scenario Model 1 je najekonomičniji.

– Analiza emisije gasova staklene bašte (Tabela 10) pokazuje da Model 2 ima najveću redukciju emisije gasova, što je očekivano, budući da ovaj model ima najveću redukciju potrošnje energije.

– Sa aspekta finansijske analize, profitabilniji scenario je Model 1, odnosno, scenario sa umerenim investicijama, iako ovaj scenario nema najnižu potrošnju energije i najmanju emisiju štetnih gasova. Čak ako bi se isključili iz analize visoki operativni troškovi Modela 2 (ili ako bi ih redukovali), scenario Model 1 bi bio profitabilniji iz razloga drugih, važnijih kriterijuma – kriterijum niže investicije i bržeg povraćaja uloženi sredstava.

– Najpovoljniji scenario u LCC analizi je Model 1.

Investicije u mere za očuvanje energije i obnovljive izvore energije su obično veoma velike, ali je pozitivan njihov dugoročan efekat na očuvanje životne sredine i redukciju potrošnje energije iz neobnovljivih izvora. Analiza troškova i ušteda u životnom veku za mere redukcije potrošnje toplotne energije (kao jednoj od najvećih stavki u potrošnji energije u zgradama) upravo pokazuju da ulaganje u mere koje stvaraju najveću redukciju potrošnje toplotne energije i najbolje efekte u očuvanju životne sredine ne ostvaruju i najbolju ekonomsku efikasnost. Stoga je neophodno izvršiti optimizaciju odnosa investicija i efekata redukcije potrošnje energije.

ZAKLJUČAK

Ovaj rad je ukazao na probleme loših energetske karakteristika postojećeg stambenog fonda Beograda, kao i potrebu i mogućnosti unapređenja energetske performansi zgrada, pa tako i uticaja na životnu sredinu. Mogućnosti obnove zgrada mogu na prvi pogled izgledati skromnije i jednostavnije u odnosu na rušenje i novu izgradnju, ali rezultati ovog istraživanja pokazuju efikasnost u uštedi energije i smanjenju emisije CO₂, kao i unapređenje kvaliteta stanovanja. Poboljšanjem toplotne izolacije i zamenom prozora, kao i zastakljivanjem balkona i lodja, postižu se brojne prednosti koje se mogu identifikovati kao smanjenje potrošnje konvencionalne energije, smanjenje zagađenja životne sredine i stvaranje mogućnosti za nova estetska rešenja u obnovi postojećih objekata.

Prema Pravilniku o uslovima, sadržini i načinu izdavanja sertifikata o energetskim svojstvima zgrada, postojeći i unapređeni modeli zgrade pripadaju sledećim energetskim razredima za stambene zgrade sa više stanova:

- Postojeći objekat, prema specifičnoj godišnjoj potrebnoj toploti za grejanje (339,66KWh/m²a), pripada energetskom razredu G.
- Unapređeni model M1, prema specifičnoj godišnjoj potrebnoj toploti za grejanje (35,75KWh/m²a), pripada energetskom razredu C.
- Unapređeni model M2, prema specifičnoj godišnjoj potrebnoj toploti za grejanje (17,70KWh/m²a), pripada energetskom razredu B.

Kako u drugim delovima Srbije i Evrope postoji značajan broj stambenih naselja sa istim ili sličnim prefabrikovanim objektima, predstavljene mere unapređenja se mogu primeniti u regionima sa sličnim klimatskim uslovima. Rezultati ovog istraživanja mogu biti interesantni za pokretanje aktivnog učešća i podršku svima onima koji su uključeni u proces gradnje: vlasnicima, potrošačima, vlastima, arhitektama, građevinskoj industriji, i ostalima.

ZAHVALNOST

Numeričke simulacije potrošnje energije za grejanje za različite modele su realizovane uz pomoć G. Dušana Maksimovića, BDSP (YU) d.o.o, Bulevar Arsenija Čarnojevića 54a, Beograd, Srbija.

Ovo istraživanje je realizovano u okviru naučno-istraživačkog projekta "Physical, environmental, energy, and social aspects of housing development and climate change – mutual influences" (TP36035), finansiranog od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije (2012-2014).

LITERATURA

- [1] EERE (Energy Efficiency and Renewable Energy) (2012), FEMP (Federal Energy Management Program) software: BLCC (Building Life Cycle Cost), <http://www.eere.energy.gov/femp/information>, (accessed 25th November, 2012).
- [2] Hensen, J., Djunaedy, E., Radosevic, M., Yahiaoui, A. (2004) Building performance simulation for better design: some issues and solutions. In: Built Environments and Environmental Buildings, Thematic conference Proceedings of PLEA 2004. Eindhoven: Technical University.
- [3] Kosić, T., Krstić-Furundžić, A., Rajčić, A., Maksimović, D. (2009) Improvement of Energy Performances of Dwelling Housing in Belgrade. In: Architecture, Energy and the Occupant's Perspective, Thematic conference Proceedings of the PLEA 2009, Demers, C. and Potvin, A. (eds.). Quebec City: Les Presses de l'Université Laval, pp. 603-608.
- [4] Krstić-Furundžić, A., Bogdanov, A., (2003) Formiranje baze podataka o građevinskom fondu u Beogradu. U: Energetska optimizacija zgrada u kontekstu održive arhitekture, Deo 1. Beograd: Arhitektonski fakultet Univerziteta u Beogradu, str. 59-77.
- [5] Krstić-Furundžić, A. (2010) Definition of Suburban Building Stock; Case Study: Konjarnik, Belgrade, Serbia. In: Roberto Di Giulio (ed.) Improving the Quality of Suburban Building Stock, Volume 1. Malta: Department of Building & Civil Engineering, Faculty for the Built Environment, University of Malta, Gutenberg Press, pp. 145-158.
- [6] Krstić (Furundžić), A., Rajčić, A. (2007) Improvement of thermal performances of external walls aimed to produce energy rational buildings. In: Vujošević, M. (ed.) Sustainable spatial development of towns and cities, Volume 1, Belgrade: IAUS, pp. 297-304.
- [7] Petrović, P. (1973) Naselje „Konjarnik“. Izgradnja, Broj.12, str. 41-43.
- [8] Plavšić, R. (2004) Organizacija i upravljanje projektima (Organization and Project Management), Fakultet za menadžment malih i srednjih preduzeća, Beograd, str. 38.
- [9] Plavšić, R., Grujić, M. (2005) Economic analysis of the life period of the measures for the development of energetical efficacy of the covering and system of termotechique of the Terazije terraces, Belgrade, str. 120-132.
- [10] Pravilnik o energetske efikasnosti zgrada, Službeni glasnik RS, Br. 72/09, 81/09 – izmenjen i dopunjen, 64/10 i 24/11, str. 58.
- [11] Pravilnik o uslovima, sadržini i načinu izdavanja sertifikata o energetskim svojstvima zgrada, Službeni glasnik RS, Br. 61/11, str. 8.
- [12] Republički hidrometeorološki zavod Srbije, Osnovne klimatske karakteristike teritorije Srbije, (pristupljeno 25 oktobra 2012).