

## ANALIZA ENERGETSKIH I EKONOMSKIH POKAZATELJA ENERGETSKE SANACIJE - STUDIJA SLUČAJA STAMBENOG OBJEKTA U PETROVCU NA MLAVI

Marina Nikolić Topalović<sup>1</sup>, Milan Blagojević<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Akademija tehničko umetničkih strukovnih studija Beograd, Odsek Građevinsko geodetski,  
Hajduk Stankova 2, 11000 Beograd, Srbija, [mntopalovic@vgs.rs](mailto:mntopalovic@vgs.rs)

<sup>2</sup> Master ing strukovnih studija SZR MICOMS, Zahumska 43, 11000 Beograd, Srbija,  
[micomsm@gmail.com](mailto:micomsm@gmail.com)

### SAŽETAK

U sprovedenom istraživanju se analizira energetska i ekonomska aspekt primenjenih mera na energetske sanaciji individualnog stambenog objekta u Petrovcu na Mlavi i dimenzionisanje elemenata termičke opne, koristeći metodologiju propisanu Pravilnikom o energetske efikasnosti zgrada (Ministarstvo građevinarstva Republike Srbije, 2011) softverski paket URSA građevinska fizika 2, u cilju unapređenja postupka odabira materijala za utopljanje termičke opne zgrade. Ekonomska analiza predloženih mera se bazira na dva elementa, prvi je cena za pojedine pozicije radova, materijala i radne snage, a drugi aspekt je period povraćaja investicije uložene u energetske sanacije. Istraživanje pokazuje da se u fazi izrade elaborata energetske efikasnosti za projekat energetske sanacije zgrada, mogu napraviti značajne uštede u finansijskim troškovima da se postojeći objekta iz energetskog razreda E, posle sanacije prevedu u energetske razred C. Istraživanje pokazuje da je moguće kombinovanjem energetske i ekonomske analize identifikovati koja varijanta energetske sanacije daje najbolje ekonomske efekte, u smislu trenutne cene ali i najbržeg povraćaja investicije. U tom smislu je moguće napraviti uštede od 3,30% do 14,69% u investiranju u predložene radove, kroz odabir materijala koji se planiraju u sklopu termičke opne. Povećanje investicije uložene u energetske sanacije može biti ostvaren za 21,62 godine. Energetskom sanacijom je potreba za energijom za grejanje objekta na godišnjem nivou smanjena za 31,60%.

**Ključne reči:** energetska efikasnost, termo izolacioni materijali, ekonomska analiza, ekološki uticaji.

### UVOD

Zgrade i izgradnja zajedno troše 36% finalne energije na globalnom nivou i proizvode 39% ugljen-dioksida (Global Footprint, 2017). Da bi se ispunili globalni klimatski ciljevi utvrđeni Pariskim sporazumom intenzitet potrošnje energije po kvadratnom metaru (m<sup>2</sup>) zgrada treba smanjiti za 30% do 2030. god., u poređenju sa 2015. godinom (Global Footprint, 2017). Zbog toga je neophodno postojeći građevinski fond, izgrađen pre donošenja propisa o energetske efikasnosti zgrada, u skorijoj budućnosti energetske sanirati.

Prvi propisi u oblasti energetske efikasnosti u Srbiji usvojeni su 1970. godine. Do donošenja ovog pravilnika bilo je izgrađeno oko 50% stambenog fonda Republike Srbije (Ministarstvo životne sredine, rudarstva i prostornog planiranja Republike Srbije, 2002) Prema obimnoj studiji o porodičnim kućama Srbije, 55% stambenog fonda je izgrađeno zaključno sa 1970. godinom (Jovanović Popović i sar., 2012). Od celokupnog građevinskog fonda 87,35% stambenih objekata u Republici Srbiji čine objekti individualnog stanovanja (Jovanović Popović i sar., 2012).

U Republici Srbiji je 2011.godine usvojena regulativa o energetske efikasnosti zgrada (Ministarstvo građevinarstva Republike Srbije, 2012), sa obavezom primene od 2012.god., kojom se propisuje obaveza energetske rangiranja, i minimalni energetske razred za sve nove zgrade, na osnovu potrošnje energije za komforno korišćenje. Prema važećoj legislativi energetske rangiranje se vrši na osnovu potrebne energije za komforno korišćenje zgrade obračunato u kWh/m<sup>2</sup>

površine. Osim novih zgrada usvojena regulativa se odnosi i na energetske saniranje postojećeg građevinskog fonda, i njegovo energetske rangiranje. Potrošnja energije u građevinskom sektoru Republike Srbije 2011. godine je iznosila 41% (Energy balance of the Republic of Serbia, 2014) ukupne potrošnje. Više od 50% ekološkog otiska Srbije potiče od produkcije CO<sub>2e</sub> (Global Footprint, 2017).

Potreba za uštedama u potrošnji energije nameću potrebu za energetske sanacijom postojećeg građevinskog fonda. U tom postupku potrebno je iznaći racionalne i ekonomski opravdane metode, sa prihvatljivim rokovima za povraćaj uloženi sredstava za energetske sanaciju zgrada.

U cilju smanjenja uticaja iz građevinskog sektora, predlaže se, primena metodologije kojom se prilikom odabira, termo izolacionog materijala kojom se predlaže utopljanje termičkog omotača zgrade koristi osim energetske i ekonomski aspekt pri donošenju odluke koji materijal je najpovoljniji za energetske sanaciju sa energetske ali i ekonomski aspekt.

## **CILJ ISTRAŽIVANJA**

Najčešće se energetske sanacije objekata otpočinje sa dodavanje slojeva termo izolacije na fasadnim zidovima, uz zamenu dotrajale fasadne stolarije. Osim energetske sanacije termičkog omotača mere koje se najčešće predlažu su: zamena rasvete sa energetske efikasnijom, zamena sistema za grejanje i zamena dotrajalih kućnih aparata sa novim koji troše manje energije za rad. Namera je da se kroz istraživanje ukaže na mogućnost poboljšanja metodologije izrade projekata energetske sanacije postojećih objekata, kombinovanjem energetske i ekonomski aspekti energetske sanacije.

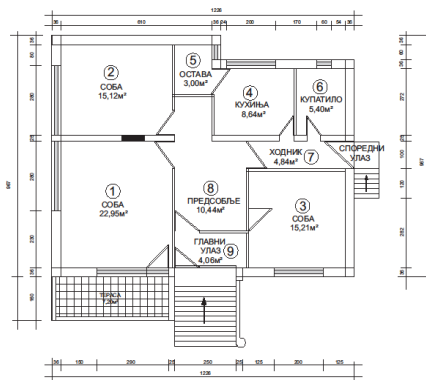
Cilj ovog rada je usklađivanje primene različitih termo izolacionih materijala koji se mogu koristiti u procesu energetske sanacije sa optimalnim investicionim ulaganjem u sam proces kako bi se dobio energetske efikasne objekat i kako bi se mogao proceniti vremenski period povraćaja investicije. Projektovanje novih građevinskih objekata, kao i planiranje sanacije postojećih, jednim svojim delom obuhvata primenu propisa iz oblasti energetske efikasnosti (Ministarstvo građevinarstva Republike Srbije, 2011). Česta je pojava da se investitori, vodeći se aktuelnim trendovima odlučuju za skupe materijale kako bi objekat učinili atraktivnim a samim tim i skupljim. Glavni cilj ovog rada je usklađivanje primene različitih termo izolacionih materijala koji se mogu koristiti u procesu energetske sanacije sa optimalnim investicionim ulaganjem u sam proces kako bi se dobio energetske efikasne objekat i kako bi se mogao proceniti vremenski period povraćaja investicije. Namera je da se kroz rad prikaže da se pažljivim odabirom termo izolacionog materijala mogu napraviti značajne uštede u investiranju u energetske sanaciju, a da pri tome zahtevi koji se postavljaju sa aspekta termičkih karakteristika i energetske potreba objekta budu u potpunosti zadovoljeni.

## **PREDMET ISTRAŽIVANJA**

U radu se analizira energetske sanacije postojećeg objekta u Petrovcu na Mlavi, izgrađenog polovinom 60-tih godina. Istraživanje je rađeno polovinom 2021. godine, radi energetske sanacije objekta. Za potrebe istraživanja su napravljena četiri modela energetske sanacije individualnog stambenog objekta, sa energetske i ekonomski aspekti investicije.

Osnova objekta na kome je rađeno istraživanje i izvod iz katastra prikazani su na Slici 1. Izgledi iz pravca ulice i dvorišta, prikazani su na Slici 2.

Vrste termo izolacionih materijala, sa proizvodnim nazivima, koji su analizirani u istraživanju, su prikazani u Tabeli 1, kao i oznaka modela u kojima se ti termo izolacioni materijali koriste u strukturi termičkog omotača. Treba naglasiti da se predloženi termo izolacioni materijali često primenjuju za energetske sanaciju postojećih objekata i da se nalaze u trgovinskim lancima radnji u kojima se plasiraju građevinski materijali i proizvodi u Republici Srbiji.



Slika 1. Izvod iz katastra i osnova objekta u Petrovcu na Mlavi.

Figure 1. Extract from the cadastre and the foundation of the building in Petrovac na Mlava.



Slika 2. Izgled objekta iz pravca ulice i dvorišta.

Picture 2. View of the building from the direction of the street and yard.

Tabela 1. Pregled termo izolacionih materijala koji se analiziraju za potrebe energetske sanacije objekta.

Table 1. Overview of thermal insulation materials that are analyzed for the needs of the building's energy rehabilitation.

Vrsta termo izolacije	Proizvodni naziv	Model
Stiropor 10 cm	Maxitherm MF 100	MC 1, MC 2
Stirodur 12 cm	Austrotherm XPS-30/120	MC 1, MC 3
Mineralna vuna 15cm	URSA SF34	MC 1, MC 2, MC 3, MC 4
Kamena vuna 10cm	Knauf FKD-N Thermal	MC 3, MC 4
Kamena vuna 12 cm	Knauf FKD-N Thermal 2	MC 2, MC 4

## METODOLOGIJA

Metodologija koja se koristi u istraživanju je uporedna komparativna analiza, napraviće se proračun ulaznih podataka za termo izolacione materijale koji se najčešće koriste za energetske sanaciju fasadnih zidova, podova i krovova. U istraživanju se koriste podaci o cenama termo izolacionih materijala u maloprodajnim objektima i ugradnju u vreme kada je istraživanje rađeno, a to je septembar mesec 2021. godine, kako bi se sagledalo koja je varijanta najpovoljnija za investitora.

U tom smislu su formirana četiri modela za koja je bilo potrebno uz pomoć programskog paketa URSA građevinska fizika 2, proračunati ukupni i pojedinačni uticaj mera energetske sanacije, na potrošnju primarne energije potrebne za grejanje objekta individualne stambene zgrade u Petrovcu na Mlavi.

U okviru rada, će se razmatrati varijante energetske sanacije sa stanovišta primene predloženim termo izolacionih materijala i sa aspekta ekonomske rentabilnosti ukupnog predloženog investiranja, kako bi se pružila podrška u donošenju investitorske odluke za sanaciji rekonstrukciju postojećeg stambenog objekta, koja će omogućiti smanjenje potrošnje energije u narednom periodu. Istraživanjem se nastoji odrediti i vremenski period u kome se očekuje povraćaj uložene investicije, što je još jedan od bitnih ciljeva ekonomske analize.

Aktivnostikoje kroz koje je rađeno istraživanje možemo podeliti na nekoliko faza:

- Obilazak objekta kako bi se izvršilo snimanje objekta, obzirom da nema tehničke dokumentacije.
- Uraditi detaljan pregled objekta kako bi se što bolje sagledala oštećenja nastala usled višegodišnjeg neodržavanja. Obavezna provera nosivosti konstrukcije i njenih elemenata.
- Na osnovu izmerenih dimenzija napraviti tehničke crteže objekta, projekt na osnovu koga se može uraditi kvalitetan predmer radova.
- Napraviti predmer radova iz koga će biti urađeni predračuni radova sa detaljnom specifikacijom materijala u skladu sa dinamikom izvođenja radova na energetske sanaciji objekta.
- Pomoću softvera URSA-građevinska fizika 2, uraditi potrebne simulacije za energetske analizu iz koje će u kasnijoj fazi biti urađena ekonomska analiza (Softver URSA, 2022).

Ekonomska analiza po zadatim kriterijumima koja će pokazati koji od predloženih modela energetske sanacije ima najbolje pokazatelje.

### **Metodologija za energetske aspekt**

Važno je napomenuti da se sve mere unapređenja energetske svojstava građevinskog objekta ne baziraju na bilo kakvom odricanju korisnika od uobičajene komforne upotrebe objekta, već povećavaju efikasnost upotrebe koja vodi povećanju kvaliteta života korisnika i smanjenju potrebne energije za zagrevanje objekta. Proračuni koje je potrebno uraditi u svemu su prema važećim propisima (Ministarstvo građevinarstva Republike Srbije, 2011) po metodologiji koja je bila primenjena u drugim radovima (Dašić, 2015; Nelki i Zdravković, 2016) i pomoću kojih će biti izračunate potrebne debljine svakog termičkog sklopa posebno, tako da su zadovoljeni propisi. Materijali koji se analiziraju imaju odgovarajuće ateste referentne ustanove Instituta za ispitivanje materijala Srbije.

U okviru istraživanja analizirani su najbitniji delovi termičkog omotača, spoljni zidovi, spoljni otvori vrata i prozori, krovna konstrukcija i podna konstrukcija, koji predstavljaju mesta energetske sanacije. Značajan deo energetske sanacije je i zamena sistema grejanja, koji je sastavni deo energetske sanacije objekta ali je on predmet drugog istraživanja.

Proračun toplotnih dobitaka i gubitaka, kao i celokupni elaborat energetske efikasnosti za svaki od formiranih modela rađeni su u softverskom paketu URSA – građevinska fizika 2, koji je u skladu sa nacionalnom regulativom u oblasti energetske efikasnosti u Republici Srbiji.

Formirani su modeli kombinacijom sledećih termo izolacionih materijala u strukturi termičkog omotača zgrade. Tabela 1. daje prikaz termo izolacionih materijala koji se dodaju na fasadni zid, pod, ili u strukturi krovne konstrukcije, u postupku izrade projekta energetske sanacije objekta individualnog stanovanja u Petrovcu na Mlavi.

Za potrebe istraživanja, objekat je podeljen na četiri sklopa koji treba da budu analizirani. Termički sklop: M1 (fasadni zid), M2 (kosi krov), M3 (podna konstrukcija) i M4 (fasadna stolarija). Fasadni zid M1 je analiziran u dve varijante, sa različitim termo izolacionim materijalima (stiroporom, ili kamenom vunom.) koji se dodaju na već postojeći fasadni zid koji je potrebno energetske sanirati a da pri tome budu ispunjeni propisani zahtevi. Termički sklop M3

(podna konstrukcija), takođe je analiziran u dve varijante sa različitim termo izolacionim materijalima (Stirodurom ili Kamenom vunom) koji se dodaju na već postojeću ploču poda. Termički sklop M2 (kosi krov) je u svim formiranim modelima energetske saniran primenom termo izolacije od mineralne vune u debljini od 15 cm. Termički sklop M4 (fasadna stolarija) je takođe u svim formiranim modelima isti a to su PVC fasadna stolarija petokomorni profil, staklo niskoemisiono 4+12+4, kao i ulazna vrata sa termoispunom. Za istraživanje su formirana četiri modela, MC 1 (zid: stiropor + pod: stirodur), MC 2 (zid: stiropor + pod: kamena vuna), MC 3 (zid: kamena vuna + pod: stirodur) i MC 4 (zid: kamena vuna + pod: kamena vuna). Pre primene mera energetske sanacije godišnja potrošnja primerne energije za grejanje je bila oko 12.500 kWh/god.

### Metodologija za finansijski aspekt

U drugom delu rada urađena je ekonomska analiza primenjenih mera za svaki od analiziranih termo izolacionih materijala, jer je osim energetske svojstava bitan i ekonomski aspekt. Takav odabir skraćuje vreme otplate investicije. Ekonomski deo analize biće rađen metodologijom koja je bila primenjena prilikom sličnih analiza (Ilić, 2015). Osim cene termo izolacionog materijala koji se nalazi u termičkom sklopu računa se i doprinos energetske sanaciji koji nastaje od izvedenih radova.

Formule koje se koriste za ekonomsku analizu:

$I_0$  - investicija, [€]

$B$  - godišnja neto ušteda

$$B = S \times E \pm \Delta O \& M \quad [€a^{-1}] \quad (1)$$

$S_i$  - ušteda energije po godini

$$S_i = E_{prim,o} - E_{prim,i} \quad [kWha^{-1}] \quad (2)$$

$n$  - ekonomski vek trajanja, usvaja se 30 godina

$r$  - realna kamatna stopa,  $\times 100$ [%]

$$r = (n \times r - b) / (b + 1) \quad (3)$$

Period otplate, [godina]

$$\text{Period otplate} = I_0 / B$$

NVP - Neto sadašnja vrednost, [€]

$$NVP = B \times ((1 - (1 + r)^{-n}) / r) - I_0 = 0 \quad (4)$$

$K_{es}$  - koeficijent energetske sanacije, [kWh/god.x €]

$$K_{es} = (E_{prim,0} - E_{prim,i}) / (I_0, i) = S_i / I_0, i \quad (5)$$

## REZULTATI I DISKUSIJA

### Rezultati energetske mere sanacije

Za svaki od formiranih modela su izračunate vrednosti koeficijenta prolaza toplote  $U(W/m^2)$  termo sklopa, M1, M2, M3 i M4, kako bi taj prvi i osnovni uslov mogao biti zadovoljen prema važećoj legislativi u energetske sanaciji. Za svaki model je izračunata godišnja potrebna primarna energija za grejanje objekta. Prikaz rezultata proračuna koeficijenta prolaza toplote  $U(W/m^2)$  za model MC 1 i godišnje energije za grejanje Tabela 2.

Tabela 2. Prikaz rezultata proračuna koeficijenta prolaza toplote za model MC 1 i godišnje energije za grejanje.

Table 2. Presentation of the calculation results of the heat transfer coefficients for the MC 1 model and annual heating energy.

Termo sklop	Termo izolacioni material u sklopu	U (W/m <sup>2</sup> )	U <sub>max</sub> (W/m <sup>2</sup> )	Energetske potrebe modela MC 1 (kWh/god)
M1	Stiropor 10 cm	0,30	0,40	
M2	Ursa SF 34	0,208	0,40	
M3	Stirodur 12 cm	0,28	0,30	
M4	5-to komorni PVC profil, prozorsko staklo niskoemisiono 4+12+4	1,37	1,50	
Ukupno potrebno energije za ceo model MC 1				8585,00 (kWh/god)

Prikaz rezultata proračuna koeficijenta prolaza toplote  $U(W/m^2)$  za model MC 2 i godišnje energije za grejanje Tabela 3.

Tabela 3. Prikaz rezultata proračuna koeficijenta prolaza toplote za model MC 2 i godišnje energije za grejanje.

Table 3. Presentation of the calculation results of the heat transfer coefficients for the MC 2 model and annual heating energy.

Termo sklop	Termo izolacioni material u sklopu	U (W/m <sup>2</sup> )	U <sub>max</sub> (W/m <sup>2</sup> )	Energetske potrebe modela MC 2 (kWh/god)
M1	Stiropor 10 cm	0,30	0,40	
M2	Ursa SF 34	0,208	0,40	
M3	Kamena vuna 12 cm	0,27	0,30	
M4	5-to komorni PVC profil, prozorsko staklo niskoemisiono 4+12+4	1,37	1,50	
Ukupno potrebno energije za ceo model MC 2				8550,00 (kWh/god)

Prikaz rezultata proračuna koeficijenta prolaza toplote  $U(W/m^2)$  za model MC 3 i godišnje energije za grejanje Tabela 4.

Tabela 4. Prikaz rezultata proračuna koeficijenata prolaza toplote za model MC 3 i godišnje energije za grejanje.

Table 4. Presentation of the calculation results of heat transfer coefficients for the MC 3 model and annual energy for heating.

<b>Termo sklop</b>	<b>Termo izolacioni material u sklopu</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>U<sub>max</sub> (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Energetske potrebe modela MC 3 (kWh/god)</b>
M1	Kamena vuna 10 cm	0,29	0,40	
M2	Ursa SF 34	0,208	0,40	
M3	Kamena vuna 12 cm	0,28	0,30	
M4	5-to komorni PVC profil, prozorsko staklo niskoemisiono 4+12+4	1,37	1,50	
Ukupno potrebno energije za ceo model MC 3				8380,00 (kWh/god)

Prikaz rezultata proračuna koeficijenata prolaza toplote U(W/m<sup>2</sup>) za model MC 4 i godišnje energije za grejanje Tabela 5.

Tabela 5. Prikaz rezultata proračuna koeficijenata prolaza toplote za model MC 4 i godišnje energije za grejanje.

Table 5. Presentation of the calculation results of heat transfer coefficients for the MC 4 model and annual energy for heating.

<b>Termo sklop</b>	<b>Termo izolacioni material u sklopu</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>U<sub>max</sub> (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Energetske potrebe modela MC 4 (kWh/god)</b>
M1	Kamena vuna 10 cm	0,29	0,40	
M2	Ursa SF 34	0,208	0,40	
M3	Kamena vuna 12 cm	0,27	0,30	
M4	5-to komorni PVC profil, prozorsko staklo niskoemisiono 4+12+4	1,37	1,50	
Ukupno potrebno energije za ceo model MC 4				8415,00 (kWh/god)

Posle primenjenih mera energetske sanacije godišnja potrošnja energije za grejanje objekta je sa 12.500,00 kWh/god., smanjena na vrednosti od 8.380,00 do 8.585,00 kWh/god. Prikaz rezultata procenta mogućeg smanjenja potrošnje energije za analizirane modele prikazan je u Tabeli 6. Procentat smanjenja potrošnje energije posle energetske sanacije je između 31,32% i 32,96%.

Tabela 6. Prikaz rezultata procenta moguće uštede u odnosu na potrošnju pre energetske sanacije.  
 Table 6. Presentation of the results of the percentage of possible savings in relation to consumption before energy rehabilitation.

<b>Model</b>	<b>Energetske potrebe modela (kWh/god)</b>	<b>Razlika u odnosu na potrošnju energije pre energetske sanacije 12.500,00 (kWh/god)</b>	<b>Procenat smanjenja (%)</b>
MC 1	8585,00	3915,00	31,32%
MC 2	8550,00	3950,00	31,60%
MC 3	8380,00	4120,00	32,96%
MC 4	8415,00	4085,00	32,68%

### **Rezultati ekonomske analize primenjenih mera energetske sanacije**

Posle uslova koji se postavljaju sa aspekta propisa energetske efikasnosti urađena je analiza ekonomskih pokazatelja za svaki od formiranih modela. Prikaz rezultata proračuna koštanja termo izolacije za termičke sklopove za model MC 1, Tabela 7.

Tabela 7. Prikaz rezultata proračuna koštanja termo izolacije za model MC 1 i ukupnih cena radova.  
 Table 7. Presentation of the results of the thermal insulation cost calculation for the MC 1 model and the total prices of the works.

<b>Termo sklop</b>	<b>Površina (m2)</b>	<b>Termo materijal</b>	<b>izolacioni</b>	<b>Jedinična materijala (din/m2)</b>	<b>cena</b>	<b>Ukupna cena (din)</b>	<b>TI</b>
M1	163,00	Stiropor 10 cm		650,00		105.950,00	
M2	145,00	Ursa SF 34		3.360,00		487.200,00	
M3	90,00	Stirodur 12 cm		1.900,00		171.000,00	
M4	20,85	5-to komorni PVC profil, prozorsko staklo niskoemisiono 4+12+4		14.400,00		300.240,00	
Ukupna cena TI za model MC 1						1.064.390,00	

Prikaz rezultata proračuna koštanja termo izolacije za termičke sklopove za model MC 2, Tabela 8.

Tabela 8. Prikaz rezultata proračuna koštanja termo izolacije za model MC 2.  
 Table 8. Presentation of the results of thermal insulation cost calculations for the MC 2 model.

<b>Termo sklop</b>	<b>Površina (m2)</b>	<b>Termo izolacioni materijal</b>	<b>Jedinična cena materijala (din/m2)</b>	<b>Ukupna cena pozicije (din)</b>
M1	163,00	Stiropor 10 cm	650,00	105.950,00
M2	145,00	Ursa SF 34	3.360,00	487.200,00
M3	90,00	Kamena vuna 12 cm	1.460,00	171.000,00
M4	20,85	5-to komorni PVC profil, prozorsko staklo niskoemisiono 4+12+4	14.400,00	300.240,00
Ukupna cena za model MC 2				1.024.790,00



Prikaz rezultata proračuna koštanja termo izolacije za termičke sklopove za model MC 3, Tabela 9.

Tabela 9. Prikaz rezultata proračuna cene koštanja za model MC 3.  
Table 9. Presentation of the cost price calculation results for the MC 3 model.

<b>Termo sklop</b>	<b>Površina (m2)</b>	<b>Termo izolacioni materijal</b>	<b>Jedinična cena materijala (din/m2)</b>	<b>Ukupna cena pozicije (din)</b>
M1	163,00	Kamena vuna 10 cm	1.490,00	242.870,00
M2	145,00	Ursa SF 34	3.360,00	487.200,00
M3	90,00	Stirodur 12 cm	1.900,00	171.000,00
M4	20,85	5-to komorni PVC profil, prozorsko staklo niskoemisiono 4+12+4	14.400,00	300.240,00
Ukupna cena za model MC 3				1.201.310,00

Prikaz rezultata proračuna koštanja termo izolacije za termičke sklopove za model MC 4, Tabela 10.

Tabela 10. Prikaz rezultata proračuna cene koštanja za model MC 4.  
Table 10. Presentation of the cost price calculation results for the MC 4 model.

<b>Termo sklop</b>	<b>Površina (m2)</b>	<b>Termo izolacioni materijal</b>	<b>Jedinična cena materijala (din/m2)</b>	<b>Ukupna cena pozicije (din)</b>
M1	163,00	Kamena vuna 10 cm	1.490,00	242.870,00
M2	145,00	Ursa SF 34	3.360,00	487.200,00
M3	90,00	Kamena vuna 12 cm	1.490,00	131.400,00
M4	20,85	5-to komorni PVC profil, prozorsko staklo niskoemisiono 4+12+4	14.400,00	300.240,00
Ukupna cena za model MC 4				1.161.710,00

Iz prethodnih rezultata uočavamo da je model MC 3 najveća investicija, a model MC 2 najniža investicija. Prikaz rezultata proračuna procenta moguće uštede u odnosu na model MC 3, Tabela 11.

Tabela 11. Prikaz rezultata procenta moguće uštede u odnosu na model MC 3 koji je najviša investicija.  
Table 11. Presentation of the results of the percentage of possible savings in relation to the MC 3 model, which is the highest investment.

<b>Model</b>	<b>Vrednost investicije za energetska sanaciju zgrade</b>	<b>Razlika u odnosu na model MC 3 (najveća investicija)</b>	<b>Procentat uštede (%)</b>
MC 1	1.064.390,00	136.920,00	11,40%
MC 2	1.024.790,00	176.520,00	14,69%
MC 3	1.201.310,00	0,00	0,00%
MC 4	1.161.710,00	39.600,00	3,30%

Istraživanje pokazuje da je model MC 2 finansijski najpovoljniji. Sa cenom koja je 14,69% niža od najskupljeg modela MC 3. Analiziranjem termičkih i ekonomskih pokazatelja energetske sanacije objekta u Petrovcu na Mlavi je pokazalo da je osim aspekata energetske efikasnosti, uz sve predviđene mere u smislu ostvarenih zahteva koji se moraju ispuniti u postupku energetske sanacije i postizanja energetskog razreda „C“, mogu prepoznati modeli koji su finansijski povoljniji i kao takvi predložiti. Istraživanje pokazuje da je model MC 2 finansijski najpovoljniji. Model MC 2 u strukturi termičkog omotača na fasadnim zidovima ima stiropor od 10cm, a u slojevima poda je predviđena termo izolacija od 12cm kamene vune. U krovnoj konstrukciji u ovom modelu je 15cm mineralne vune, kao i u ostalim modelima, fasadna stolarija je od PVC petokomornih profila, zastakljena niskoemisionim staklo paketom 4+12+4, što je primenjeno u svim ostalim modelima.

Sa aspekta uštede u potrošnji energije za grejanje najveći doprinos je donela sanacija termičkog omotača, zatim sanacija sistema za grejanje i sanacija stolarije koja je sa najmanjim procentom učešća. Prikaz rezultata vrednosti Koeficijenta energetske sanacije za svaki od analiziranih modela prikazan je u Tabeli 12.

Tabela12. Prikaz vrednosti Koeficijenta energetske sanacije Kes, za svaki od analiziranih modela.  
 Table 12. Display of the value of the Coefficient of energy rehabilitation Kes, for each of the analyzed models.

<b>Model</b>	<b>Uložena sredstva u energetska sanaciju termičkog omotača modela</b>	<b>Kes</b>
MC 1	1.064.390,00	22,66
MC 2	1.024.790,00	21,62
MC 3	1.201.310,00	24,30
MC 4	1.161.710,00	23,70

Ako posmatramo ekonomski efekat od uloženi sredstava, najveći doprinos uštedi energije ima sanacija termičkog omotača objekta. To pokazuje najveći Koeficijent energetske sanacije Kes-odnos ostvarene uštede potrebne energije za grejanje na godišnjem nivou i uloženi sredstava za energetska sanaciju.

Potrošnja energije za grejanje objekta na godišnjem nivo pre energetske sanacije je iznosila približno 12.500,00 kWh/god. Posle energetske sanacije potrebna energija za grejanje je smanjena u analiziranim modelima nalazi od: 8.415, 8.380, 8.550 do 8.585 kWh/god. Što je ušteda od 31,6%.

Ekonomska analiza je pokazala da se odabirom termo izolacionog materijala u strukturi termičkog omotača može ostvariti ušteda od 3,30%, 11,40% do 14,69%, ako se posmatra trenutno ulaganje u investiciju utopljanja analiziranog objekta.

Pokazatelji za povraćaj investicije u narednom periodu eksploatacije objekta pokazuju da se može očekivati povraćaj investicije za 21,62 godine. Posle tog perioda investicija uložena u utopljanje termičkog omotača i fasadne stolarije će početi da donosi ekonomsku dobit na godišnjem nivou. Obzirom da je životni vek primenjenih materijala duži od izračunatog perioda povraćaja investicije, ova energetska sanacija je opravdana. Cena fasadne stolarije je visoka u Republici Srbija, a cena električne energije među najnižim u regionu i šire. Da cena električne energije, kao socijalne kategorije, nije tako niska povraćaj investicije bi bio još duži i približio bi se životnom veku termo izolacionih materijala, fasadne stolarije i ostalih radova na energetska sanaciji objekta, i u tom slučaju bi investicija bila neisplativa.

## **ZAKLJUČCI**

Iz sprovedenog istraživanja, u fazi izrade projekta se upotrebom softvera može napraviti procena koliki su uticaji od izabrane vrste termoizolacionog materijala i na osnovu toga i termičkih karakteritika napravi najbolji izbor. Poređenjem trenutne cene termoizolacionog materijala za

potrebe energetske sanacije se može predložiti najpovoljniji materijal sa ekonomskog aspekta- najjeftiniji materijal koji zadovoljava energetske zahteve. Rezultati ovog istraživanja mogu pomoći izvođačima i investitorima prilikom projektovanja i planiranja novih ili sanaciji starih objekata visokogradnje.

#### NAPOMENA

Rad je rezultat Primenjenog istraživačkog i Master rada odbranjenog: 13.04.2022. na ATUSS odsek Građevinsko geodetske škole strukovnih studija u Beogradu, Srbija

Studenta Master strukovnih studija ATUSS Milana Blagojevića. Mentor: dr Marina Nikolić Topalović.

#### LITERATURA

- Dašić, Lj. (2015). Praktični primer proračuna energetske efikasnosti zgrada u skladu sa važećim propisima. *Materijal sa predavanja održanih u okviru obuke kontinuiranog profesionalnog usavršavanja članova Inženjerske komore Srbije*. Preuzeto 09.06.2022. sa [http://www.ingkomora.org.rs/materijalpo/download/2015/LJ\\_Dasic\\_prakticni\\_primer\\_ee.pdf](http://www.ingkomora.org.rs/materijalpo/download/2015/LJ_Dasic_prakticni_primer_ee.pdf)
- Energy balance of the Republic of Serbia. (2014). Retrieved March 2, 2019, from [www.mre.gov.rs/.../EN%20BILANS%20ZA%2014](http://www.mre.gov.rs/.../EN%20BILANS%20ZA%2014).
- Global Footprint. (2017). Network today at an event at Oxford University, Retrieved May 10, 2020, from [https://www.footprintnetwork.org/2018/04/09/has\\_humanitys\\_ecological\\_footprint\\_reached\\_its\\_peak/](https://www.footprintnetwork.org/2018/04/09/has_humanitys_ecological_footprint_reached_its_peak/)
- Ilić, M. (2015). Revitalizacija arhitektonskih objekata primenom mera energetske sanacije na konkretnom primeru. *Materijal sa predavanja održanog u okviru obuke kontinuiranog profesionalnog usavršavanja članova Inženjerske komore Srbije*. Preuzeto 16.04.2015 sa [//www.ingkomora.org.rs/materijalpo/download/2015/Revitalizacija\\_Arhitektonskih\\_objekata.pdf](http://www.ingkomora.org.rs/materijalpo/download/2015/Revitalizacija_Arhitektonskih_objekata.pdf)
- Jovanović Popović, M., Ignjatović, D., Radivjević, A., Rajčić, A., Đukanović, LJ., Ćuković Ignjatović, N. i Nedić, M. (2012). *Atlas porodičnih kuća Srbije*. Arhitektonski fakultet Univerziteta u Beogradu. GIZ - Deutsche Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit, Beograd, Srbija.
- Ministarstvo građevinarstva Republike Srbije. (2011). Pravilnik o energetske efikasnosti zgrada, Službeni glasnik RS, 61/2011.
- Ministarstvo građevinarstva Republike Srbije. (2020). Pravilnik o uslovima, sadržini i načinu izdavanja sertifikata o energetske svojstvima zgrada, Službeni glasnik RS, 69/2012.
- Ministarstvo životne sredine, rudarstva i prostornog planiranja Republike Srbije. (2002). Studija stambenog sektora Srbije. Preuzeto 09.06.2022. sa <http://odrzivostanovanje.webs.com/Studija%20stambenog%20sektora%20Srbije.pdf>
- Nelki, D. i Zdravković, M. (2016). Energetski pregled, Beograd. *Materijal sa predavanja održanih u okviru obuke kontinuiranog profesionalnog usavršavanja članova Inženjerske komore Srbije*. Preuzeto 09.06.2022. sa [http://www.ingkomora.org.rs/materijalpo/download/2016/20160404\\_6789\\_energetski\\_pregled.pdf](http://www.ingkomora.org.rs/materijalpo/download/2016/20160404_6789_energetski_pregled.pdf)
- Softver URSA. (2022). Građevinska fizika 2. Preuzeto 09.06.2022. sa <https://www.ursa.rs/softver-gradevinska-fizika>

## **ANALYSIS OF ENERGY AND ECONOMIC INDICATORS OF ENERGY REHABILITATION - CASE STUDY OF THE RESIDENTIAL BUILDING IN PETROVAC NA MLAVI**

Marina Nikolić Topalović<sup>1</sup>, Milan Blagojević<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Academy of Technical and Art Applied Studies Belgrade, Department School of Civil Engineering and Geodesy, Hajduk Stankova 2, 11000 Belgrade, Serbia, [mntopalovic@vggs.rs](mailto:mntopalovic@vggs.rs)

<sup>2</sup>Master ing Applied Studies SZR MICOMS, Zahumska 43, 11000 Belgrade, Serbia, [micomsmb@gmail.com](mailto:micomsmb@gmail.com), [marinatopnik@gmail.com](mailto:marinatopnik@gmail.com)

### **ABSTRACT**

The conducted research analyses the energy and economic aspect of the applied measures on the energy rehabilitation of an individual residential building in Petrovac na Mlavi and the sizing of the elements of the thermal membrane. using the methodology prescribed by the Rulebook on energy efficiency of buildings (Official Gazette of RS No. 61/2011) software package URSA building physics 2. in order to improve the procedure for selecting materials for warming the thermal membrane of the building. The economic analysis of the proposed measures is based on two elements, the first is the price for individual positions of works, materials and labor, and the second aspect is the payback period of the investment used in energy rehabilitation. The research shows that in the phase of preparing energy efficiency studies for the project of energy rehabilitation of buildings, significant savings can be made in financial costs by transferring existing buildings from energy class E, after rehabilitation to energy class C. The research shows that combining energy and economic analysis identify which variant of energy rehabilitation gives the best economic effects, in terms of current price but also the fastest return on investment. In this sense, it is possible to make savings of 3.30% to 14.69% in investment in the proposed works, through the selection of materials planned within the thermal membrane. The increase of the investment used in energy rehabilitation can be realized in 11 years and 3 months. Energy rehabilitation has reduced the need for energy used in heating the building on an annual level by 31.60%.

**Keywords:** energy efficiency, thermal insulation materials, economic analysis, environmental impacts.