

Original scientific paper

*Ključne reči: ekonomska analiza; detaljni energetske pregled; energetska efikasnost; ekonomski pokazatelji; ukupni troškovi; period povrata investicije; troškovno optimalni nivo*

*Key words: economic analysis; detailed energy audit; energy efficiency; economic indicators; global cost, payback period, cost-optimal level*

**Branislav PETROVIĆ\***

\* *bpetrovic@mas.bg.ac.rs*

**Sandra KOVAČEVIĆ**

**Miloš BANJAC**

## **ANALIZA POKAZATELJA EKONOMSKE ISPLATIVOSTI MERA ENERGETSKE EFIKASNOSTI NA OSNOVU STANDARDA SRPS EN 15459-1:2017 U ODNOSU NA PROST PERIOD POVRATA INVESTICIJE**

## **ANALYSIS OF ECONOMIC INDICATORS FOR THE COST-EFFECTIVENESS OF ENERGY EFFICIENCY MEASURES BASED ON THE SRPS EN 15459-1:2017 STANDARD IN RELATION TO THE SIMPLE PAYBACK PERIOD**

*University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade*

*ORCID 0000-0002-2429-0642*

*University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade*

*ORCID 0009-0007-2567-6735*

*University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade*

*ORCID 0000-0001-8659-8581*

*U radu je na konkretnom primeru objekta Direkcije za vodne puteve u Beogradu sprovedena ekonomska analiza i isplativost mera energetske efikasnosti primenom metodologije definisane standardom SRPS EN 15459-1:2017. Za procenu ekonomske isplativosti primenjena su dva standardom definisana pokazatelja i to: ukupni trošak (Global Cost – CG) i diskontni period povrata investicije (Discounted Payback Period – DPB). Pored poređenja ova dva indikatora, koja uzimaju u obzir vremensku vrednost novca, izvršeno je i poređenje sa prostim periodom povrata investicije, koji se zbog svoje jednostavnosti često koristi u inženjerskoj praksi. Analiza je sprovedena na osnovu detaljnog energetskeg pregleda objekta, pri čemu su predložena tri paketa mera energetske efikasnosti, koja su analizirana sa proračunskim periodom od 25 godina. Rezultati pokazuju da paket mera P-2 ostvaruje najniži ukupni trošak, dok paket mera P-3 ima najkraći diskontni period povrata investicije. Uporedna primena ova dva dinamička ekonomska pokazatelja omogućava se preciznija procena ekonomske isplativosti mera energetske efikasnosti. Iako je je ukupan trošak standardom definisan kao referentni ekonomski pokazatelj, a diskontni period povrata investicije kao dopusni pokazatelj, odluka o tome koji je paket mera isplativiji zavisi od specifičnog cilja investicije – minimalni ukupni troškovi tokom analiziranog perioda ili brži period povrata investicije.*

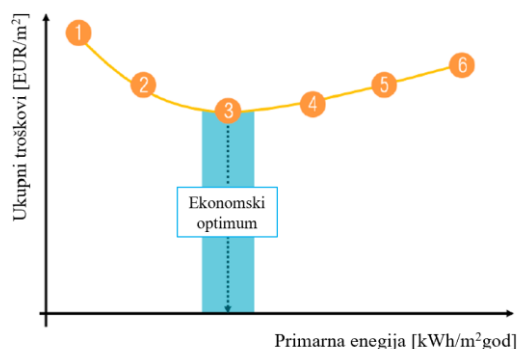
*The paper presents an economic analysis and assessment of the cost-effectiveness of energy efficiency measures conducted on a real case study —Building of the Directorate for Inland Waterways in Belgrade — using the methodology defined by the SRPS EN 15459-1:2017 standard. To evaluate the economic performance, two standard-defined indicators were applied: the Global Cost (CG) and the Discounted Payback Period (DPB). In addition to comparing these two indicators, which take into account the time value of money, the analysis also included a comparison with the simple payback period, which is often used in engineering practice due to its simplicity. The analysis was based on a detailed energy audit of the building, where three packages of energy efficiency*

measures were proposed and evaluated over a calculation period of 25 years. The results show that Package P-2 achieves the lowest total cost, while Package P-3 has the shortest discounted payback period. The application of both dynamic economic indicators enables a more accurate assessment of the cost-effectiveness of energy efficiency measures. Although the Global Cost is defined by the standard as the reference economic indicator, and the Discounted Payback Period as a complementary indicator, the decision on which package of measures is more cost-effective depends on the specific investment objective — whether the priority is the minimum total cost over the analysis period or the shortest payback period.

## 1. Uvod

U uslovima rastuće energetske nesigurnosti i rastućih klimatskih promena, racionalizacija potrošnje energije i energetska efikasnost postaju prioriteta u politikama mnogih država [1]. Sektor zgradarstva predstavlja jedan od najvećih potrošača energije, pri čemu u razvijenim zemljama ovaj sektor učestvuje sa oko 35–40% u ukupnoj potrošnji energije, dok je u Srbiji ovaj procenat veći i iznosi između 40 i 50% [2]. Ovi podaci nedvosmisleno pokazuju da upravo sektor zgradarstva ima veliki potencijal za postizanje energetske uštede. Polazna osnova za postizanje energetske uštede je sveobuhvatan energetski pregled zgrade, koji se sprovodi radi utvrđivanja postojećih energetske svojstava termičkog omotača objekta i stanja tehničkih sistema. Na osnovu sprovedene analize postojećeg nivoa energetske efikasnosti, predlažu se pojedinačne mere ili paketi mera za unapređenje energetske efikasnosti sa procenom energetske uštede, pa je za svaku meru/paket potrebno izvršiti, pored energetske kvantifikovanja i ekonomske ocenu isplativosti [3].

Polazna osnova za sprovođenje ekonomske analize zasniva se na zahtevima Direktive 2010/31/EU Evropskog parlamenta i Saveta od 19. maja 2010. o energetskim karakteristikama zgrada, kojom se propisuje da minimalni zahtevi za energetska svojstva zgrada budu definisani tako da obezbeđuju troškovno optimalan nivo, tj. najniži ukupan trošak tokom procenjenog ekonomskog veka zgrade (Slika 1) [4]. Kako je prikazano na slici, minimum krive predstavlja ekonomski optimum odnosno balans između početnih ulaganja u mere energetske efikasnosti i postignutog zadovoljavajućeg nivoa potrošnje primarne energije. Sa leve strane od ekonomskog optimuma, ukupni trošak raste usled većih početnih investicija u mere energetske efikasnosti u odnosu na ostvarene uštede, dok sa desne strane ukupni trošak takođe raste, ali zbog nedovoljno sprovedenih mera i posledično većih troškova energije tokom eksploatacije. Na oblik krive utiču geometrija zgrade, tehnički sistemi kao i cena energije, diskontna stopa i troškovi [5].



Slika 1. Opseg optimalnih troškova [4]

Iako postoje različite metode određivanja ekonomske isplativosti, za preliminarnu analizu se u praksi obično koristi metod prostog perioda povrata investicije, koji pokazuje vreme potrebno da se

ostvarene uštede u potrošnji energije tokom eksploatacije izjednače sa početnim investicionim troškovima – tj. za koliko vremena će se uložena sredstva povratiti [6]. Prost period povrata investicije (eng. *Simple Payback Period, SPB*) se koristi za pojednostavljen i preliminarni prikaz isplativosti investicije, naročito u početnoj fazi ekonomske analize i kada su bruto prilivi konstantni, izračunava se pomoću jednačine (1):

$$SPB = \frac{CO_{INT}}{CF} \quad (1)$$

u kojoj  $CO_{INT}$  predstavlja vrednost planiranih početnih ulaganja u investiciju, dok  $CF$  označava godišnje uštede.

Iako jednostavan za primenu, ovaj metod ne uzima u obzir vremensku vrednost novca, troškove zamene opreme, kao ni preostalu vrednost na kraju proračunskog perioda. S obzirom na to da je primena ove metode ograničena, za detaljniju finansijsku analizu isplativosti neophodno je primeniti dinamičke proračune koji se obično sprovode na godišnjem nivou i obuhvataju inflaciju i specifičan rast cena energije. Metodologija proračuna ekonomske analize koja se u ovom radu koristi za finansijsku analizu zasniva se na standardu SRPS EN 15459-1:2017 – Energetske karakteristike zgrada — Procedura za ekonomsku procenu energetske sistema u zgradama — Deo 1: Proračunske procedure, koji definiše postupak za proračun ekonomske efikasnosti energetske sistema i mera energetske efikasnosti u zgradama [7].

## 2. Opis metodologije i potrebni podaci za analizu

Ekonomska isplativost primenjenih mera energetske efikasnosti, u skladu sa standardom SRPS EN 15459-1:2017, ocenjuje se na osnovu referentnog pokazatelja koji se naziva ukupni trošak (eng. *Global Cost, CG*) i dopunskog pokazatelja koji se naziva diskontnog perioda povrata investicije (eng. *Discounted Payback Period, DPB*). Iako se u troškovi, u zavisnosti od vrste analize, mogu prikazivati i kao ekvivalentni godišnji trošak (eng. *Equivalent Annual Cost – EAC*), odnosno trošak sveden na godišnji nivo, ovaj način prikazivanja više nije predviđen važećim standardom [8]. U daljoj analizi, u skladu sa primenjenim standardom, koristi se proračun ukupnog troška ( $CG$ ), koji predstavlja neto sadašnju vrednost svih troškova koji nastaju tokom analiziranog vremenskog perioda, a po potrebi se određuje pojedinačno za svaku komponentu. Jednačina (2) definiše ukupni trošak ( $CG$ ) kao diskontovani zbir svih tipova troškova koji se uzimaju u obzir tokom referentnog perioda analize. Ovaj ekonomski pokazatelj omogućava poređenje pojedinačnih mera i paketa mera energetske efikasnosti sa aspekta njihove dugoročne isplativosti i ekonomske opravdanosti.

$$CG = CO_{INT} + \sum_j \left[ \sum_{i=1}^{TC} \left[ CO_{a(i)}(j) \cdot (1 + RAT_{xx(i)}(j)) + CO_{CO_2(i)}(j) \cdot D_f(i) + CO_{fin(TLS)}(j) - VAL_{fin(TC)}(j) \right] \right] \quad (2)$$

Ukupni trošak sastoji se od diskontovanih vrednosti početnih investicionih ulaganja  $CO_{INT}$ , godišnjih operativnih troškova  $CO_{a(i)}$  (potrošnja toplotne energije, električne energije, vode i troškovi održavanja), kao i troškova emisije ugljen-dioksida  $CO_{CO_2(i)}$  koji nastaju u svakoj godini analize. U slučajevima kada sistem proizvodi energiju, kao što je fotonaponski sistem, troškovi električne energije umanjuju se za prihode od sopstvene proizvodnje. Ukupnom iznosu ukupnog troška dodaju se i troškovi demontaže i odlaganja po isteku životnog veka komponente  $CO_{fin(TLS)}$ . Ovaj trošak izražava se kao procentualni udeo radova na demontaži, transportu i reciklaži komponenti nakon procenjenog životnog veka. Ukupni trošak obuhvata takođe i rezidualnu (preostalu) vrednost komponente ( $VAL_{fin(TC)}(j)$ ), koja se oduzima od ukupnog troška, jer predstavlja procenjenju vrednost preostale upotreblji-

vosti komponente  $j$  na kraju analiziranog perioda  $TC$ . Ova vrednost se određuje linearnom amortizacijom početne investicije (ili poslednjeg troška zamene), uz diskontovanje na početnu godinu ( $i=1$ ) primenom jednačine (3). Ukoliko obračunski period premašuje životni vek te komponente, za linearnu amortizaciju uzima se u obzir poslednji trošak njene zamene.

$$VAL_{fin(TC)}(j) = V_0(j) \cdot (1 + RAT_{pr})^{n \cdot LS(j)} \cdot \left[ \frac{t_{TC} - n \cdot LS(j)}{LS(j)} \right] \left( \frac{1}{1 + RAT_{disc}} \right)^t \quad (3)$$

Kao što je već napomnuto, svaki novčani tok u jednačini (2) diskontovanjem se svodi na početnu godinu analize. Pristup diskontovanja obezbeđuje vremensku uporedivost između različitih kategorija troškova i njihov uticaj na ukupan finansijski efekat analize. Diskontovanje za godinu  $i$  vrši se primenom diskontnog faktora iz jednačine (3), koji se određuje na osnovu broja godina  $t$  proteklih od početka analize i izabrane diskontne stope  $RAT_{disc}$ , koja omogućava poređenje vrednosti novca kroz vreme, izraženo u realnim cenama. U zavisnosti od kategorije troškova, diskontna stopa ( $RAT_{disc}$ ) može imati različite vrednosti, u skladu sa rastom cena energije, troškova rada, komponenti i drugih relevantnih faktora.

$$D_f(i) = \left( \frac{1}{1 + RAT_{disc}} \right)^t \quad (4)$$


Pored ukupnog troška, standard kao dopunski pokazatelj predlaže primenu diskontnog perioda povrata investicije, koji označava trenutak u kojem su ostvarene kumulativne diskontovane novčane uštede izjednačene sa investicionim troškovima. Ovaj ekonomski pokazatelj definiše godinu u kojoj investicija postaje ekonomski opravdana, a određuje se na osnovu godine u kojoj vrednost izraza iz jednačine (5) prvi put postaje pozitivna. Za analizirane pakete mera, diskontni period povrata investicije izračunava se sa vremenskim korakom od jedne godine, pri čemu se u proračunu uzima u obzir vremenska vrednost novca, kao i troškovi zamene tokom referentnog perioda.

$$DPB = \min \left( \frac{T}{\sum_{t=1}^T CF_t} \cdot \left( \frac{1}{1 + RAT_{disc}} \right)^t - CO_{INT} + CO_{INT,ref} \geq 0 \right) \quad (5)$$

U jednalini (5),  $T$  predstavlja dužinu povrata investicije u godinama,  $t$  trenutni broj godina,  $CF_t$  trošak u toku godine  $t$ ,  $RAT_{disc}$  diskontna stopa,  $CO_{INT}$  označava početni investicioni trošak analizirane mere ili paketa mera, dok  $CO_{INT,ref}$  predstavljala početni trošak koji ne obuhvata energetska sanaciju (npr. hitna sanacija krova ili troškovi koji proističu iz bezbednosnih zahteva).

### 3. Studija slučaja

Polazna osnova za sprovođenje ekonomske analize je izvršen detaljni energetska pregled zgrade Direkcije za vodne puteve u Beogradu. Detaljni energetska pregled obuhvatio je analizu postojećeg stanja objekta, tehničkih sistema, kao i potrošnje energije i vode, sa ciljem utvrđivanja mera za poboljšanje energetske efikasnosti i smanjenje troškova za energiju [9]. Polazni podaci za proračun (karakteristike objekta i režim korišćenja) utvrđeni su na osnovu pregleda postojećeg stanja objekta. Osnovni podaci o objektu prikazani su na Slici 2.

	Podaci o objektu	
	Adresa i mesto	Francuska 9, Beograd
	Katastarska parcela i opština	1689, Stari grad
	Vlasnik / pravni zastupnik	Državna svojina, Republika Srbija
	Godina izgradnje	1939.
	Neto korisna grejna površina $A_f$ [m <sup>2</sup> ]	1377,46

Energetski razred objekta ( $Q_{H,nd}$ )

Slika 2. Osnovni podaci o objektu

Za potrebe proračuna, godišnja potrebna energija za grejanje i hlađenje zgrade,  $Q_{H,nd}$  (kWh/a) i  $Q_{C,nd}$  (kWh/a), određene su u skladu sa standardom SRPS EN ISO 13790, metodom proračuna po mesecima (kvazistacionarna metoda izračunavanja energije potrebne za grejanje i energije potrebne za hlađenje zgrade) [10].

Dalji proračun uključuje ukupne godišnje potrebe za primarnom energijom tehničkih sistema zgrade, uključujući grejanje, hlađenje, ventilaciju, zagrevanje sanitarne tople vode (STV), rasvetu, pomoćnu energiju za tehničke sisteme i dr., za stvarne klimatske podatke i stvarni način korišćenja i rada tehničkih sistema zgrade. Proračun primarne energije i emisije CO<sub>2</sub> sproveden je u skladu sa Pravilnikom o faktorima konverzije finalne energije u primarnu i faktorima emisije ugljen-dioksida, koji propisuje vrednosti faktora konverzije i emisije za različite energente [11]. Ovim proračunom određena je godišnja (proračunska) potrošnja finalne energije, primarne energije i emisije CO<sub>2</sub>, koja je prikazana u Tabeli 1. Najveće učešće ima sistem grejanja (77,9% u finalnoj energiji, 64,7% u primarnoj energiji i 48,0% u emisiji CO<sub>2</sub>). Sledeći po učešću je sistem unutrašnje rasvete (13,2% u finalnoj energiji, 21,0% u primarnoj energiji i 31,0% u emisiji CO<sub>2</sub>), a zatim sistem hlađenja (4,4% u finalnoj energiji, 7,1% u primarnoj energiji i 10,5% u emisiji CO<sub>2</sub>). Najmanje učešće u potrošnji energije i emisiji CO<sub>2</sub> imaju sistem pripreme sanitarne tople vode (STV) i pomoćni uređaji u termotehničkim sistemima zgrade (Slika 3).

Validacija proračunatih vrednosti sprovedena je na osnovu referentnih podataka sa računa o potrošnji toplotne i električne energije, uz klimatsku normalizaciju i uvažavanje režima rada opreme. Svi ulazni podaci o realnoj potrošnji preuzeti su iz Informacionog sistema energetskog menadžmenta (ISEM).

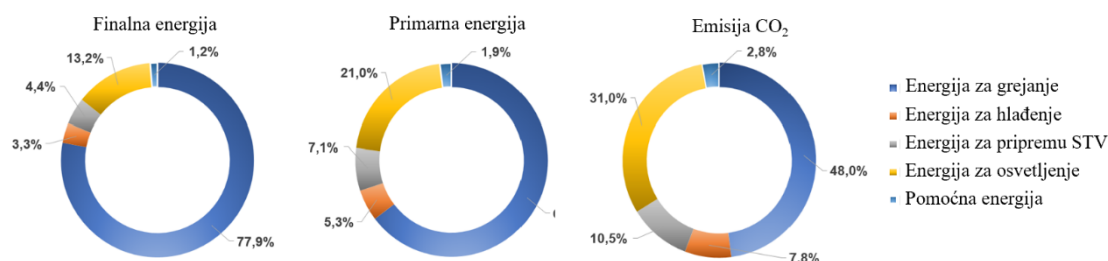
Slika 3. Učešće pojedinog tehničkog sistema u ukupnoj godišnjoj finalnoj energiji, primarnoj energiji i emisiji CO<sub>2</sub>

Tabela 1. Godišnje finalna energija, primarna energija i emisija CO<sub>2</sub>

Energent	Svrha/potošač	Godišnja finalna energija $E_{del}$ [kWh]	Faktor $f_p$	Godišnja primarna energija $E_{prim}$ [kWh]	Faktor CO <sub>2</sub> [kg/kWh]	Godišnja emisija CO <sub>2</sub> [kg]
Toplotna energija	Energija za grejanje	148970	1,563	232840	0,287	42754
Električna energija	Energija za hlađenje	6313	3,015	19034	1,099	6938
Električna energija	Energija za STV	8480	3,015	25567	1,099	9320
Električna energija	Energija za osvetljenje	25144	3,015	75809	1,099	27633
Električna energija	Pomoćna energija	2285	3,015	6889	1,099	2511
<b>Ukupno</b>		179583		360139		89156

Na osnovu sprovedenog detaljnog energetskog pregleda zgrade i analize postojećeg stanja i potencijala za poboljšanje, predlaže se ukupno 11 mera unapređenja energetske efikasnosti (Tabela 2). U istoj tabeli, pored vrednosti investicionih ulaganja pojedinačnih mera, prikazani su i njihov projektni životni vek u skladu sa empirijskim podacima, kao i specifični troškovi održavanja utvrđeni u skladu sa SRPS EN 15459-1:2017.

Za svaku pojedinačnu meru izvršen je proračun potrošnje finalne energije, primarne energije i emisije CO<sub>2</sub> (stanje nakon energetske sanacije). S obzirom na rezultate sprovedenih analiza pojedinačnih mera, predložena su tri paketa mera koja kombinuju sve ili samo neke od prethodno navedenih mera. Spisak mera uključenih u svaki paket mera, investiciona ulaganja u realizaciju predloženih paketa, stopa amortizacije i specifični troškovi održavanja dati su u tabeli 3. U tabeli 3 takođe je prikazana investiciona vrednost svakog pojedinačnog paketa mera.

U sva tri paketa dominantna investiciona stavka je prelazak sa lokalnih split-sistema na centralni sistem hlađenja. Troškovi održavanja se obračunavaju za mere M-2, M-3 i E-1. Paket mera 1 predstavlja najveće investiciono ulaganje, paket mera 2 je srednja opcija, dok paket mera 3 zahteva najmanja ulaganja.

Radi utvrđivanja finansijskih pokazatelja i opravdanosti primene optimalnog paketa mera energetske efikasnosti, izvršen je proračun ukupnog i specifičnog ukupnog troška, kao i diskontnog perioda povrata investicije. Ukupni trošak za svaki paket mera  $j$  određen je za period posmatranja projekta  $TC$  od 25 godina, na osnovu jednačine (2). Početne cene energije i vode, koje se koriste u finansijskoj analizi, prikazane su u narednoj tabeli 4.

Proračun ukupnog troška sproveden je sa varijabilnim cenama i povećanjem cena energenata iznad inflacije, kao rezultat specifičnih tržišnih odnosa, rastućih potreba i uvođenja novih tehnologija. Kao polazni podaci za troškovno-optimalnu analizu pretpostavljeno je da godišnja stopa povećanja cena i jediničnih troškova (iznad stope inflacije) energije i vode iznosi 2%, što predstavlja očekivane godišnje stope rasta cena energije u narednom periodu.

Opšta stopa poreza na dodatu vrednost (PDV) u Republici Srbiji iznosi 20%, dok se posebna stopa od 10% primenjuje na toplotnu energiju i vodu. Na potrošnju električne energije obračunava se akciza od 7,5%. Diskontna stopa koja se koristi u finansijskoj analizi iznosi 4%, u skladu sa preporukom Ministarstva finansija Republike Srbije [12].

*Tabela 2. Ukupna investiciona ulaganja u realizaciju predloženih mera, stopa amortizacije, specifični troškovi održavanja i životni vek mere*

Mera		Investiciono ulaganje (sa PDV-om)	Stopa amortizacije	Specifični troškovi održavanja	Životni vek mere
ID	Opis	EUR	-	%	god.
AG-1.1	Zamena drvene spoljne stolarije, u skladu sa uslovima nadležnog Zavoda za zaštitu spomenika kulture grada Beograda.	204782	0,033	0,00	30
AG-1.2	Zamena spoljne PVC stolarije na dvorišnim fasadama zgrade, u skladu sa uslovima nadležnog Zavoda za zaštitu spomenika kulture.	20339	0,033	0,00	30
AG-2.1	Nanošenje visokoeffikasnog termoizolacionog premaza na ulične fasade zgrade (fasade prema Francuskoj i Siminoj ulici), u skladu sa uslovima nadležnog Zavoda za zaštitu spomenika kulture.	57850	0,050	0,00	20
AG-2.2	Kompletna restauracija ulične fasade ka Francuskoj i Siminoj ulici, uz upotrebu visokotermozolacionih maltera, u skladu sa uslovima nadležnog Zavoda za zaštitu spomenika kulture grada Beograda.	71645	0,050	0,00	20
AG-3	Postavljanje termoizolacije na dvorišnoj fasadi, u skladu sa uslovima Zavoda za zaštitu spomenika kulture grada Beograda.	9947	0,050	0,00	20
AG-4	Postavljanje termoizolacije na međuspratnoj konstrukciji ka negrejanom podrumu.	11181	0,025	0,00	40
AG-5	Postavljanje termoizolacije na međuspratnoj konstrukciji – karatavan, na delu ka negrejanom tavanom prostoru.	12697	0,025	0,00	40
M-1	Postavljanje termoizolacije i reflektujuće termoizolacione folije iza radijatora sa unutrašnje strane spoljašnjih zidova.	1065	0,050	0,00	20
M-2	Zamena lokalnih split-sistema za hlađenje centralnim sistemom za hlađenje.	173899	0,050	4,00	20
M-3	Zamena ručnih radijatorskih ventila termoregulatornim ventilima.	2840	0,067	1,33	15
E-1	Zamena svih neonskih, inkandescentnih i drugih sijalica LED sijalicama.	2639	0,050	1,0	20

*Tabela 3. Ukupna investiciona ulaganja u realizaciju predloženih paketa mera (P-1, P-2 i P-3), stopa amortizacije i specifični troškovi održavanja*

Mera		Investiciono ulaganje (sa PDV-om)	Stopa amortizacije	Specifični troškovi održavanja
Paket	Opis	EUR	-	%
P-1	AG-1.1, AG-1.2, AG-2.2, AG-3, AG-4, AG-5, M-1, M-2, M-3 i E-1	511034	0,041	3,88
P-2	AG-1.1, AG-2.1, AG-3, AG-5, M-1, M-2, M-3 i E-1	465719	0,042	3,88
P-3	AG-1.1, AG-2.1, AG-3, M-1, M-2, M-3 i E-1	453022	0,042	3,88

Tabela 4. Proračunske cene i jedinični troškovi energije, vode i ugljen-dioksida

Veličina	Merna jedinica	Iznos	Izvor
Toplotna energija (TE)			
Snaga	EUR/MW/mesec	3887,92	Računi korisnika
Energija	EUR/MWh	80,88	Računi korisnika
Električna energija – viša tarifa (EE-VT)	EUR/MWh	107,18	Računi korisnika
Električna energija – niža tarifa (EE-NT)	EUR/MWh	93,09	Računi korisnika
Voda	EUR/m <sup>3</sup>	1,47	Računi korisnika
Ugljen-dioksid	EUR/t	78,02	Trenutna cena na tržištu

Kao što je prikazano u jednačini, operativni troškovi sastoje se od troškova energije, vode, emisija CO<sub>2</sub> i troškova održavanja. Operativni troškovi nakon realizacije pojedinih paketa mera prikazani su u tabeli 5.

Tabela 5. Operativni troškovi nakon realizacije predloženih paketa mera

Paket mera		Troškovi energije	Troškovi vode	Troškovi CO <sub>2</sub>	Troškovi održavanja	UKUPNO
ID	Opis	EUR/god	EUR/god	EUR/god	EUR/god	EUR/god
P-1	PAKET 1	10502,33	457,17	4373,21	7020,12	<b>22352,83</b>
P-2	PAKET 2	11038,93	457,17	4538,43	7020,12	<b>23054,65</b>
P-3	PAKET 3	12129,78	457,17	4861,85	7020,12	<b>24468,92</b>

Najmanji godišnji operativni trošak ima paket mera 1 (22,3 hiljade EUR), dok paket mera 3 ima najveći (24,5 hiljada EUR). Svi predloženi paketi mera imaju jednake troškove održavanja, jer svi obuhvataju mere M-2, M-3 i E-1. Paket 1 ima najviše godišnje troškove energije, dok paket 3 ima najniže.

#### 4. Rezultati finansijske analize

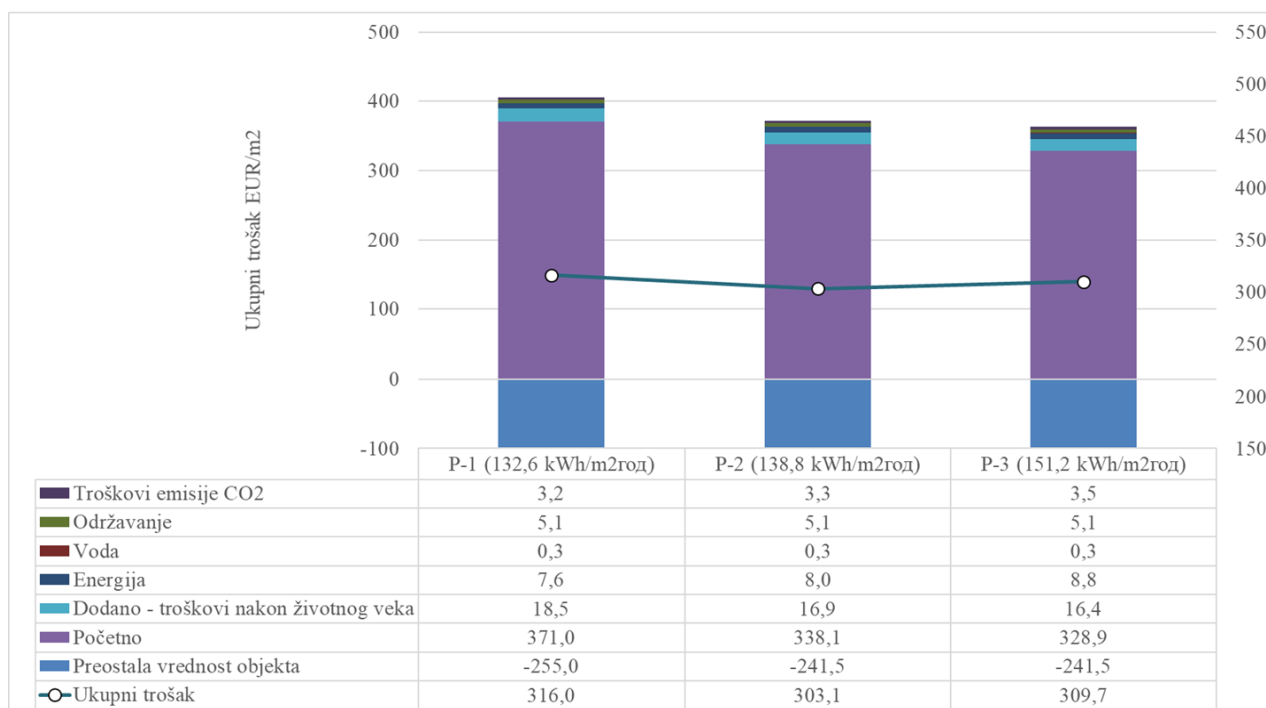
Rezultati ekonomske isplativosti primenjenih mera energetske efikasnosti sprovedene u skladu sa standardom SRPS EN 15459-1:2017, prikazani su u nastavku. Proračuna ukupnog i specifičnog ukupnog troška dat je u Tabeli 6 i na Slici 4, dok su rezultati izračunatog diskontnog perioda povrata investicije predstavljeni u Tabeli 7 i na Slici 5.

Analiza ukupnog troška, koji predstavlja referentni ekonomski pokazatelj prema standardu, pokazuje da paket mera P-2 ostvaruje najmanji ukupni trošak, pa samim tim i najveću ekonomsku opravdanost u okviru analiziranog perioda od 25 godina. Nasuprot tome, paket mera P-1 pokazuje najveći ukupni trošak, što je posledica većih početnih investicija u energetske zahtevnije mere.

Paketi mera su takođe poređani i prema specifičnoj potrošnji primarne energije ( $E_{prim}$ ), od najmanje ka najvećoj vrednosti kako je prikazano na dijagramu slike 4. Rezultati pokazuju da paket mera P-1 ima najmanju specifičnu potrošnju primarne energije, dok paket mera P-3 ostvaruje najveću vrednost  $E_{prim}$ , što je u skladu sa očekivanjima, budući da paket P-1 obuhvata najobimnije i energetske najefikasnije mere sanacije. Prilikom proračuna specifičnih vrednosti korišćena je proračunska grejna površina ( $A_f'$ ).

Tabela 6. Rezultati finansijske analize (ukupni trošak)

Naziv	Merna jedinica	Paket mera		
		P-1	P-2	P-3
		Iznos		
PRIHODI	1000 EUR	-351,2	-332,6	-332,6
Preostala vrednost objekta	1000 EUR	-351,2	-332,6	-332,6
IZDACI	1000 EUR	558,9	512,1	500,1
Ulaganja i osnovna sredstva	1000 EUR	536,6	489,0	475,7
Početno	1000 EUR	511,0	465,7	453,0
Dodatno – nakon životnog veka	1000 EUR	25,6	23,3	22,7
Materijalni troškovi	1000 EUR	22,4	23,1	24,5
Energija	1000 EUR	10,5	11,0	12,1
Voda	1000 EUR	0,5	0,5	0,5
Održavanje	1000 EUR	7,0	7,0	7,0
Troškovi emisije CO <sub>2</sub>	1000 EUR	4,4	4,5	4,9
UKUPNI TROŠAK	1000 EUR	435,3	417,5	426,6

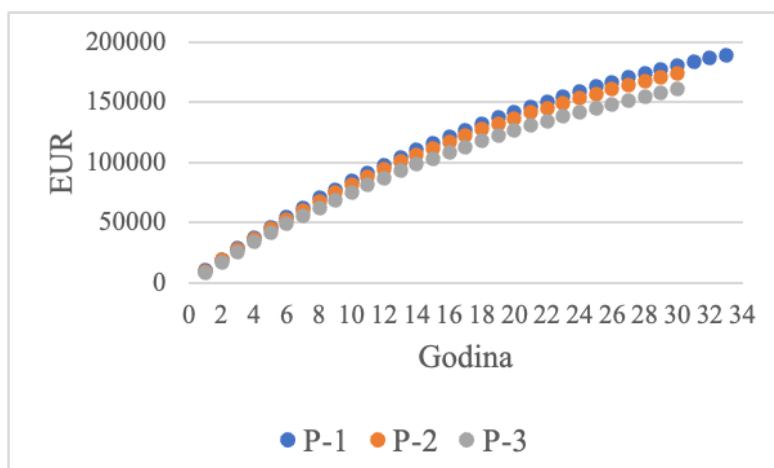


Slika 4. Rezultati finansijske analize (specifični ukupni trošak)

Analiza ekonomske isplativosti izvršena je i pomoću dopunskog pokazatelja - diskontnog perioda povrata investicije (*DPB*), uzimajući u obzir vremensku vrednost novca sa vremenskim korakom od jedne godine. Na osnovu izraza za diskontni period povrata investicije (5), koji se određuje za godinu u kojoj ovaj izraz prelazi u pozitivnu vrednost, rezultati iz tabele 7 pokazuju da je diskontni period povrata investicije najmanji za paket mera P-3 (17 godina), zatim sledi paket mera P-2 (18 godina), dok je najveći za paket mera P-1 (21 godina).

Rezultati takođe pokazuju, da u odnosu na prost period povrata investicije, koji se u praksi često koristi zbog svoje jednostavnosti, diskontni period povrata investicije pokazuje manji broj godina povrata investicije (Tabela 7).

Iako paket P-2 ostvaruje najniži godišnji trošak, diskontni period povrata investicije ukazuje da se troškovi investicije najbrže vraćaju kod paketa P-3, uz razliku od svega jedne godine u odnosu na P-2. S obzirom da ova dva ekonomska pokazatelja prema standardu vrednuju različite ciljeve, odluka o tome koji paket mera energetske efikasnosti je najpogodniji zavisi direktno od prioriteta, odnosno da li se teži najmanjem ukupnom trošku ili najbržem periodu povrata investicije.



Slika 5. Rezultati finansijske analize (diskontni period povrata investicije)

Tabela 7. Rezultati finansijske analize (prost i diskontni period povrata investicije)

Naziv	Paket mera		
	P-3	P-2	P-1
Diskontni period povrata investicije	17	18	21
Prost period povrata investicije	18,5	20,2	22,9

## 5. Zaključak

Anliza finansijske isplativosti mera energetske efikasnosti na konkretnom objektu, sprovedena prema standardu SRPS EN 15459-1:2017 i zasnovana na detaljnom energetskom pregledu zgrade Direkcije za vodne puteve u Boegradu, pokazuju da kombinovana upotreba ukupnog troška ( $CG$ ) i diskontnog perioda povrata investicije ( $DPB$ ) daje precizniju procenu ekonomske opravdanosti ulaganja u mere/pakete mera energetske efikasnosti. Značaj korišćenja ova dva ekonomska pokazatelja se ogledaju u tome što obuhvataju vremensku vrednost nova, odnosno efekat diskontovanja budućih novčanih tokova. Izbor optimalnog paketa mera energetske efikasnosti zavisi od specifičnog cilja investicije (najmanji ukupni troškovi ili brži period povrata investicije). Pored toga, za realniju finansijsku procenu mera energetske efikasnosti pogodnije je koristiti diskontni period povrata investicije u odnosu na prost period povrata investicije, koji se u praksi često koristi zbog svoje jednostavnosti, ali daje veće vrednosti godina povrata investicije.

## 6. Zahvalnica

Ovde prikazani rezultati su rezultat istraživanja podržanog od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija RS po Ugovoru 451-03-136/2025-03/ 200105 od 04.02.2025. god.

## 7. References

- [1] \*\*\* International Energy Agency (IEA), *Energy Efficiency – Why it matters*, 2024: <https://www.iea.org/energy-system/energy-efficiency-and-demand/energy-efficiency>
- [2] \*\*\* Ministarstvo rudarstva i energetike, *Strategije razvoja energetike RS do 2040. godine sa projekcijama do 2050. godine*, Beograd, Srbija, 2024.
- [3] **Banjac, M., i dr.**, *Priručnik za obuku energetskih savetnika*, Mašinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija, 2025. ISBN 978-86-6060-213-0.
- [4] **Congedo, P. M., Baglivo, C., D'Agostino, D., Zacà, I.**, Cost-optimal design for nearly zero energy office buildings located in warm climates, *Energy*, 91 (2015), pp. 967–982. doi: 10.1016/j.energy.2015.08.078.
- [5] **Ferrara, M., Monetti, V., Fabrizio, E.**, Cost-Optimal Analysis for Nearly Zero Energy Buildings Design and Optimization: A Critical Review, *Energies*, 11 (2018), no. 6, p. 1478. doi: 10.3390/en11061478.
- [6] **Szafranko, E.**, Assessment of the economic efficiency of energy-saving projects, methodology based on simple and compound methods, *Energy Science & Engineering*, 10 (2022), pp. 423–438.
- [7] \*\*\*, *SRPS EN 15459-1:2017, Energetske karakteristike zgrada — Procedura za ekonomsku procenu energetskih sistema u zgradama — Deo 1: Proračunske procedure*, Institut za standardizaciju Srbije, 2017.
- [8] **Zangheri, P.**, Review of the Cost-Optimal Methodology Implementation in Europe, *Buildings*, 12 (2022), no. 9, pp. 1–17.
- [9] **Banjac, M., Jošić, P., Kulić, F., Vasilev, M., Petrović, B., Kovačević, S.**, *Izveštaj o sprovedenom detaljnom energetskom pregledu zgrade: Francuska 9, Beograd (Finalni izveštaj)*, Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet, Beograd, Srbija, 2025 (naručilac: UNDP, Beograd).
- [10] **Banjac, M., Jošić, P., Galić, R., Vasilev, M., Petrović, B., Kovačević, S.**, *Metodologija određivanja potrebne energije za grejanje i hlađenje zgrada prema standardu SRPS EN ISO 13790:2010*, Mašinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija, mart 2025.
- [11] \*\*\* *Pravilnik o faktorima konverzije finalne energije u primarnu i faktorima emisije ugljen-dioksida*, „Službeni glasnik RS“, br. 111/2021 od 25. novembra 2021. i 6/2023 od 27. januara 2023., Ministarstvo rudarstva i energetike Republike Srbije, Beograd.
- [12] \*\*\* Ministarstvo finansija Republike Srbije, *Dokument (PDF)*, [online]. Available at: [https://www.mfin.gov.rs/upload/media/wdcb1S\\_6015df14df90d.pdf](https://www.mfin.gov.rs/upload/media/wdcb1S_6015df14df90d.pdf)