

Toplotno bilansiranje i povećanje efikasnosti korišćenja toplotne energije vrtića „Zeka“ u gradu Kragujevcu, Srbija

The Thermal Energy Audit and Increasing of Efficiency of Thermal Energy Use in the Kindergarten “Zeka” in the City of Kragujevac, Serbia

Davor Jovanović*, Dušan Gordić**, Jelena Nikolić**, Nebojša Jurišević**, Mladen Josijević**

*Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac, davorjovanovic94@gmail.com

**Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac

Apstrakt - U radu je izvršeno toplotno bilansiranje vrtića „Zeka“, koji se nalazi na teritoriji grada Kragujevca. Prikazani su osnovni podaci o objektu, uz osvrt na sistem grejanja, kao i klimatski uslovi lokacije na kojoj se objekat nalazi. Analizom potrošnje toplotne energije, izvršene primenom softverskog paketa „URSA - Građevinska fizika 2“, utvrđeno je da objekat pripada energetske razredu „G“, što ukazuje da koeficijenti prelaza toplote ne zadovoljavaju opsege propisane Pravilnikom o energetske efikasnosti zgrada. Shodno tome, predložene su mere za povećanje efikasnosti korišćenja toplotne energije u posmatranom objektu. Pored toga, za svaku od predloženih mera izvršena je tehnno-ekonomska analiza, koja uključuje određivanje početne investicije za svaku predloženu meru, kao i prost period otplate. Primenom odgovarajućih mera na posmatrani objekat zaključeno je da se može ostvariti ušteda potrošnje toplotne energije od gotovo 79%.

Ključne reči - energetska efikasnost, energetske razred, energetske bilansiranje, vrtić, period otplate

Abstract - This paper shows the thermal energy audit of the kindergarten "Zeka", located in the territory of the city of Kragujevac, Serbia. Data of the analyzed building, with an emphasis on the heating system, as well as the climate conditions of the location are shown. Analysis of the thermal energy use, done by implementing a software package "URSA-građevinska fizika 2", shows that the analyzed building belongs to the "G" energy efficiency level, which indicates that the heat transfer coefficients are not in the range defined by the Rule book of energy efficiency for buildings. Consequently, the energy conservation measures for increasing the efficiency of thermal energy use are proposed. Besides, for each measure, the techno-economic analysis was done, which includes determination of the investment costs, as well as the payback period. By

implementing the appropriate measures in the analyzed building, it was concluded that thermal energy savings of almost 79% can be achieved.

Index Terms - energy efficiency, energy efficiency level, energy audit, kindergarten, payback period

I. UVOD

Dostizanje termičkog komfora kod ljudi predstavlja jedan od najvažnijih aspekata kada je reč o konceptu ugodnog života [1]. Za postizanje uslova termičkog komfora potrebno je ostvarivanje optimalnih vrednosti svih faktora ugodnosti, poput srednje temperature, relativne vlažnosti i brzine strujanja vazduha. Međutim, u većini zgrada je i dalje najzastupljenija praksa da se od pomenutih parametara prati jedino temperatura vazduha, na osnovu koje se određuje energija potrebna za zagrevanje objekata [2]. Kako su deca posebno osetljiva na temperaturne promene, jer neodgovarajuće temperature mogu da izazovu zdravstvene probleme, ali i probleme sa koncentracijom i smanjenom sposobnošću učenja [3], održavanje termičkog komfora u vrtićima predstavlja veoma važan zadatak pri projektovanju ovih javnih ustanova. Prema Todoroviću, unutrašnja projektna temperatura koju treba održavati u vrtićima i u dečijim spavaonicama je 20°C, dok se u jaslama predlaže temperatura od 22°C [4]. Unapređenje energetske performansi omotača zgrada vrtića ima veoma značajan uticaj i na povećanje unutrašnjeg komfora [5]. Takođe, povećanje energetske efikasnosti u postojećim obrazovnim institucijama veoma je značajno za smanjenje potrošnje energije na globalnom nivou, jer je utvrđeno da se u svim zemljama Evropske Unije za zagrevanje objekta potroši gotovo 68% od ukupno isporučene energije [2]. U prilog ovome govore istraživanja kojima je utvrđeno da se na teritoriji Engleske iz obrazovnih institucija

godišnje emituje i do 6.000.000 t ugljen-dioksida [6]. Detaljne analize potrošnje u obrazovnim institucijama u Americi pokazuju da se u zgradama ove namene godišnje potroši i do 47% od ukupno isporučene energije samo za procese grejanja [7]. U prikazu potrošnje energije u jednom ruskom vrtiću utvrđeno je da se u njemu godišnje potroši do 53% ukupno isporučene energije za proces grejanja i da se ovaj udeo može znatno smanjiti ukoliko se stolarija zameni energetske efikasnijom. U radu u kome je analizirana potrošnja u 15 obrazovnih institucija u Argentini, utvrđeno je da potrošnja u njima varira od 76,9 kWh/m² do 235 kWh/m² korisnog prostora. U briselskom regionalnom sertifikatu za nove zgrade vrtića predviđa se godišnja potrošnja od 190 kWh/m². U radu u kome su analizirali literaturni podaci o potrošnji u obrazovnim institucijama prikazano je da se najviše energije potroši u školama pariškog regiona (224 kWh/m² godišnje), dok je najmanja potrošnja energije zabeležena u zgradama ove namene u Italiji, među kojima je u jednom objektu zabeležena potrošnja od 10 kWh/m² godišnje [8]. Kao uzrok raznolikosti potrošnje u vrtićima i školama, pored razlika u karakteristikama samih objekata, takođe se navodi raznolikost njihovih ponuda, poput kantina, igrališta ili prostora za bavljenje sportom [9].

Zgrade postojećih vrtića u Srbiji su najčešće zastarele i boravak dece u njima predstavlja sociološki problem koji se ne sme zanemariti, jer ovakvi objekti obično ne ispunjavaju odgovarajuće propise. Čak 80% postojećih vrtića u Srbiji izgrađeno je pre više od 25 godina [5] i kao takvi troše značajnu količinu energije i uzrokuju visoku emisiju gasova sa efektom staklene bašte. Kako su troškovi poboljšanja energetske efikasnosti i dalje veoma visoki, cilj ovog rada je komparativni prikaz troškova i isplativosti ugradnje izolacije na elemente termičkog omotača objekta, kao prikaz mogućnosti ukupne uštede toplotne energije, sproveden na primeru vrtića „Zeka“ u Kragujevcu. Kako su objekti ove namene najčešće državno vlasništvo i za njihovo zagrevanje se svake godine izdvaja veliki deo novca iz državnog budžeta, analize ovog tipa mogu da posluže kao polazna osnova za razmatranja isplativosti ulaganja u rekonstrukcije postojećih objekata.

II. MATERIJAL I METOD RADA

Osnovne karakteristike i informacije o zgradi vrtića dobijene su na osnovu upitnika o energetskim sistemima objekta, razgovoru sa zaposlenim tehničkim osobljem, kao i izlaskom na teren radi prikupljanja podataka merenjem. Upitnik je uključivao informacije o karakteristikama i nameni zgrade, sistemima za snabdevanje i potrošnju energije i vode, kao i o postojanju mernih uređaja i opreme (senzori, merači, itd.). Na osnovu prikupljenih podataka pristupilo se analizi pri čemu su utvrđene sve nepravilnosti u potrošnji, definisano je kada dolazi do pojave najveće potrošnje energenata, kao i zavisnost potrošnje energije od spoljašnjih uslova. Određivanje termičkih i energetskih svojstava posmatranog vrtića sprovedeno je na osnovu karakteristika modela objekta, upotrebom softverskog paketa „URSA - Građevinska fizika 2“ [10]. Predlog mera za poboljšanje energetske efikasnosti baziran je prema Pravilniku o

energetskoj efikasnosti zgrada [11], pri čemu je koeficijent prolaza toplote svakog elementa omotača zgrade, nakon rekonstrukcije, odgovarao vrednostima prikazanim u pravilniku, uz unapređenje energetske razreda za bar jedan energetski nivo. Za svaku predloženu meru određen je i prost period otplate na osnovu formule:

$$PBP = \frac{IIM}{NACI} \quad (1)$$

Gde su:

PBP [god] – period otplate;

IIM [€] – inicijalna investicija;

NACI [€/god] – novčana ušteda.

Novčana ušteda se može odrediti primenom izraza:

$$NACI = ES \cdot EC \quad (2)$$

Gde su:

ES [kWh/god] – godišnja ušteda toplotne energije;

EC [€/kWh] – cena toplotne energije.

A. Opis analiziranog objekta

Vrtić „Zeka“, predmet analize ovog rada, nalazi se u gradskoj opštini Stari grad, naselju Erdoglija, u Kragujevcu. Zgrada vrtića izgrađena je 1978. godine i spada u srednje-teški tip gradnje. Ukupna korisna površina prostorija je 852,12 m². Građevinski materijali objekta prikazani su u tabeli 1.

Tabela 1. Građevinski materijali ugrađeni u objekat [12]

Konstrukcija	Materijal
Krov	Šljunak, aluminijumska folija, cement, hidroizolacija, armirani beton, bitumoperlit, poliuriten, TM blokovi, malter
Temelji	Cement, armirani beton, hidroizolacija, nabijeni beton, šljunak
Međuspratna konstrukcija	Parket, cementni koš, hartija, pluta, TM tavanica, malter
Pod (kostrukcija, pokrivač, obloga)	Beton, parket/teraco pločice
Spoljni zidovi	Opeka sa fugovanim spojnica
Stolarija	Drvo (smrka)

Objekat se sastoji od dve građevinske celine, povezane središnjim holom, u kojima se realizuje vaspitno-obrazovni rad. U vrtiću se nalazi 31 zaposleno lice, dok u njemu boravi 198 dece. Radno vreme objekta je od 05:30 do 20:00, s tim što nakon 16^h u vrtiću boravi pripremna predškolska grupa od 30 dece.

Na slici 1 prikazan je 3D model zgrade vrtića, projektovan u softverskom paketu „SOLIDWORKS“.

Sistem grejanja je daljinski, sa toplotnom podstanicom unutar objekta. U objektu je projektovano toplovodno grejanje sa prinudnom cirkulacijom, za šta su predviđene dve cirkulacione pumpe. U primarnom sistemu temperatura fluida je 140/80°C,

dok je u sekundarnom 90/70°C. Kao grejna tela koriste se liveni člankasti radijatori (ukupno 61), koji su najčešće postavljeni

je navedeni mesec bio među najhladnijim tokom prethodnih deset godina. U svakoj posmatranoj godini, najniža potrošnja se beleži



Slika 1. Prikaz 3D modela analiziranog vrtića „Zeka“

ispod prozora i odzračuju se automatski uz pomoć odzračnih ventila. Neophodno je napomenuti da podstanica do sada nikada nije rekonstruisana, kao i da se usluge daljinskog grejanja plaćaju tokom cele godine prema fiksnoj ceni po kvadratu korisnog prostora vrtića.

Sistem hlađenja je izveden lokalno, primenom pojedinačnih klima uređaja, smeštenih u prostorima za dečiji boravak. Podešavanje temperature i radnih parametara moguće je izvršiti prenosivim daljinskim upravljačem, a temperatura se reguliše sobnim termostatom.

Ventilacija u prostorijama je prirodna (infiltracija kroz prozore). Vrtić je priključen na gradsku vodovodnu, kanizacionu i električnu mrežu. Objekat pripada kategoriji široke potrošnje električne energije, sa dvotarifnim merenjem. Sanitarna voda se zagreva primenom električne energije, tokom cele godine i koristi se u sanitarnim prostorijama, kao i prostorijama za pripremu hrane i pranje posuđa, odnosno veša.

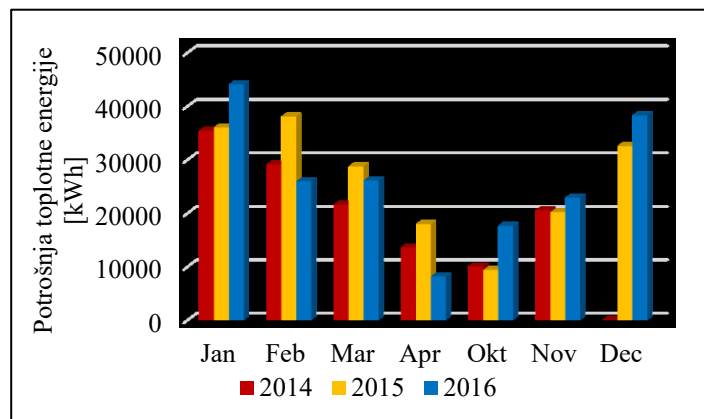
B. Potrošnja toplotne energije u analiziranom objektu

Kako je u prethodnom tekstu već napomenuto, građevinski objekti vrtića se zagrevaju sistemom daljinskog grejanja, koji je izveden bez podele na zone. Izolacija toplovođa mineralnom vunom (debljine 30mm), u oblozi od pocinkovanog lima, je ugrađena samo u podrumu. Na osnovu usmenih saopštenja tehničkog osoblja u vrtiću, ventili svih radijatora su uvek otvoreni, pri čemu se troši više toplotne energije nego što je neophodno i postoji mogućnost za poboljšanje i ovog segmenta u posmatranom objektu.

Prema podacima dobijenim iz odeljenja za energetska efikasnost skupštine grada Kragujevca, specifična potrošnja toplotne energije po jedinici zapremine grejanog dela objekta iznosi 66,52 kWh/m³, odnosno 5,18 €/m³, a po jedinici površine iznosi 196,38 kWh/m², odnosno 15,3 €/m². Grafik mesečne raspodele potrošnje toplotne energije za period 2014-2016 prikazan je na slici 2.

Uočava se da je najveća potrošnja toplotne energije zabeležena u januaru tokom 2016. godine sa približno utrošenih 44.070 kWh toplotne energije. Razlog povećane potrošnje leži u činjenici da

tokom aprila i oktobra, mesecima koje predstavljaju prelazne periode i u kojima vladaju više temperature. Tokom decembra 2014. godine nema podataka o potrošnji toplotne energije, jer toplana najverovatnije nije uspela da obezbedi potrebnu količinu toplote, ili uopšte nije snabdevala posmatrani objekat toplotnom energijom. Ovakvim režimom grejanja se prosečno u atmosferu emituje 83.700 kg ugljen-dioksida godišnje.



Slika 2. Potrošnja toplotne energije posmatranog objekta [13]

Analizom podataka o potrošnji toplotne energije, kao i računa, na kojima se uviđa da je prosečno za grejanje tokom godine potrebno izdvojiti 14.500 €, dolazi se do jedinične cene od 0,09 €/kWh.

C. Određivanje energetske razreda objekta

Nakon izvršene analize u programu „URSA – Građevinska fizika 2“, dobijen je rezultat da posmatrani objekat odaje oko 194 kWh/m² toplotne energije na godišnjem nivou, što ga svrstava u najniži energetska razred (u daljem tekstu ER) „G“ (razmatran je ER u kategoriji zgrada namenjenih obrazovanju i kulturi). Bitno je napomenuti da je, na osnovu sprovedenih proračuna, utvrđeno da nijedan element stolarije (staklena vrata i prozori), kao ni

termičkog omotača posmatranog objekta, ne zadovoljava vrednost koeficijenta prolaza toplote propisanu pravilnikom [11] (videti tab. 2).

Tabela 2. Prikaz trenutne vrednosti koeficijenta prolaza toplote i njene maksimalne dozvoljene vrednosti

Element	Trenutna vrednost koef. U [W/m ² K]	Maksimalna dozvoljena vrednost koef. U [W/m ² K]
Termički omotač	1,7 ÷ 3,72	0,4
Prozori	3,5	1,5
Vrata	5	1,6

Na osnovu podataka prikazanih u tabeli uviđa se da se izolacijom termičkog omotača, kao i zamenom dotrajale stolarije može uštedeti značajna količina toplotne energije.

Napominje se da će se u proračunima isplativosti posmatrati redukovana potrebna energija za grejanje, usled prekida grejanja u trajanju od 9 časova dnevno, koja iznosi 164.937,82 kWh na godišnjem nivou.

III. PREGLED MERA ZA UNAPREĐENJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI OBJEKTA, REZULTATI I DISKUSIJA

U ovom delu rada komparativno će biti prikazani različiti slučajevi izolacije različitih elemenata termičkog omotača (pod, tavanica, međuspratna konstrukcija, krov i zidovi), kao i zamena dotrajale stolarije. Za svaku predviđenu meru prikazani su ukupni troškovi investicije, koji uključuju cenu elemenata, troškove montaže i demontaže, kao i period otplate.

A. Zamena stolarije

S obzirom da nijedan prozor ni vrata posmatranog objekta ne ispunjavaju zahteve propisane pravilnikom, predlaže se ugradnja stolarije prikazane u tabeli 3, proizvođača "Sunce Marinković doo" [14].

Tabela 3. Podaci o stolariji za rekonstrukciju

Element	Prethodni U _w [W/m ² K]	U _w nakon rekonstrukcije [W/m ² K]	Ukupna površina [m ²]
Prozori	3,5	1 ÷ 1,2	248,225
Vrata	5	1,1	65,815

Nakon rekonstrukcije postojećih prozora, godišnja redukovana potrebna energija za grejanje je 113.693,01 kWh godišnje, što analizirani vrtić svrstava u ER „E“. Troškovi investicije, predviđena ušteda energije, kao i prost period otplate prikazani su u tabeli 4.

Tabela 4. Ušteda novca na godišnjem nivou i period otplate početne investicije zamene stolarije na posmatranom objektu

Početna investicija sa PDV-om:	55.211,236 €
Ušteda energije za grejanje na godišnjem nivou:	51.244,81 kWh
Ušteda novca na godišnjem	4.612,03 €

nivou:	
Period otplate:	≈12 godina

Iz navedene tabele se može videti da je potrebno približno 12 godina kako bi se isplatila početna investicija rekonstrukcije stolarije u posmatranom objektu. Proizvođač za stolariju obezbeđuje garanciju u trajanju od 5 godina, a životni vek iste je oko 20 godina.

B. Izolacija termičkog omotača objekta (bez krova)

U posmatranom objektu nijedan spoljni zid ne ispunjava zahteve propisane pravilnikom o energetske efikasnosti. U tabeli 5 date su debljine slojeva i koeficijent prolaza toplote pre i nakon izvršene rekonstrukcije objekta. Nakon unošenja pomenutih podataka u program „URSA – Građevinska fizika 2“, dobijen je ER „E“.

Tabela 5. Podaci o slojevima kontaktnih fasada pre i posle rekonstrukcije objekta

Tip zida (završni sloj)	Trenutno stanje			Nakon rekonstrukcije		
	Opeka 25cm	Opeka 30cm	Natur beton	Opeka 25cm	Opeka 30cm	Natur beton
Sloj 1:	Prod. krečni malter (2cm)	Prod. krečni malter (2cm)	Beton (2cm)	Prod. krečni malter (2cm)	Prod. krečni malter (2cm)	Beton (2cm)
Sloj 2:	Puna opeka (25cm)	Puna opeka (30cm)	Arm. beton (20cm)	Puna opeka (25cm)	Puna opeka (30cm)	Arm. beton (20cm)
Sloj 3:	-	-	Cementni malter (2cm)	Lepak	Lepak	Cementni malter (2cm)
Sloj 4:	-	-	-	Kamena vuna (10cm)	Kamena vuna (10cm)	Lepak
Sloj 5:	-	-	-	Lepak, mrežica, tiplovi	Lepak, mrežica, tiplovi	Kamena vuna (10cm)
Sloj 6:	-	-	-	Akrilni malter (2cm)	Akrilni malter (2cm)	Lepak, mrežica, tiplovi
Sloj 7:	-	-	-	-	-	Akrilni malter (2cm)
Prolaz toplote [W/m ² K]:	1,916	1,701	3,715	0,301	0,295	0,326
Površina [m ²]:	188,39	294,43	77,04	188,39	294,43	77,04

U tabeli 6 dati su ukupna površina, troškovi investicije, isplativost na godišnjem nivou, kao i period otplate predložene mere rekonstrukcije, odnosno izolacije spoljnih zidova posmatranog objekta.

Tabela 6. Ušteda novca na godišnjem nivou i period otplate početne investicije izolacije na posmatranom objektu

Ukupna površina spoljnih zidova:	559,86 m ²
Početna investicija sa PDV-om:	12.070,58 €
Ušteda energije za grejanje na godišnjem nivou:	54.222 kWh
Ušteda novca na godišnjem nivou:	4.878 €
Period otplate:	≈ 2,5 godina

Iz tabele 6 se uočava da se početna investicija isplati u roku od 2,5 godine, dok se u novčanom smislu godišnje uštedi približno 40% početne investicije.

C. Izolacija termičkog omotača objekta (sa krovom)

U ovom slučaju predložena mera će se odnositi na izolaciju kontaktne fasade i krova. Maksimalni koeficijent prolaza toplote, za ravne krovove iznad grejanog prostora, po pravilniku za energetska efikasnost je $U_{max} = 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, dok je trenutno stanje krovova posmatranog objekta $U = 0,341 \text{ W/m}^2\text{K}$ za spratni i prizemni deo objekta, a $U = 0,339 \text{ W/m}^2\text{K}$ za međuprostor spratnog i prizemnog dela objekta. Nakon izvršene rekonstrukcije, objekat pripada ER "E".

U tabeli 7 dati su ukupna površina, troškovi investicije, isplativost na godišnjem nivou, kao i period otplate predložene mere rekonstrukcije, odnosno izolacije spoljnih zidova i ravnog krova posmatranog objekta.

Tabela 7. Ušteda novca na godišnjem nivou i period otplate početne investicije izolacije termičkog omotača objekta sa krovom

Ukupna površina krova:	511,79 m ²
Investicija za rekonstrukciju krova:	12.144,78 €
Ukupna površina rekonstrukcije:	1.071,65 m ²
Ukupna početna investicija sa PDV-om:	24.215,36 €
Ušteda energije za grejanje na godišnjem nivou:	58.468 kWh
Ušteda novca na godišnjem nivou:	5.262,12 €
Period otplate:	≈ 4,6 godina

Može se primetiti da se energetska sanacijom krova značajno povećava period otplate početne investicije. Tačnije, ukoliko se krov izoluje, produžava se period otplate za približno 2,1 godinu u odnosu na slučaj kada se samo vrši izolacija kontaktne fasade. To je iz razloga što je investicija u izolaciju krova približna investiciji izolacije kontaktnih fasada, ali se uštedi samo oko 4.000 kWh toplotne energije godišnje, odnosno oko 400 €.

D. Ugradnja stolarije i izolacija termičkog omotača objekta (bez krova)

Nakon kombinovane ugradnje izolacije na termičkom omotaču i zamene prozora, postoji mogućnost za ostvarivanje uštede značajne količine toplotne energije i ostvarivanja ukupne godišnje potrošnje (57.356 kWh) koja odgovara ER "C".

Tabela 8. Period otplate početne investicije izolacije termičkog omotača objekta sa ugrađenom stolarijom

Početna investicija sa PDV-om:	54.535,55 €
Ušteda energije za grejanje na godišnjem nivou:	107.581,96 kWh
Ušteda novca na godišnjem nivou:	9.682,38 €
Period otplate:	≈ 5,6 godina

Iz tabele 8 se može videti da je period otplate početne investicije 5,6 godina od trenutka rekonstrukcije kontaktne fasade i stolarije. Godišnje se uštedi 107.581,96 kWh toplotne energije, odnosno 9.682,38 € (prema prosečnoj ceni od 0,09 €/kWh).

E. Ugradnja stolarije i izolacija termičkog omotača (sa krovom)

Nakon izvršene rekonstrukcije koja uključuje izolaciju kontaktne fasade i krova objekta, uz ugradnju stolarije, objekat pripada ER „C“. U ovom slučaju, nakon dodate rekonstrukcije krova, godišnja redukovana potrebna energija za grejanje iznosi 47.869,56 kWh. U tabeli 9 dati su podaci o godišnjoj uštedi toplotne energije, uštedi novca, iznosu početne investicije i periodu otplate.

Tabela 9. Period otplate početne investicije izolacije termičkog omotača objekta i krovova i sa ugrađenom stolarijom

Početna investicija sa PDV-om:	66.680,33 €
Ušteda energije za grejanje na godišnjem nivou:	117.068,26 kWh
Ušteda novca na godišnjem nivou:	10.536,14 €
Period otplate:	≈ 6,33 godina

Iz tabele 9 se može videti da period otplate početne investicije iznosi približno 6,33 godine od trenutka rekonstrukcije kontaktne fasade, stolarije i krovova. Potencijalna godišnja ušteda iznosi 117.068,26 kWh toplotne energije, odnosno 10.536,14 €. Takođe, može se primetiti da se izolacijom krova produžava vreme otplate za približno 9 meseci, što je skoro isti vremenski interval otplate početnih investicija u odnosu na prethodni slučaj (bez krova).

F. Rekonstrukcija poda (prizemnog dela) i međuspratne konstrukcije (spratnog dela) analiziranog objekta kao dodatak na sve prethodne mere

Nakon ugradnje 8 i 7 cm kamene vune u pod prizemnog dela posmatranog objekta, kao i u međuspratnu konstrukciju iznad negrejanog dela podruma (sa uključenim skloništem), respektivno, objekat pripada ER "C". U poređenju sa prethodno analiziranim slučajem, potrebno je manje redukovane energije za grejanje tokom godine (34.531,08 kWh/god), što je 13.338,48 kWh manje nego kada nije ugrađena izolacija. Takođe, treba primetiti da je sa 40,52 kWh/m² potrebne toplotne energije godišnje, posmatrani objekat udaljen samo 3,52 kWh/m² od energetske razreda „B“.

U tabeli 10 dati su podaci o odgovarajućim površinama posmatranih konstrukcija, ceni njihove sanacije, godišnjoj uštedi

toplotne energije, uštedi novca, ukupnom iznosu početne investicije i periodu otplate.

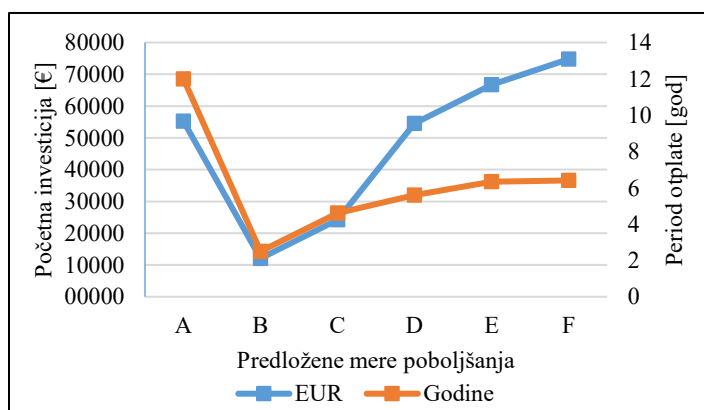
Tabela 10. Ušteda novca na godišnjem nivou i period otplate početne investicije predložene mere

Površina poda prizemnog dela	217,66 m ²
Površina međuspratne konstrukcije spratnog dela	204,79 m ²
Investicija za rekonstrukciju poda prizemnog dela:	6.159,78 €
Investicija za rekonstrukciju međuspratne konstrukcije spratnog dela:	1.925,03 €
Ukupna početna investicija sa PDV-om:	74.765,14 €
Ušteda energije za grejanje na godišnjem nivou:	130.406,74 kWh
Ušteda novca na godišnjem nivou:	11.736,61 €
Period otplate:	≈ 6,4 godina

Može se primetiti da je period otplate početne investicije približno 6,4 godine od trenutka rekonstrukcije kontaktne fasade, stolarije, krova i poda prizemnog dela objekta, kao i međuspratne konstrukcije spratnog dela objekta. Godišnje se uštedi 130.406,74 kWh toplotne energije, odnosno 11.736,61 € prema prosečnoj ceni od 0,09 €/kWh. Takođe, može se primetiti da se izolacijom poda i međuspratne konstrukcije skraćuje vreme otplate u odnosu na prethodni slučaj za 4,7 godina.

G. Uporedna analiza predloženih mera

Na slici 3 dat je uporedni prikaz vrednosti početnih investicija, kao i perioda otplate prethodno opisanih šest predloženih mera.



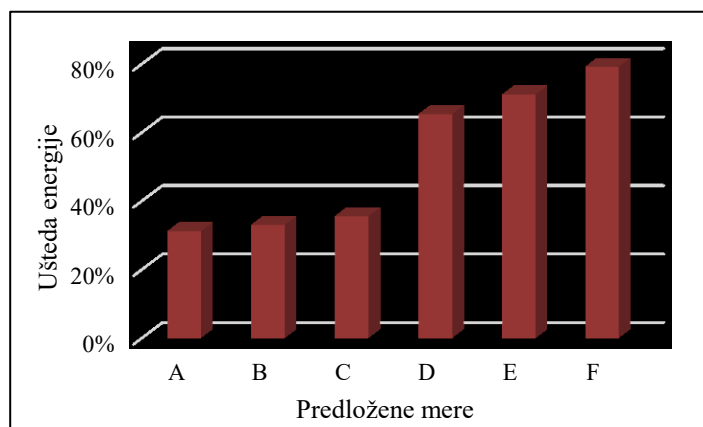
Slika 3. Uporedni prikaz početnih investicija

Sa slike iznad se može primetiti da je izolacija termičkog omotača objekta bez krova (slučaj B) predložena mera sa najnižom početnom investicijom (12.070,58 €), kao i sa najnižim periodom otplate (približno 2,5 godina). Sa druge strane, najviša investicija se odnosi na rekonstrukciju poda prizemnog dela i međuspratne konstrukcije, zajedno sa izolacijom krova, termičkog omotača i ugradnjom stolarije u posmatrani objekat (slučaj F) i iznosi oko 74.765,14 €, međutim, period otplate kod navedene mere (približno 6,4 godina.) niži je nego u slučaju

samo zamene stolarije (slučaj A), kod kog je period otplate približno 12 godina. Takođe, može se primetiti da se pri izolovanju krova u slučaju E početna investicija povećava za oko 12.145 €, dok se period otplate, takođe, produžava za 9 meseci.

Ušteda novca na godišnjem nivou je najviša u slučaju F i iznosi oko 11.737 €, dok je najniža u slučaju A (kada se zameni celokupna stolarija u objektu), pri čemu ona iznosi oko 4.612 €. Na slici 4 dat je prikaz procentualne uštede toplotne energije predloženih mera u odnosu na potrošnju toplotne energije pri trenutnom energetsom stanju vrtića (164.937,82 kWh) na godišnjem nivou.

Sa slike 4 se može primetiti da je najviša procentualna ušteda zabeležena primenom poslednje predložene mere (slučaj F), odnosno, primenom izolacije na celokupni omotač objekta i zamenom kompletne stolarije, ta ušteda bi iznosila oko 79% u odnosu na trenutno izmerenu potrošnju toplotne energije.



Slika 4. Procentualna ušteda energije na godišnjem nivou nakon predloženih mera

U slučaju zamene celokupne stolarije u posmatranom objektu (slučaj A) ostvaruje se ušteda od oko 31%, a slična ušteda se ostvaruje i u slučajevima B (32,87%) i C (35,45%), odnosno, pri ugradnji izolacije sa i bez krova, respektivno. Tek nakon kombinovane ugradnje stolarije i izolacije termičkog omotača ostvaruju se godišnje uštede od preko 65%, odnosno, 65,23% u slučaju izolacije termičkog omotača (bez krovova) i ugradnje stolarije, 70,98% kada su uključeni krovovi zajedno sa termičkim omotačem i stolarijom, i na kraju, 79,06% u slučaju kada je izrađena kompletna izolacija sa uključenom rekonstrukcijom poda prizemnog dela i međuspratne konstrukcije spratnog dela posmatranog objekta.

IV. ZAKLJUČAK

Izrađena je komparativna analiza različitih mera predloženih u cilju smanjenja godišnje potrošnje toplotne energije u vrtiću „Zeka“, koji se nalazi na teritoriji grada Kragujevca. Izvršena analiza može poslužiti kao polazna osnova za razmatranja isplativosti ulaganja u rekonstrukciju analiziranog vrtića. Analize su sprovedene numerički, korišćenjem softvera za energetsko bilansiranje objekata „URSA – Građevinska fizika 2“. Cilj rada je sprovođenje preliminarne analize u cilju ispitivanja

moćnosti za poboljšanje energetske efikasnosti objekta, odnosno, smanjenje potrošnje toplotne energije. Predstavljena je preliminarna analiza potrošnje toplotne energije u posmatranom objektu, koja prema trenutnim podacima iznosi približno 164.937,82 kWh na godišnjem nivou. Primenom različitih mera za poboljšanje, kao što je zamena celokupne stolarije u posmatranom objektu, izolacija termičkog omotača analiziranog objekta sa krovom i rekonstrukcijom poda (prizemni deo vrtića) i međuspratne konstrukcije (spratni deo vrtića) mogu se ostvariti uštede od 31 do nešto više od 71%. Takođe, u zavisnosti od predložene mere, period otplate početne investicije se kreće od 2,5 do približno 12 godina, nakon izvršenih odgovarajućih rekonstrukcija.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je nastao kao rezultat istraživanja na projektu III 42013 koje finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] D. Iniescu, *A review of thermal comfort models and indicators for indoor environments*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 79, pp. 1353–1379, Novembar 2017.
- [2] D. Gajić, D. Stupar, B. Antunović, i A. Janković, *Determination of the energy performance indicator of kindergartens through design, measured and recommended parameters*, Energy and Buildings, vol. 204, p. 109511, Oktobar 2019.
- [3] H. Yun, I. Nam, J. Kim, J. Yang, K. Lee, i J. Sohn, *A field study of thermal comfort for kindergarten children in Korea: An assessment of existing models and preferences of children*, Building and Environments, vol. 75, pp. 182-189, Maj 2014.
- [4] B. Todorović, *Projektovanje postrojenja za centralno grejanje*. Beograd, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2005.
- [5] M. Nikolic, A. Milojkovic, D. Stanković, V. Bogdanovic, i I. Mijailovic, *Implementation models for energy recovery measures of existing kindergarten facilities in Serbia*, Tehnički vjesnik, Vol. 23, No. 2, pp. 437-446, April 2016.
- [6] C. Filippin, *Benchmarking the energy efficiency and greenhouse gases emissions of school buildings in central Argentina*, Building and Environments, vol. 35, pp. 407-414, Jul 2000.
- [7] National Renewable Energy Laboratory, *Advanced Energy Retrofit Guide - Practical Ways to Improve Energy Performance, K-12 Schools*, U.S. Department of Energy, 2013
- [8] L. Dias Pereira, D. Raimondo, S. P. Corgnati, i M. Gameiro da Silva, *Energy consumption in schools – A review paper*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 40, pp. 911-922, Decembar 2014.
- [9] J. Xing, J. Chen, i J. Ling, *Energy consumption of 270 schools in Tianjin, China*, Frontiers in Energy, vol. 9, no. 2, pp. 217-230, Jun 2015.
- [10] *Ursa – Građevinska fizika*, dostupno: <https://www.ursa.rs/softver-građevinska-fizika>, poslednja poseta: 2.12.2019.
- [11] *Pravilnik o energetskoj efikasnosti zgrada*, Službeni glasnik 061/2011, Ministarstvo građevinarstva, saobraćaja i infrastrukture, 2011.
- [12] Lj. Živojnović, “Projekat kombinovane dečije ustanove u Erdogljiji”, Preduzeće za inženjering i projektovanje, Kragujevac, 1979, (neobjavljeno).
- [13] D. Gordić, V. Šušteršić, D. Končalović, V. Vukašinović, D. Živković, N. Jurišević, M. Josijević, A. Milovanović, i Z. Kovačević, *Program energetske efikasnosti grada Kragujevca za period 2018-2020 godina*, Kragujevac, Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, 2017/18.
- [14] N. Vasiljević, “Ponuda br. P8-23533”, Sunce Marinkovic d.o.o., Kragujevac, 2018, (neobjavljeno).