

## **Odnos troškova građenja i uporabe stambenih zgrada različitih energetske svojstava**

### *Cost of construction and use of residential buildings with different energy characteristics*

<sup>1</sup>Ratko Matotek, <sup>2</sup>Jurica Kuhanec

<sup>1</sup>Međimursko veleučilište u Čakovcu

Bana J. Jelačića 22a, 40000 Čakovec, Hrvatska

<sup>2</sup>student Međimorskog veleučilišta u Čakovcu

e-mail: <sup>1</sup>rmatotek@mev.hr, <sup>2</sup>jkuhanec@student.mev.hr

**Sažetak:** *Osnovni cilj ovog rada je proračunati energetske optimalnu gradnju stambenih zgrada glede toplinske izolacije vanjskih zidova, te istražiti kako se kvalitetnim glavnim projektom može znatno utjecati na bolju energetske učinkovitost. U skladu s projektom zadatkom izrađen je glavni projekt, prema kojem su izračunati energetske razredi iste obiteljske stambene zgrade (obiteljske kuće) s različitim debljinama toplinske izolacije vanjskih zidova (fasade).*

*Energetske učinkovitost se temelji na energetskej obnovi, strateškim dokumentima i projektima, propisima, energetske certifikiranju i obnovljivim izvorima energije. Iskustva zemalja Europske unije pa tako i Republike Hrvatske pokazala su da energetske učinkovite gradnje i obnova, trenutačno predstavljaju veliki izazov u građevinarstvu i pratećim industrijama zbog nedostatka stručno osposobljenih građevinskih radnika, institucionaliziranih shema obrazovanja, kao i slabe potražnje za niskoenergetskim i pasivnim zgradama. Gradnja novih zgrada te obnova postojećih na razinu niskoenergetskih ili pak pasivnih, zahtjeva promjene postojećih programa izobrazbe, te razvoj novih specijaliziranih zanimanja.*

**Ključne riječi:** *energetska obnova, niskoenergetska zgrada, pasivna zgrada, potrošnja toplinske energije, troškovi građenja*

**Abstract:** *The main objective of this paper is to calculate the optimal energy construction for residential buildings regarding to the thermal insulation of external walls, and explore how quality main design can have a significant impact on better energy efficiency. In accordance with the terms of main goal, the main design was made, according to which the energy classes were calculated for the same family residential building (family house) with different thicknesses of thermal insulation of external walls (facades).*

*Energy efficiency is based on energy renewal, strategic documents and projects, regulations, energy certification and renewable energy sources. The experience of EU countries including the Republic of Croatia has shown that energy-efficient construction and renovation are currently a major challenge in the construction and related industries due to lack of qualified construction workers, institutionalized scheme of education, as well as weak market demand for low energy and passive buildings. Construction of new buildings and the renovation of existing ones with the low energy or passive standards, requires changes to existing education and training programs, also the development of new specialized professions.*

**Keywords:** *building reconstruction, low energy building, passive building, heat consumption, construction costs*

## **1. Uvod**

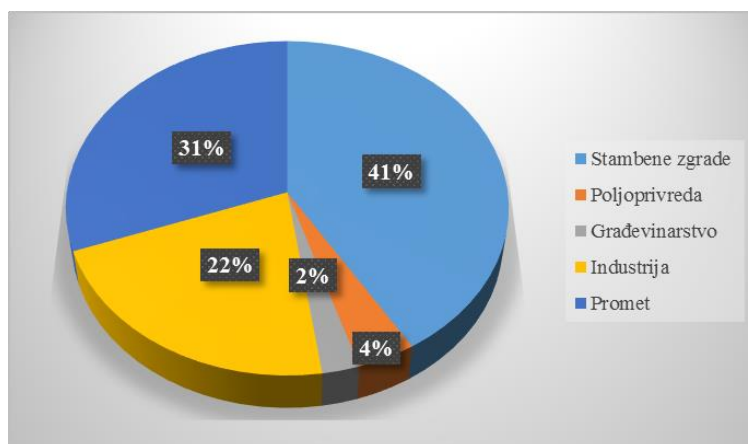
U radu je analiziran odnos troškova građenja i uporabe stambenih zgrada različitih energetske svojstava. Troškovi građenja se u radu odnose na radove izvedbe fasade, dok se troškovi uporabe odnose na potrebnu godišnju toplinsku energiju za grijanje. Prema važećoj regulativi su određeni minimalni uvjeti za postizanje toplinske zaštite stambenih zgrada, te je analiziran odnos troškova izvedbe fasade različitih debljina toplinske izolacije prema troškovima potrebne godišnje toplinske energije za grijanje.

Energetska učinkovitost u zgradarstvu i održiva gradnja te primjena obnovljivih izvora energije danas su prioriteti suvremenog graditeljstva i energetike. Zakonska regulativa i direktive Europske unije stavljaju naglasak na mjere energetske učinkovitosti, obnovljive izvore energije, zaštitu okoliša i održivu upotrebu prirodnih resursa za sve ekonomske

aktivnosti. Održivoj potrošnji energije treba dati prioritet racionalnim planiranjem potrošnje, te implementacijom mjera energetske učinkovitosti u sve segmente energetskog i ekonomskog sustava Republike Hrvatske. Zbog velike potrošnje energije u zgradama, ali i najvećeg potencijala energetske ušteda te zaštite okoliša, energetska učinkovitost, niskoenergetska i pasivna gradnja danas postaju prioriteta suvremene arhitekture i energetike. Zgrade su prepoznate kao najveći potencijal za smanjenje ukupne potrošnje energije, čime se izravno utječe na ugodniji i kvalitetniji boravak u zgradi, duži životni vijek zgrade, te se pridonosi zaštiti okoliša (Hrs Borković i sur., 2007.).

Na slici 1. je prikazan udio potrošnje konačne energije u zgradarstvu u odnosu prema ostalim sektorima (Hrs Borković i sur., 2007.).

**Slika 1.** Udio potrošnje konačne energije u zgradarstvu

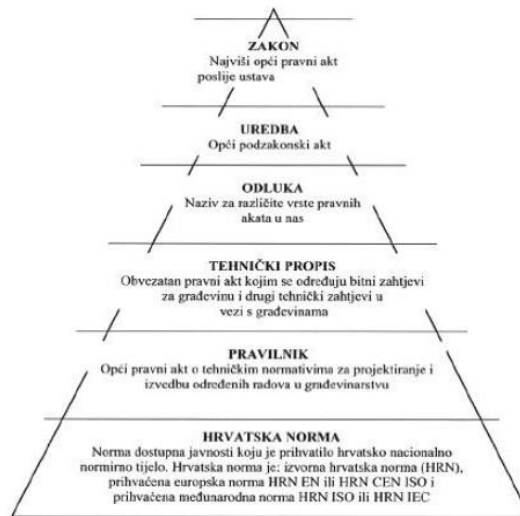


*Izvor: Hrs Borković i sur., 2007.*

## 2. Pregled važeće regulative

Općenito regulativu u Republici Hrvatskoj čine zakoni, uredbe, odluke, tehnički propisi, pravilnici i hrvatske norme. Na slici 2. je prikazana sistematizacija pravnih akata po važnosti u Republici Hrvatskoj. Najviši opći upravni akt po hijerarhiji poslije Ustava je zakon, dok je najniži hrvatska norma. Nakon zakona redom slijede uredbe, odluke, tehnički propisi i pravilnici (Zagorec, 2012.).

**Slika 2.** Sistematizacija pravnih akata po važnosti



*Izvor: Zagorec, 2012.*

Energetski učinkovite zgrade pružaju viši standard stanovanja, a obnovom po načelima energetske učinkovitosti mogu se ostvariti uštede na režijama od 30 do 60%. U konačnici smanjenje potrošnje energije, posebno fosilnih goriva dovodi do smanjenja emisije ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>) što znači manje zagađenje okoliša, a time i bolju zaštitu zdravlja stanovništva (<http://www.mgipu.hr/default.aspx?id=14520>, preuzeto 16.01.2016.).

Nedovoljna toplinska zaštita dovodi do hladnih obodnih konstrukcija, oštećenja nastalih kondenzacijom (vlagom), povećanih toplinskih gubitaka zimi te pregrijavanja prostora ljeti. Posljedice su onečišćenja konstrukcije te neudobno i nezdravo stanovanje i rad. Zagrijavanje takvih prostora zahtijeva veću količinu energije što dovodi do povećanja troškova uporabe i održavanja prostora, ali i do većeg zagađenja okoliša. Toplinska zaštita zgrada jedna je od mjera povećanja energetske učinkovitosti, koja ima najveći utjecaj na ukupnu energetske bilancu zgrade. Poboljšanje toplinske izolacijskih gubitaka topline građevine je prosječno od 30 do 80% (Hrs Borković i sur., 2007.).

### **3. Analiza tehničkih karakteristika projekta**

Predmet ovog rada je glavni projekt za ishođenje građevinske dozvole za izgradnju obiteljske stambene zgrade (obiteljske kuće). U nastavku je dan kratki tehnički opis projektiranog zahvata. Zgrada je izvedena u etažama prizemlja i kata. Nosivu konstrukciju

čine betonski temelji te zidovi od blok opeke. Stropna ploča iznad prizemlja je izvedena od punog armiranog betona. Krov je iznad dijela prizemlja ravni, dok je iznad kata kosi. Od elemenata toplinske ovojnice, projektiran je strop dijela prizemlja prema negrijanom tavanu, te zid kata također prema istom prostoru. Vanjski zidovi će se izolirati tzv. etics sustavom s toplinskom izolacijom od mineralne vune (MW) i završnim slojem. Vanjski prozori i vrata su izvedeni od pvc profila, izo ostakljeni. Zaštita od sunca je predviđena vanjskim roletama. Pod na tlu je ispod estriha izoliran kamenom vunom (MW), te dodatno ispod podne betonske ploče ekstrudiranim polistirenom (XPS). U tablici 1. su navedene glavne geometrijske karakteristike projektirane zgrade.

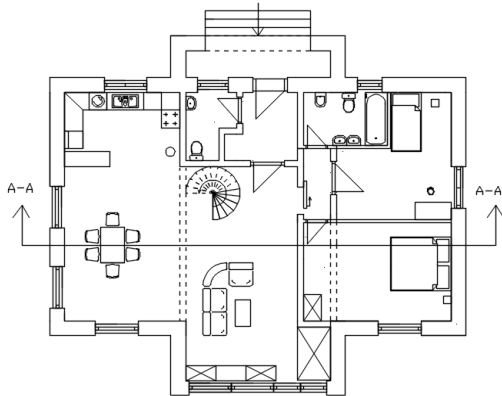
**Tablica 1.** Glavne geometrijske karakteristike

| Glavne geometrijske karakteristike stambene zgrade    |                          |        |
|-------------------------------------------------------|--------------------------|--------|
| Ploština korisne površine zgrade (grijane prostorije) | $A_k$ (m <sup>2</sup> )  | 154,67 |
| Oplošje grijanog dijela zgrade bez otvora             | (m <sup>2</sup> )        | 464,54 |
| Ploština površina vanjskih otvora (prozori i vrata)   | $A_w$ (m <sup>2</sup> )  | 30,26  |
| Ukupno oplošje grijanog dijela zgrade                 | $A$ (m <sup>2</sup> )    | 494,80 |
| Obujam (volumen)                                      | $V$ (m <sup>3</sup> )    | 534,62 |
| Faktor oblika (A/V)                                   | $f_o$ (m <sup>-1</sup> ) | 0,93   |

*Izvor: autori*

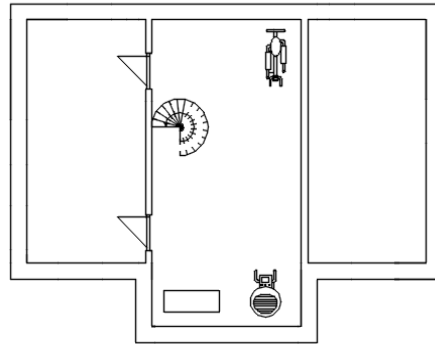
Na slikama od broja 3. do 9. prikazani su tlocrti, pročelja i presjek projektirane zgrade.

**Slika 3.** Tlocrt prizemlja

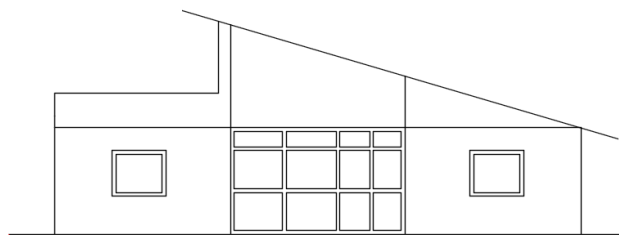


Izvor: autori

**Slika 4.** Tlocrt kata

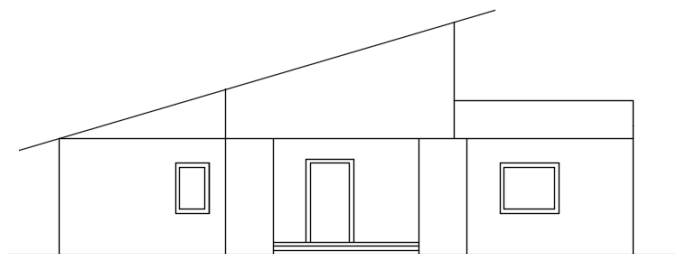


Izvor: autori



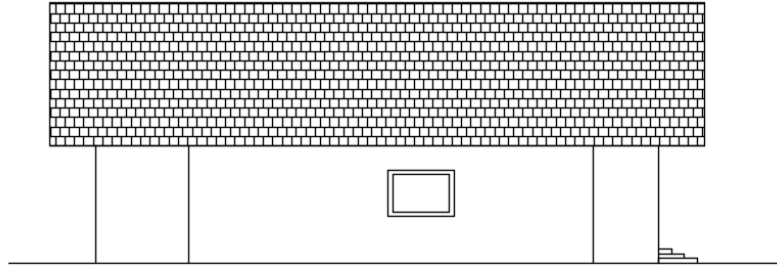
**Slika 5.** Južno pročelje

*Izvor: autori*



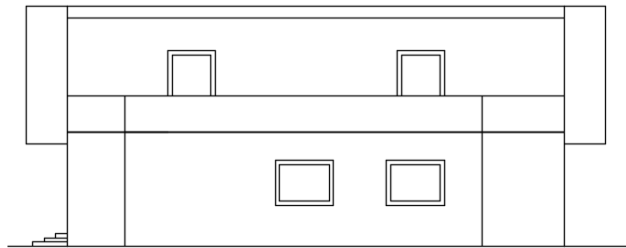
**Slika 6.** Sjeverno pročelje

*Izvor: autori*



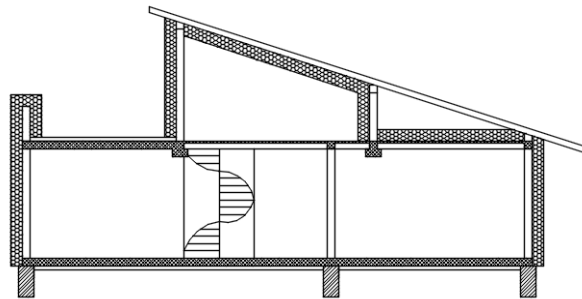
**Slika 7.** Istočno pročelje

*Izvor: autori*



**Slika 8.** Zapadno pročelje

*Izvor: autori*



**Slika 9.** Presjek A-A

*Izvor: autori*

U tablici 2. je prikazan iskaz ploština neto površina grijanih prostorija, te vanjskog prostora (označeno sivom bojom).

**Tablica 2.** Iskaz ploština neto površina grijanih prostorija i vanjskog prostora

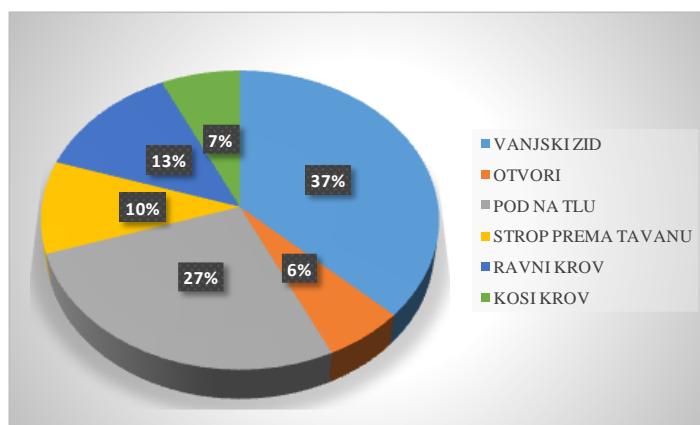
| <b>ETAŽA / Prostorija</b> |                  | <b>POVRŠINA</b>        |
|---------------------------|------------------|------------------------|
| <b>PRIZEMLJE</b>          |                  | <b>(m<sup>2</sup>)</b> |
| 1.                        | Ulazni trijem    | 7,50                   |
| 2.                        | Hodnik/garderoba | 4,62                   |
| 3.                        | Wc               | 3,78                   |
| 4.                        | Kuhinja          | 10,00                  |
| 5.                        | Dnevni boravak   | 50,00                  |
| 6.                        | Hodnik           | 3,04                   |
| 7.                        | Kupaonica        | 5,69                   |
| 8.                        | Dječja soba      | 13,16                  |
| 9.                        | Spavaća soba     | 17,87                  |
| <b>Ukupno grijani:</b>    |                  | 108,16                 |
| <b>Ukupno vanjski:</b>    |                  | 7,50                   |
| <b>KAT</b>                |                  |                        |
| 10.                       | Teretana         | 46,51                  |
| 11.                       | Terasa           | 29,24                  |
| <b>Ukupno grijani:</b>    |                  | 46,51                  |
| <b>Ukupno vanjski:</b>    |                  | 29,24                  |
| <b>SVEUKUPNO GRIJANI</b>  |                  | 154,67                 |
| <b>SVEUKUPNO VANJSKI</b>  |                  | 36,74                  |

*Izvor: autori*



Na slici 10. je prikazan udio elementa vanjske ovojnice prema zastupljenim površinama.

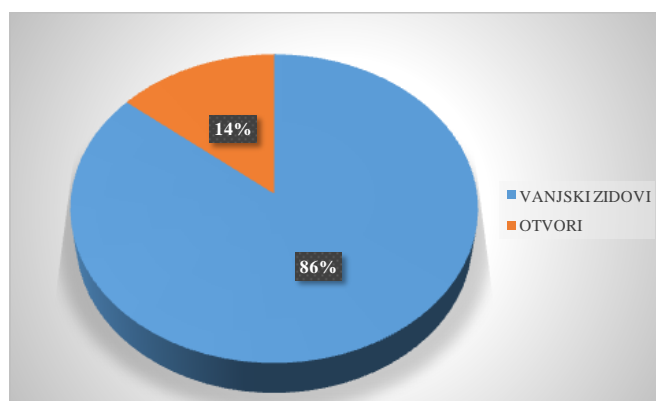
**Slika 10.** Udio elemenata vanjske ovojnice



*Izvor: autori*

Na slici 11. je prikazan udio površine otvora u odnosu na vanjske zidove.

**Slika 11.** Udio ploštine otvora



*Izvor: autori*

#### **4. Financijske i ostale analize projekta**

Za proračun energetske svojstava zgrade u ovom radu, korišten je programski paket KI Expert 2013 verzija 5.0.1.0.

##### **4.1. Proračun građevnih dijelova zgrade**

U tablici 3. su prikazane izračunate površine (A) i koeficijenti prolaska topline (U) prema vrstama građevnih dijelova (vanjski zid, zid prema tavanu, pod na tlu, strop prema tavanu, kosi i ravni krov). Koeficijenti prolaska topline za vanjski zid iznose od 0,15 do 0,95 W/m<sup>2</sup>K

jer je u radu zasebno obrađen taj dio, koji ovisi o debljini toplinske izolacije. Koeficijenti prolaska topline ostalih građevnih dijelova su nepromjenjivi. Vidljivo je da je osim za ravni krov, vrijednost koeficijenta prolaska topline znatno ispod maksimalno dopuštene za kontinentalnu Hrvatsku ( $U_{\max}$ ).

**Tablica 3.** Proračun građevnih dijelova zgrade

| Naziv građevnog dijela | A [m <sup>2</sup> ] | U [W/m <sup>2</sup> K] | U <sub>max</sub> [W/m <sup>2</sup> K] |
|------------------------|---------------------|------------------------|---------------------------------------|
| Vanjski zid            | 185,12              | 0,15 – 0,95            | 0,30                                  |
| Zid prema tavanu       | 16,10               | 0,15                   | 0,30                                  |
| Pod na tlu             | 131,66              | 0,17                   | 0,30                                  |
| Strop prema tavanu     | 34,80               | 0,17                   | 0,25                                  |
| Kosi krov              | 34,80               | 0,19                   | 0,20                                  |
| Ravni krov             | 62,06               | 0,24                   | 0,25                                  |

*Izvor: autori*

U tablici 4. je prikazan sastav vanjskog zida. Svi elementi, osim debljine toplinske izolacije, su nepromjenjivi.

**Tablica 4.** Sastav vanjskog zida

| Vanjski zid |                                                                |                        |                     |             |           |                                  |
|-------------|----------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------|-------------|-----------|----------------------------------|
| redni broj  | Materijal                                                      | d(cm)                  | $\lambda$<br>[W/mK] | $\mu$ [ - ] | sd<br>[m] | $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]<br>] |
| 1.          | Vapneno-cementna<br>žbuka                                      | 2,00                   | 1,00                | 20,00       | 0,40      | 1800,00                          |
| 2.          | Šuplji blokovi od gline                                        | 38,00                  | 0,45                | 8,00        | 3,04      | 1000,00                          |
| 3.          | Knauf Insulation ploča<br>za kontaktne fasade<br>FKD-S Thermal | od 0,00<br>do<br>20,00 | 0,035               | 1,10        | 0,00      | 100,00                           |
| 4.          | Silikatna žbuka                                                | 1,50                   | 0,90                | 60,00       | 0,90      | 1800,00                          |

*Izvor: autori*

#### 4.2. Financijske i druge analize stambene zgrade različitih svojstava

U tablici 5. su prikazani podaci o energetske svojstvima zgrade, dobiveni proračunom iz programa KI Expert, i to bez izolacije vanjskih zidova i za debljine izolacije od 0 do 12 cm. Za izračun jednostavnog perioda povrata je korištena formula dana u nastavku. Jedinični trošak opskrbe plinom iznosi 0,41 Kn/kWh kao prosjek lokalnog dobavljača. Jednostavni period povrata najjednostavniji je kriterij ekonomskog odlučivanja o ulaganjima, ali je dovoljno dobar pokazatelj isplativosti mjera poboljšanja energetske učinkovitosti.

$$JPP = \frac{\text{površina fasade} * \text{cijena fasade}}{(Q_{H, nd0cm} - Q_{H, nd5-20cm}) * \text{cijena plina}}$$

**Tablica 5.** Podaci o energetske svojstvima zgrade (od 0 do 12 cm debljine izolacije)

| Debljina izolacije (cm)                                                    | 0         | 5         | 8         | 10        | 12        |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Vanjski zidovi (U) (W/m <sup>2</sup> K)                                    | 0,95      | 0,40      | 0,30      | 0,26      | 0,22      |
| Q <sub>H,nd</sub> (kWh/a)                                                  | 17.142,01 | 9.266,30  | 7.828,42  | 7.232,30  | 6.791,83  |
| H <sub>tr,adj</sub> (W/m <sup>2</sup> K)                                   | 0,59      | 0,38      | 0,35      | 0,33      | 0,32      |
| Q <sub>H,nd</sub> (kWh/m <sup>2</sup> a)                                   | 110,83    | 59,91     | 50,61     | 46,76     | 43,91     |
| Emisija CO <sub>2</sub> (t)<br>Q <sub>H,nd</sub> x 2,02 x 10 <sup>-4</sup> | 3,46      | 1,87      | 1,58      | 1,46      | 1,37      |
| Energetski razred                                                          | D         | C         | C         | B         | B         |
| Jedinična cijena fasade<br>(kn/m <sup>2</sup> )                            | 0         | 260,00    | 280,00    | 300,00    | 330,00    |
| Trošak fasade (kn)                                                         | 0         | 48.131,20 | 51.833,60 | 55.536,00 | 61.089,60 |
| Jednostavni period povrata<br>(broj godina)                                | –         | 14,90     | 13,57     | 13,67     | 14,39     |
| JPP (broj godina) zaokruženo                                               | –         | 15        | 14        | 14        | 15        |

*Izvor: autori*

U tablici 6. (nastavak tablice 5.) su prikazani podaci o energetske svojstvima zgrade, dobiveni proračunom iz programa KI Expert za debljine izolacije od 14 do 20 cm. Vidljivo je da porastom debljine izolacije vanjskih zidova svi elementi energetske svojstava zgrade (U, H<sub>tr,adj</sub>, Q<sub>H,nd</sub> i emisija CO<sub>2</sub>) opadaju, što je i bilo za očekivati. Nasuprot tome, porastom debljine toplinske izolacije vanjskih zidova, raste cijena izrade.

**Tablica 6.** Podatci o energetskeim svojstvima zgrade (od 14 do 20 cm debljine izolacije)

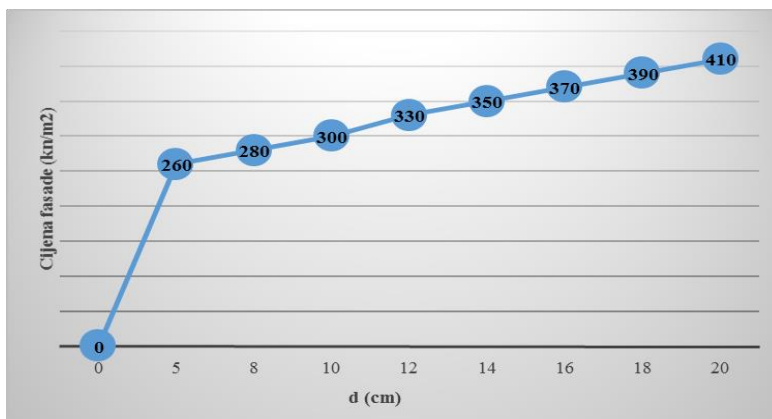
| Debljina izolacije (cm)                                                    | 14        | 16        | 18        | 20        |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Vanjski zidovi (U) (W/m <sup>2</sup> K)                                    | 0,20      | 0,18      | 0,16      | 0,15      |
| Q <sub>H,nd</sub> (kWh/a)                                                  | 6.456,11  | 6.183,61  | 5.968,24  | 5.789,99  |
| H <sub>tr,adj</sub> (W/m <sup>2</sup> K)                                   | 0,31      | 0,30      | 0,29      | 0,29      |
| Q <sub>H,nd</sub> (kWh/m <sup>2</sup> a)                                   | 41,74     | 39,98     | 38,59     | 37,43     |
| Emisija CO <sub>2</sub> (t)<br>Q <sub>H,nd</sub> x 2,02 x 10 <sup>-4</sup> | 1,30      | 1,25      | 1,21      | 1,17      |
| Energetski razred                                                          | B         | B         | B         | B         |
| Jedinična cijena fasade<br>(kn/m <sup>2</sup> )                            | 350,00    | 370,00    | 390,00    | 410,00    |
| Trošak fasade (kn)                                                         | 64.792,00 | 68.494,40 | 72.196,80 | 75.899,20 |
| Jednostavni period povrata<br>(broj godina)                                | 14,78     | 15,24     | 15,76     | 16,30     |
| JPP (broj godina) zaokruženo                                               | 15        | 16        | 16        | 17        |

*Izvor: autori*

Temeljem dobivenih podataka u tablicama 5. i 6. izrađeni su grafički prikazi dani u nastavku rada, sa zapažanjima i zaključcima.

Na slici 12. je prikazan odnos debljine izolacije (d) i troškova izvođenja fasade (cijena).

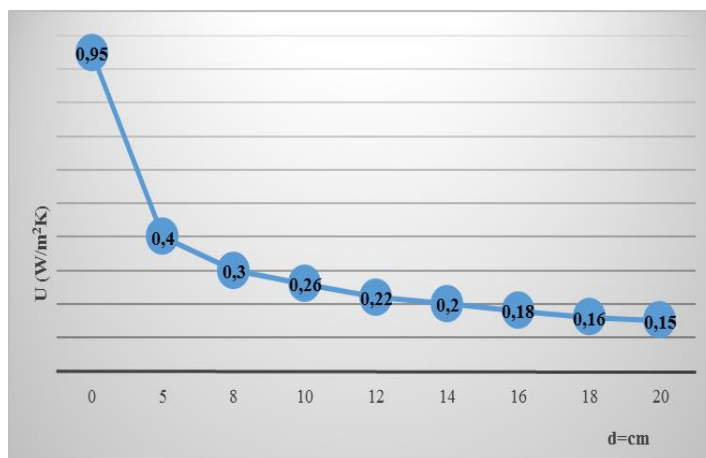
**Slika 12.** Odnos debljine izolacije i troškova fasade



*Izvor: autori*

Na slici 13. je prikazan odnos koeficijenta prolaska topline (U) i debljine izolacije (d). Vidljiva je najveća razlika između vanjskog zida bez ikakve izolacije (0 cm) i onog s minimalnom debljinom od 5 cm, koja iznosi 0,55 W/m<sup>2</sup> K, odnosno koeficijent U se poboljšava za 58%. Debljina izolacije od 8 cm zadovoljava uvjet maksimalnog dopuštenog koeficijenta U od 0,30 W/m<sup>2</sup>K.

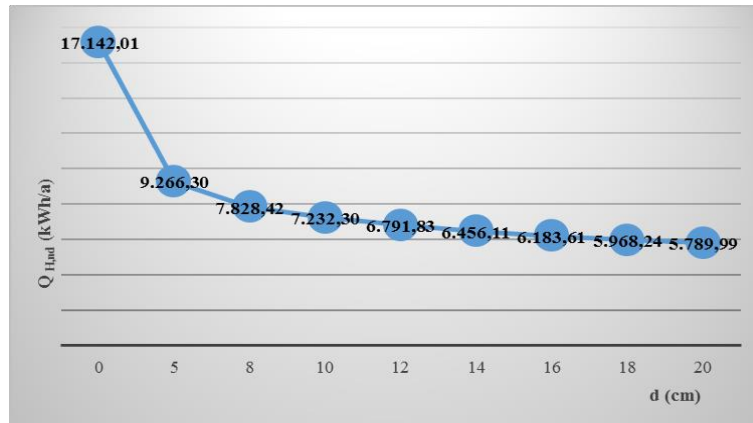
**Slika 13.** Odnos koeficijenta prolaska topline i debljine izolacije



*Izvor: autori*

Na slici 14. je prikazan odnos godišnje potrebne energije za grijanje ( $Q_{H,nd}$ ) i debljine izolacije (d).

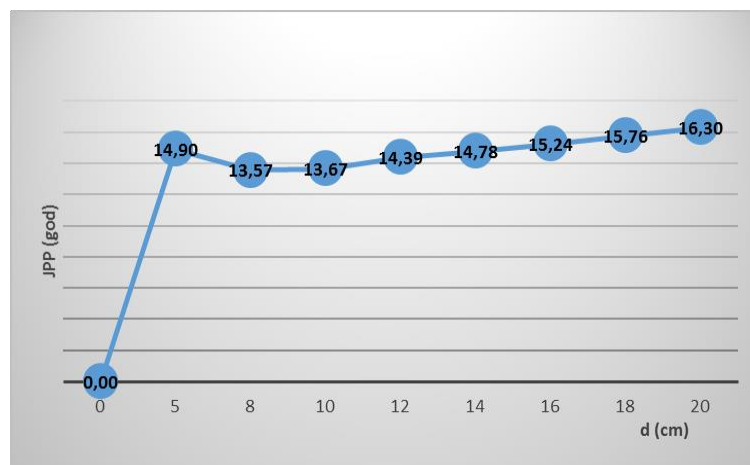
**Slika 14.** Odnos godišnje potrebne energije za grijanje i debljina izolacije



*Izvor: autori*

Na slici 15. je prikazan odnos debljine izolacije (d) i jednostavnog perioda povrata (JPP). Optimalna izgradnja je debljina izolacije vanjskog zida od 8 i 10 cm. Povrat investicije u tom području iznosi zaokruženo 14 godina. Daljnje povećanje debljine pridonosi povećanju broja godina jednostavnog perioda povrata investicije.

**Slika 15.** Odnos debljine izolacije i jednostavnog perioda povrata



*Izvor: autori*

## 5. Zaključak

U radu su detaljno prikazani rezultati analize energetske učinkovite zgrade s različitim debljinama toplinske izolacije vanjskih zidova u obliku izračuna, tablica i grafova. Za primjer obiteljske stambene zgrade (obiteljske kuće) izračunata je optimalna debljina izolacije od 10 cm. U tom slučaju jednostavni period povrata investicije (JPP) iznosi 14 godina. Daljnjim povećanjem debljine izolacije povećava se i jednostavni period povrata investicije. Međutim, ne može se temeljem navedenoga zaključiti da daljnje povećanje debljine izolacije nije isplativo, jer se izračunata godišnja toplinska energija potrebna za grijanje prostora smanjuje, a samim time i troškovi. Kako je za očekivati da će cijena energije u budućnosti rasti, tako će i značajno izolirane zgrade imati brži povrat investicije.

Nakon provedene analize odnosa troškova građenja i uporabe stambenih zgrada različitih energetske svojstva, može se zaključiti da je izgradnja energetske učinkovite zgrade, doista, isplativa investicija.

## Literatura

1. Hrs Borković, Ž.; Krstulović V.; Perović M.; Petrić H.; Prebeg F.; Vugrinec D., Zidar M. (2007). Održiva gradnja i energetska učinkovitost. Zagreb, Energetski institut Hrvoje Požar i Graditeljska škola Čakovec
2. <http://www.mgipu.hr/default.aspx?id=14520> (16.01.2016.)
3. Zagorec, M. (2012). „Zgradarstvo – građevinska regulativa“. U: Sabor hrvatskih graditelja (ur. Stjepan Lakušić). Cavtat, Hrvatski savez građevinskih inženjera, str. 1065-1076.
4. Zakon o gradnji. NN 153/13.