

# ENERGETSKA ANALIZA ZGRADE SIGURNE KUĆE I POBOLJŠANJE NJENE ENERGETSKE EFIKASNOSTI PRIMENOM TOPLOTNE PUMPE

## ENERGY ANALYSIS OF "SAFE HOUSE" BUILDING AND ENERGY IMPROVEMENT BY HEAT PUMP IMPLEMENTATION

VLADIMIR ČERNICIN, UROŠ MILOVANČEVIĆ\*  
Mašinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija

*Poslednjih decenija velika potrošnja energije u zgradama sve više uzima maha. Sve većom naseljenošću i većim potrebama ljudi za komforom, potrebe za energijom skokovito rastu. Uzimajući u obzir iscrpnost rezervi mnogobrojnih energenata i energetski neefikasan rad termotehničkih sistema, pristupa se njihovoj optimizaciji. Pri takvoj optimizaciji treba naročito voditi računa da se uštedom ne naruše uslovi komfora.*

*U cilju promovisanja poboljšanja energetske efikasnosti u zgradama, za primer je uzet objekat Sigurne kuće u Beogradu. Isprojektovan je sistem toplovodnog radijatorskog grejanja sa toplotnom pumpom kao efikasnim izvorom toplote. Potom su određena energetska svojstva objekta i sprovedena je analiza potrošnje energije i emisije CO<sub>2</sub> za implementirani sistem.*

**Ključne reči:** sistem grejanja; toplotna pumpa; energetska efikasnost; unapređenje; CO<sub>2</sub>

*Last few decades energy consumption in buildings increases. With higher population and bigger requirements for comfort, energy needs grow exponential. Concerning dispensation the reserves of many energy fuels and energy ineffective work of HVAC systems, their optimization must be done. In such optimization, particular care should be taken not to damage the thermal comfort.*

*In order to promote improvement of energy efficiency in buildings, for example, the Safe House building in Belgrade was taken. A system of hot-water heating with a radiators and heat pump as an efficient source of heat is designed. Afterwards, the energy performances of the building were determined and an analysis of the energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions was carried out for implemented system.*

**Key words:** heating system; heat pump; energy efficiency; improvement; CO<sub>2</sub>

### 1 Uvod

Objekat Sigurna kuća je objekat namenjen smeštaju i zaštiti žena i dece ugroženih nasiljem. U samom objektu, na osnovu izjava stanovnika kuće, nisu ispunjeni uslovi termičkog komfora u zimskom periodu, a eksploatacioni troškovi su izuzetno veliki. Pored toga, postoji i izvesno neefikasno korišćenje energije.

Naime, u objektu ne postoji nijedan instalisan centralni sistem grejanja, već se celokupno zagrevanje prostorija vrši lokalno uz pomoć postojećih električnih grejalica, koje nisu dovoljne da pokriju toplotne gubitke tokom zime. Vremenski dug rad električnih grejalica znatno utiče na povećanje računa električne energije što dovodi do potpune neisplativosti sistema. Objekat koji koristi u toj meri električnu energiju je sa strane energetske efikasnosti neprihvatljiv.

Zbog primarnog zahteva za adekvatnim i efikasnim sistemom centralnog grejanja pristupilo se izboru i dimenzionisanju novog sistema za grejanje. Novi sistem ima pre svega obavezu da ispuni uslove komfora i da direktno smanji eksploatacione troškove, a potom da se uzme u obzir njegov uticaj na energetska efikasnost.

Za izvor toplote ovog sistema odabrana je toplotna pumpa, kod koje je vazduh izvor toplote (vazduh-voda). Zbog primena ovakvog tipa izvora, ceo sistem je dimenzionisan da radi u niskotemperaturnom režimu 55/40 °C. To znači da će grejna tela imati veću grejnu površinu. Grejna tela usvojena za potrebe nadomešćivanja toplotnih gubitaka u prostorijama su radijatori, dok su u kupatilima usvojeni sušači peškira. Grejni fluid se od toplotne pumpe do grejnih tela razvodi sistemom plastičnih cevi pod tavanicom prizemlja. Ovakav predviđeni sistem će nadalje biti dimenzionisan i grejne snage svih jedinica će biti određene.

### 2 Objekat i toplotni gubici

Posmatrani objekat jedan je od tri objekta na parceli namenjenih smeštaju žena i dece. Objekat je neto površine 411 m<sup>2</sup> i sastoji se od dve zasebne i simetrične celine. Svaka celina ima sopstveni spoljašnji ulaz u objekat. Spratnosti je P+1, tj. ima prizemlje i jedan sprat. Podrum ne postoji i krovni prostor nije iskorišćen kao tavanski prostor.

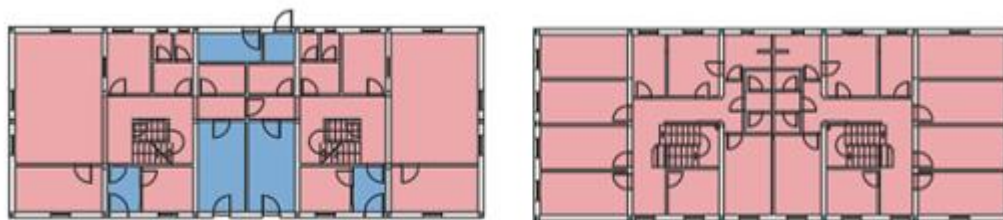
Što se tiče izloženosti objekta vetru, objekat zaklanjaju s dve strane druga dva objekta i štite od prekomernog uticaja vetra. Ova zaklonjenost ne utiče na neosunčanost objekta i on ima adekvatnu količinu Sunčevog zračenja tokom dana, što utiče na smanjenje gubitaka toplote.

Pre definisanja termičkog omotača, bilo je potrebno analizirati namene pripadajućih prostorija. U prizemlju kuće nalaze se uglavnom prostorije namenjene za boravak žena i dece tokom dana, kao i prostorije koje služe za pokrivanje njihovih svakodnevnih potreba. Prostorije na spratu su spavaonice za stanare kuće. Sve ove prostorije su definisane kao

\* Autor za korespondenciju: umilovancevic@mas.bg.ac.rs

grejane prostorije i za zadovoljavanje njihovih potreba biće dimenzionisan sistem. Temperatura unutar ovih prostorija je 20 °C.

Prostorije koje imaju spoljašnja vrata, koja predstavljaju odvojenu celinu i u kojima ljudi malo borave su definisane kao negrejane prostorije. Te prostorije su ulazi, ostave i mašinska sala. Temperatura unutar ovih prostorija je 12 °C. Specijalan slučaj je krovni prostor kome stanari nemaju pristupa i njegova temperatura je 6°C.



Slika 1. Termički omotač objekta

Sa definisanjem termičkog omotača (slika 1), potrebno je bilo analizirati i njegove granice. Pod granicama se svrstavaju kontaktne površine između grejanih prostorija i spoljašnje sredine, kao i između grejanih i negrejanih prostorija. Odnosno, sama analiza se svela na analizu građevinske fizike i određivanje koeficijenata prolaza toplote (tabela 1).

Tabela 1. Karakteristike građevinskih pregrada

| Podaci o termičkom omotaču zgrade                  | $U$<br>[W/(m <sup>2</sup> K)] | $U_{max}$<br>[W/(m <sup>2</sup> K)] | Ispunjeno<br>DA / NE |
|--|-------------------------------|-------------------------------------|----------------------|
| Spoljni zidovi                                     | 0,28                          | 0,40                                | DA                   |
| Pod na tlu   | 0,56                          | 0,40                                | NE                   |
| Pod na tlu   | 1,32                          | 0,40                                | NE                   |
| Međuspratna konstrukcija iznad negrejanog prostora | 1,33                          | 0,40                                | NE                   |
| Međuspratna konstrukcija ka negrejanom prostoru    | 1,72                          | 0,40                                | NE                   |
| Unutrašnji zidovi ka negrejanom prostoru           | 1,3                           | 0,55                                | NE                   |
| Prozori grejanih prostorija                        | 1,8                           | 1,50                                | NE                   |

Koeficijenti prolaza toplote računati su na osnovu formula za netransparentne i za transparentne površine za sve tipске građevinske elementa. Prema dobijenim vrednostima, primećuje se da su samo spoljni zidovi koji su sastavljeni od gas-betonskih blokova (ytong) u opsegu propisanih vrednosti. Kod ostalih elemenata vrednosti prevazilaze maksimalne, pa će ti građevinski elementi biti predmet za predlaganje mera poboljšanja u daljem tekstu.

Na osnovu određenih vrednosti koeficijenata prolaza toplote pristupa se određivanju ukupnih gubitaka toplote za ceo objekat. Gubici toplote su računati za svaku grejanu prostoriju zasebno u skladu sa standardom SRPS EN 12831 iz 2003. godine, a nakon toga su te vrednosti sumirane. Gubici obuhvataju transmissive i ventilacione gubitke, kao i dodatni gubici usled prekida u grejanju. Ukupan gubitak toplote za ceo objekat računat za spoljnu projektnu temperaturu od -12,1 °C (Beograd) iznosi 36 kW.

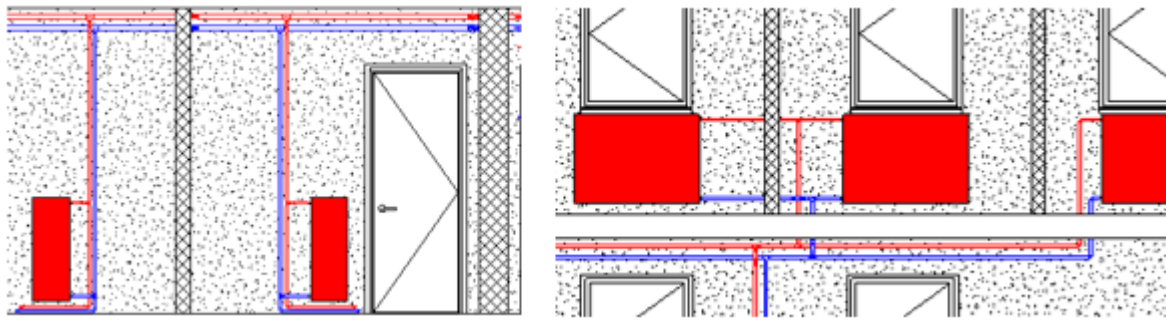
### 3 Dimenzionisanje sistema za grejanje

Nakon određivanja ukupnih gubitaka toplote, izvršen je izbor i dimenzionisanje grejnih tela. Za sve grejane prostorije, izuzev toaleta i kupatila, usvojeni su člankasti radijatori. U kupatilima su predviđeni sušači peškira, dok u toaletima nisu predviđena grejna tela zbog malih toplotnih gubitaka i male površine prostorija.

Proračun kod člankastih radijatora je sproveden prvo za određivanje odavanja toplote po članku. Nominalno odavanje toplote jednog članka u nominalnom režimu je korigovano za zadat niskotemperaturni režim. Tako je vrednost po proizvođaču korigovana i dobijena je stvarna vrednost. Potom je na osnovu gubitaka toplote po prostorijama određen broj članaka po prostorijama i time su dimenzionisani radijatori. Slična metoda primenjena je pri određivanju sušača peškira sa izuzetkom nepostojanja članaka, već korigovanjem potrebne površine grejnog tela.

Radijatori su smešteni većinski pod parapete prozora i delom u hodnicima. Okačeni su o nosače i konzole na adekvatnoj visini i udaljenosti od zida. Za kupatila usvojeni su sušači peškira i postavljeni na slobodne zidove.

Za sistem distribucije grejnog fluida od toplotne pumpe do grejnih tela predviđene su plastične cevi. Glavne deonice mreže vode se pod plafonom prizemlja paralelno jedna iznad druge oslanjajući se na zidove. Iz glavnih deonica vertikalno se spuštaju priključci do grejnih tela (prizemlje) ili podižu probijajući ploču sprata (prvi sprat).



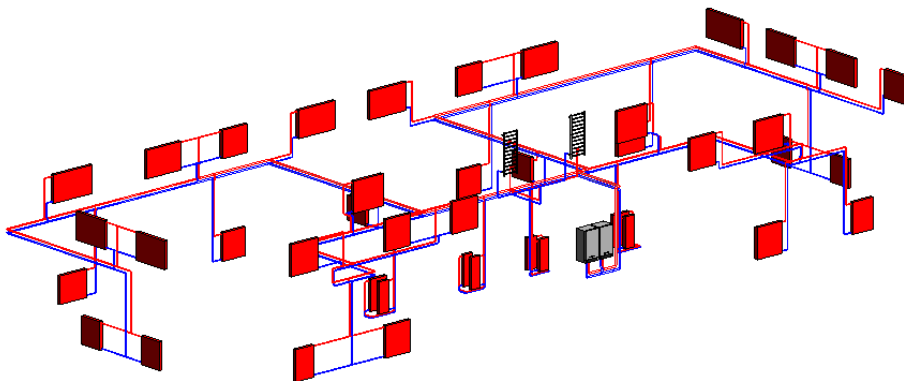
Slika 2. Postavljanje grejnih tela i vođenje mreže

Da bi se dimenzionisala ova mreža (slike 2 i 3), odnosno odredili prečnici cevi, primenjene su dve metode. Prva metoda se zasnivala na određivanju prečnika cevi na osnovu preporučenih brzina strujanja u deonicama, dok je druga pratila dozvoljene vrednosti jediničnog pada pritiska usled trenja. Ove dve metode su vršene uporedo radi nalaženja optimalnog prečnika za neku deonicu, gde je prečnik prvo bio definisan na osnovu brzina strujanja, a potom sa nalaženjem jediničnog pada pritiska bio eventualno korigovan.

Parelelno sa određivanjem prečnika cevi vršen je proračun pada pritiska za svako grejno telo posebno. Ukupni pad pritiska za neko telo obuhvatao je pad pritiska usled trenja i pad pritiska usled lokalnih otpora na deonicama od toplotne pumpe do tog grejnog tela.

Na osnovu proračuna određeno je da pad pritiska iznosi 9 kPa za najnepovoljnije grejno telo. U odnosu na njega, bilo je potrebno izvršiti regulaciju cevne mreže, da bi i ostala grejna tela dobila potrebni protok.

Sama predregulacija protoka i balansiranje cevne mreže izvršeno je na radijatorskim navijcima. Zbog relativno proste cevne mreže za balansiranje nije bilo potrebe koristiti set balansnih ventila. Takođe, iz razloga pojave različitih subjektivnih utisaka stanara, uvedena je dodatna, lokalna regulacija temperature. Za lokalnu regulaciju predvedine su termostatske glave, gde svaki stanar u svojoj sobi može da podesi željenu temperaturu.



Slika 3. Izometrijska šema

Sa dimenzionisanjem grejnih tela i cevne mreže definisan je većinski sistem centralnog grejanja. Kako bi se priča zaokružila, potrebno je bilo odabrati adekvatnu toplotnu pumpu koja bi nadomestila toplotne gubitke i uz nju prateću opremu.

Usvojene su dve toplotne pumpe snage po 16 kW. Toplotne pumpe su paralelno spregnute. Paralelna veza ove dve toplotne pumpe predstavlja bazni izvor toplote, a za pokrivanje vršnog toplotnog opterećenja koristili bi se električni grejači unutar njih. Koeficijent grejanja ( $COP_g$ ) se kreće oko 4 za ove toplotne pumpe.

Kao deo prateće opreme usvojena su dva bojlera kapaciteta oko 400 l. Prvi je međubojler namenjen za zagrevanje vode u instalaciji, dok je drugi bojler namenjen za pripremu potrošne tople vode. Takođe, dimenzionisan je i usvojen zatvoreni ekspanzioni sud kapaciteta 18 l. Ekspanzioni sud je namenjen za prihvatanje vode usled temperaturskog širenja.

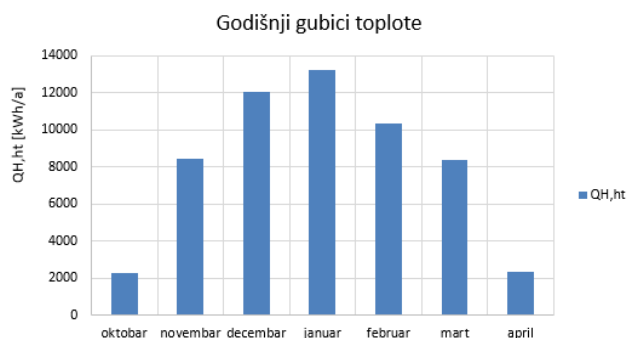
Celokupna oprema smeštena je u mašinskoj sali, izuzev spoljašnjih jedinica toplotnih pumpi koje se nalaze na fasadi objekta. Unutrašnje jedinice toplotnih pumpi su zidnog tipa, okačene na nosače na unutrašnji zid. Uz glavnu opremu, u mašinskoj sali predviđena je i prateća armatura i sistem automatizacije sistema sa odgovarajućom regulacijom.

## 4 Određivanje energetskeg razreda

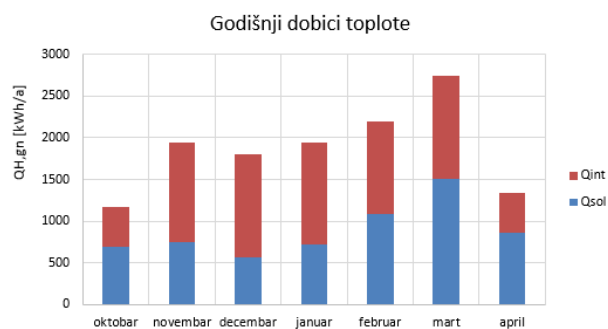
Određivanje energetskeg razreda zgrade predstavlja ništa drugo nego određivanje godišnje potrebne toplote za grejanjem te zgrade. Ova količina toplote zavisi od energetskeg karakteristika samog objekta, ne sistema, tako da se energetska analiza postojećeg ili implementiranog sistema neće uzimati u obzir. Analiza je vršena za stanje objekta zatečeno nakon energetskeg pregleda.

Da bi se odredila godišnja potrebna toplota za grejanjem, potrebno je bilo proračunati godišnje gubitke i dobitke toplote u toku grejne sezone. Godišnji toplotni gubici objekta (slika 4) nisu računati kao u prethodnom slučaju za jedan trenutak kad je dostignuta spoljna projektna temperatura, već za celu grejnu sezonu po mesecima. Samim tim, primenjena je druga metoda proračuna, metoda stepen dan (HDD).

Godišnji toplotni dobitci objekta (slika 5) računati su kao suma dobitaka toplote od Sunčevog zračenja i od unutrašnjih izvora toplote u toku grejne sezone. Dobici od Sunčevog zračenja obuhvataju dobitke kroz transparentne površine (veći deo) i dobitke kroz netransparentne površine usled akumulacije toplote u njima (manji deo). Dobici toplote od unutrašnjih izvora uzeli su u obzir odavanje toplote od ljudi i od svih većih električnih uređaja.



Slika 4. Godišnji gubici toplote



Slika 5. Godišnji dobitci toplote

Godišnja potrebna toplota za grejanje je izračunata kao prosta razlika ukupnih gubitaka i dobitaka toplote, sa korekcijom dobitaka faktorom iskorišćenja. Vrednost koja je dobijena je 44208 kWh/a, odnosno 115 kWh/m<sup>2</sup>a ukoliko se sveđe na jedinicu površine i odnosi se na celu grejnu sezonu.

Na osnovu specifične godišnje potrebne toplote za grejanje (svedena na jedinicu površine) izračunata je relativna vrednost godišnje potrošnje finalne energije na osnovu koje se utvrđuje energetskeg razred zgrade. Utvrđeno je proračunom da je energetskeg razred stambenog objekta Sigurne kuće razred E. Na osnovu ovog razreda se zaključuje da objekat nema najlošije uslove, ali da je i daleko od zadovoljavajućeg za postojeće zgrade. Iz tog razloga, predlaže se niz mera radi poboljšanja energetskeg karakteristika samog objekta.

Kad su mere unapređenja u pitanju, treba početi prvo od mera koje utiču na sam građevinski omotač zgrade. Već je pokazano da spoljni zidovi zadovoljavaju uslove, tako da je bilo kakva korekcija oko njih suvišna. Takođe, ni prozori objekta nemaju kritične vrednosti koeficijentata prolaza toplote da bi se investicija njihove zamene pokazala isplativom. Podovi sa pločicama i međuspratna konstrukcija ka krovnom prostoru su kontaktne površine preko kojih se odvija najveća razmena toplote. Iz tog razloga, glavna mera unapređenja bi se morala odnositi na izolovanje ovih građevinskih elemenata. Takođe, preporučljivo je i dodatno izolovanje unutrašnjih zidova koji su u kontaktu sa negrejanim prostorijama.

Pored mera koje utiču na energetskeg razred, predložene su i mere koje ne mogu dovesti do njegovog poboljšanja, ali su bitne kad je u pitanju opšta energetska efikasnost. One se tiču optimizacije samog sistema. Prva mera je i suština ovog rada, odnosno implementiranje novog i efikasnijeg sistema za grejanje. Druga mera uzima u obzir korišćenje obnovljivih izvora energije, pa je predložena ugradnja solarnih kolektora za pripremu sanitarne tople vode.

## 5 Ostvarena unapređenja primenom toplotne pumpe

Sa sigurnošću da će implementacija novog sistema za grejanje obezbediti traženi termički komfor, preostalo je da se utvrdi i pretpostavka da će se taj sistem pokazati efikasnijim od prethodnog. Imajući to u vidu, nastavak proračuna vezan za energetskeg efikasnost sproveden je uporedo za postojeći i novi sistem. Iz njega su usledili sledeći rezultati koji su potvrdili prethodnu pretpostavku.

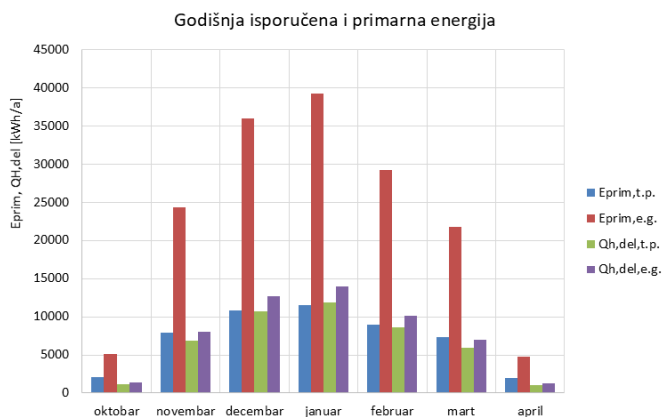
Tabela 2. Rezultati uporednog proračuna

| Izvor toplote        | QH,del [kWh/a] | Eprim [kWh/a] | CO <sub>2</sub> [kg/a] | CO <sub>2</sub> * [kg/m <sup>2</sup> a] |
|----------------------|----------------|---------------|------------------------|---|
| Električna grejalica | 54578          | 160317        | 84968                  | 222                                     |
| Toplotna pumpa       | 46031          | 50587         | 26811                  | 70                                      |

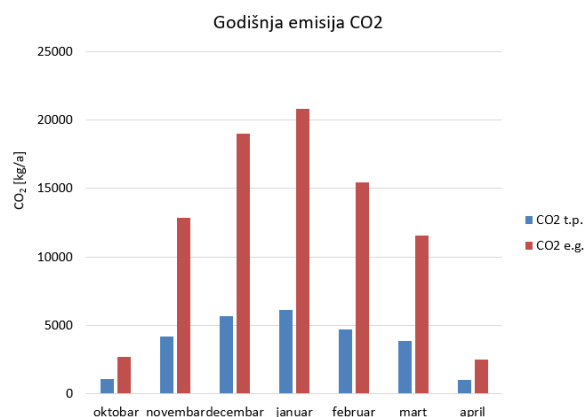
Godišnja isporučena toplota za grejanje od strane sistema (QH,del) se ne razlikuje mnogo za oba sistema. Za električne grejalice je nešto veća, ali ne značajno da bi se investicija toplotne pumpe pokazala isplativom. Prva velika razlika se odražava u vrednostima primarne energije (Eprim, slika 6), gde je potrebna godišnja primarna energija za rad

toplotne pumpe tri puta manja. Velika vrednost kod električne energije je razumljiva s obzirom na transformacije u termoelektranama za dobijanje iste.

Značajno smanjenje emisije CO<sub>2</sub> (slika 7) se obezbeđuje implementacijom toplotne pumpe (tri puta manje) bilo da se posmatra vrednost za ceo objekat ili pak da je svedeno po jedinici površine. Ovaj faktor je veoma bitan kad je u pitanju zaštita životne okoline.



Slika 6. Godišnja isporučena i primarna energija



Slika 7. Godišnja emisija CO<sub>2</sub>

Pored energetske isplativosti uvođenja ovakvog sistema, ispitana je i materijalna isplativost. Naime, zbog specijalnog zahteva stanara da se smanje godišnji računi za grejanje, ispitano je da li će primena toplotne pumpe uticati na smanjenje eksploatacionih troškova.

Ponovnim poređenjem postojećeg i novog sistema i proračunom u skladu sa realnim cenama električne energije ostvarena je ušteda do 74 % u godišnjim računima sa primenom toplotne pumpe.

U potrebnu finalnu analizu troškova potrebno je bilo još uvrstiti i period povraćaja investicije. Nakon dimenzionisanja kompletnog sistema odrađen je predmer i predračun svih elemenata i usluga izvođača preko čega je dobijena vrednost celokupne investicije. Jednostavnim deljenjem investicije implementiranja sistema i ostvarene uštede u novcu, dobilo se da je period povraćaja investicije do šest godina.

Ovakav rezultat je više nego dobar i savetuje se implementacija sistema. Očekuje se da taj period bude još kraći ukoliko se vremenske prilike pokažu povoljnim za efikasniji rad sistema.

## 6 Zaključak

U ovom radu navedeni najvažniji zaključci iz master rada sa sažetim objašnjenjima. Za potpuniju analizu, potrebno je koristiti se izvorima iz literature. Proračunima koji su sprovedeni, dokazano je da električna energija zbog složenog procesa transformacije nije uopšte efikasan izvor toplote i da je treba izbegavati za grejanje. Takođe, zbog visoke emisije CO<sub>2</sub> njeno korišćenje nije dobro za okolinu. Sa materijalnog aspekta, ovakav vid je grejanja je skup i neisplativ za pokrivanje većih toplotnih gubitaka.

Nasuprot tome, toplotna pumpa se pokazala kao adekvatan izvor toplote i sa energetske i sa praktične strane. Njenom primenom obezbeđen je termički komfor za stanare Sigurne kuće i niži troškovi tokom eksploatacije. Iz ugla energetske efikasnosti, toplotna pumpa se pokazala kao odličan izbor za uštedu energije i smanjenje emisije štetnih gasova. U suštini, ovakav koncept je daleko efektivniji ukoliko ne služi kao rešenje za jedan problem, već može da bude deo sistemskog razvoja za uštedu energije u zgradarstvu.

## 7 Literatura

- [1] Todorović, M., M. Ristanović, *Efikasno korišćenje energije u zgradama*, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija, 2015.
- [2] Todorović, B., *Projektovanje postrojenja za centralno grejanje*, Mašinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija, 2009.
- [3] Černicin V., *Energetska analiza objekta Sigurne kuće i unapređenje primenom toplotne pumpe*, Master rad, Mašinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2018.
- [4] Markoski, M., *Rashladni uređaji I i II deo*, Mašinski fakultet Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija, 2013.
- [5] \*\*\*, *Pravilnik o energetskej efikasnosti zgrada*, Službeni glasnik R.S, Beograd, br. 61/2011
- [6] \*\*\*, *Standard SRPS EN 12831*, 2003

