

# Analiza potrošnje energije s prijedlogom mjera energetske učinkovitosti u zgradi Sveučilišta

---

Leskovar, Martina

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:618838>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-23**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET**

**MARTINA LESKOVAR**

**ANALIZA POTROŠNJE ENERGIJE S PRIJEDLOGOM MJERA  
ENERGETSKE UČINKOVITOSTI U ZGRADI SVEUČILIŠTA**

**DIPLOMSKI RAD**

**VARAŽDIN 2023.**

Sazivam članove ispitnog povjerenstva  
za 25. 09. 2023. u 9 sa  
Obranu ovog rada kandidat će izvršiti i pred  
ispitnim povjerenstvom u Varaždinu  
Varaždin, 11. 09. 2023.

Predsjednik  
ispitnog povjerenstva:

*Prof. dr. sc. Saša Karoć*

**Članovi povjerenstva**

- 1) Doc. dr. sc. Vlasta Zouki
- 2) Prof. dr. sc. Aleksandra Anić Vučićević
- 3) Doc. dr. sc. Viktor Prer

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET**

**DIPLOMSKI RAD**

**ANALIZA POTROŠNJE ENERGIJE S PRIJEDLOGOM MJERA  
ENERGETSKE UČINKOVITOSTI U ZGRADI SVEUČILIŠTA**

**KANDIDAT:**

**Martina Leskovar**



**MENTOR:**

**Doc. dr. sc. Vlasta Zanki**

**VARAŽDIN, 2023.**

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom:

ANALIZA POTROŠNJE ENERGIJE S PRIJEDLOGOM MJERA ENERGETSKE UČINKOVITOSTI U ZGRADI SVEUČILIŠTA

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenom i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom doc. dr. sc. Vlaste Zanki

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 11.09.2023.

MARTINA LESKOVAR

(Ime i prezime)



(Vlastoručni potpis)

## **IZJAVA MENTORA O POSTOTKU SLIČNOSTI DIPLOMSKOG RADA S VEĆ OBJAVLJENIM RADOVIMA**

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom:

### **Analiza potrošnje energije s prijedlogom mjera energetske učinkovitosti u zgradi Sveučilišta**

pregledan anti-plagijat programskim paketom PlagScan te da postotak sličnosti cjelovitog diplomskog rada, s već objavljenim radovima, ne prelazi 20%, kao i da pojedinačni postotak sličnosti diplomskog rada sa svakom literaturnom referencom pojedinačno ne prelazi 5%.

U Varaždinu, \_6.09.2023.

Doc.dr.sc. Vlasta Zanki  
(Mentor)



---

(Vlastoručni potpis)

# SAŽETAK

**Ime i prezime autora:** Martina Leskovar

**Naslov rada:** Analiza potrošnje energije s prijedlogom mjera energetske učinkovitosti u zgradi Sveučilišta

Potrošnja energije u zgradama čini preko 45% potrošnje energije u ukupnoj potrošnji energenata u Republici Hrvatskoj. Brojne zgrade u Republici Hrvatskoj spadaju u grupe niskih energetske razreda te im je potrebna energetska obnova. Europskim se direktivama, strategijama i programima Vlade Republike Hrvatske potiče obnavljanje takvih zgrada. U ovom radu opisano je stanje zgrade koja je dio zgrada javnog sektora i koju koristi Geotehnički fakultet te je analizirana potrošnja električne energije, prirodnog plina i vode. Također su dane vrijednosti indikatora koje jasno prikazuju potrošnju zgrade Fakulteta i detaljno su analizirani troškovi te emisije koje nastaju potrošnjom energenata. Da bi došlo do smanjenja potrošnje energenata, u radu su predložene mjere energetske učinkovitosti koje bi se mogle provesti te je dana i preliminarna financijska analiza. Provedbom mjera bi se dovelo do značajnog povećanja kvalitete energetske stanja zgrade što bi pripomoglo u borbi protiv klimatskih promjena i težnjom za stvaranjem ugljično neutralne Europe.

**Ključne riječi:** potrošnja energije, energenti, javne zgrade, mjere energetske učinkovitosti

## **ABSTRACT:**

**Name and surname:** Martina Leskovar

**Title:** The analysis of energy consumption with proposed energy efficiency measures for a University building

Energy consumption in buildings accounts for over 45% of energy consumption in the total energy consumption in Croatia. Many public buildings in Croatia belong to groups of low energy efficiency classes and need renovation. European directives, strategies and Croatian government programs encourage the restoration of such buildings. This paper describes the condition of the building that is part of public sector and is used by the Faculty of Geotechnical Engineering and the consumption of electricity, natural gas and water is analyzed. Also, the values of indicators that show energy consumption of the Faculty building are given and the costs of consumed energy and generated emissions are analyzed. In order to reduce energy consumption, the paper represents energy efficiency measures that could be implemented and their preliminary financial analysis is provided. The implementation of the measures would lead to a significant increase in the quality of the energy state of the building, which would help fight climate change and the aspiration to create a carbon neutral Europe.

**Key words:** energy consumption, energy sources, public buildings, energy efficiency measures



# SADRŽAJ RADA

<b>1</b>	<b>UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>PROGRAMI OBNOVE JAVNIH ZGRADA.....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>ANALIZA POTROŠNJE ENERGIJE I EMISIJE CO<sub>2</sub> S KLJUČNIM INDIKATORIMA.....</b>	<b>5</b>
3.1	Opis zgrade Geotehničkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu .....	5
3.2	Analiza potrošnje energije.....	6
3.2.1	Potrošnja električne energije.....	7
3.2.2	Potrošnja toplinske energije.....	8
3.2.3	Potrošnja vode.....	10
3.2.4	Potrošnja energenata i vode prema broju osoba i površini zgrade .....	11
3.3	Analiza troškova.....	12
3.3.1	Troškovi energenata i vode prema broju osoba i površini zgrade .....	16
3.4	Emisije CO <sub>2</sub> s ključnim indikatorima .....	17
<b>4</b>	<b>OPIS TERMOTEHNIČKIH SUSTAVA U ZGRADI.....</b>	<b>19</b>
4.1	Sustav grijanja.....	19
4.2	Sustav hlađenja.....	20
4.3	Sustav klimatizacije i ventilacije.....	22
4.4	Priprema potrošne tople vode.....	23
<b>5</b>	<b>PRIJEDLOG MJERA ENERGETSKE UČINKOVITOSTI .....</b>	<b>24</b>
5.1	Mjera 1 - Izgradnja fotonaponske elektrane za proizvodnju električne energije za vlastitu potrošnju .....	25
5.2	Mjera 2 – Zamjena starog toplovodnog kotla novim.....	29
5.3	Mjera 3 – Ugradnja dizalice topline zrak-voda za grijanje zgrade .....	31
5.4	Mjera 4 – Izolacija vanjske ovojnice zgrade.....	34
5.5	Mjera 5 – Zamjena starih prozora novima .....	35
<b>6</b>	<b>PRELIMINARNA FINACIJSKA ANALIZA .....</b>	<b>38</b>
6.1	Financijska analiza mjere 1 - Izgradnja fotonaponske elektrane za proizvodnju električne energije za vlastitu potrošnju .....	38
6.2	Financijska analiza mjere 2 - Zamjena starog toplovodnog kotla novim .....	40
6.3	Financijska analiza mjere 3 - Ugradnja dizalice topline zrak-voda za grijanje zgrade.....	42
6.4	Financijska analiza mjere 4 - Izolacija vanjske ovojnice zgrade .....	44

6.5	Financijska analiza mjere 5 – Zamjena starih prozora novima.....	45
<b>7</b>	<b>ANALIZA REZULTATA .....</b>	<b>47</b>
7.1	1. Slučaj - kombinacija mjere 1 i mjere 3 .....	48
7.2	2. Slučaj – kombinacija mjere 4 i mjere 5.....	49
<b>8</b>	<b>ZAKLJUČAK.....</b>	<b>51</b>
<b>9</b>	<b>LITERATURA .....</b>	<b>52</b>

# 1 UVOD

Iz godine u godinu, klimatske promjene su sve vidljivije, a njihove posljedice postaju katastrofalne za živi svijet na planetu Zemlji. Prekomjerno korištenje danih resursa i energenata jedan je od čimbenika zbog kojeg dolazi do takvih promjena. Veliki udio ukupne energije koristi se u zgradama. Na globalnoj razini u 2021. godini, zgrade su zaslužne za 36% od ukupne potrošnje energije, dok u Hrvatskoj taj udio iznosi 47,2% [1] [2]. Prema Zakonu o gradnji (NN 153/13), zgrade su zatvorene građevine namijenjene boravku ljudi, životinja, biljaka i stvari, dok se javne zgrade koriste za obavljanje poslova tijela javne vlasti ili stanovanje zajednica [3]. Da bi se postigla održivost i ugodnost boravka u zgradi, važna je težnja za minimalnom potrošnjom energije, energetske učinkovitosti zgrade koja ovisi o karakteristikama zgrade, energetske sustavima koji se u njoj koriste i također klimi područja u kojem se nalazi. Da bi se dovelo do minimalne potrošnje energije u nekoj zgradi, potrebna je analiza podataka o potrošnji energije [4]. Za zgrade javnog sektora u Republici Hrvatskoj to je omogućeno pomoću informacijskog sustava za gospodarenje energijom (ISGE) koji služi kao aplikacija za praćenje i analizu potrošnje energije [5]. Velikom broju zgrada javnog sektora u Hrvatskoj potrebna je obnova pa tako i zgradi Geotehničkog fakulteta. Da bi postala ugodnija za boravak i energetske učinkovitija, potrebno je provesti analizu potrošnje energije i predložiti mjere energetske učinkovitosti koje bi to omogućile što je sve detaljno opisano u nastavku ovog rada.

## 2 PROGRAMI OBNOVE JAVNIH ZGRADA

Velik broj zgrada u Republici Hrvatskoj ima izrazito velike gubitke energije zbog njihovog stanja i starosti. To nam potvrđuje podatak da je većina zgrada izgrađena prije 1987. godine kada zelena gradnja tehnički nije bila moguća, a ni svijest o racionalnom korištenju dostupnih energenata i ispuštanju emisija CO<sub>2</sub> nije bila toliko razvijena.

Ulaskom Hrvatske u Europsku Uniju, obvezali smo se na primjenjivanje Europskih regulativa i iskorištavanje danih financijskih sredstava za stvaranje razvijenije Europe. Upravo zbog toga za ispunjenje zahtjeva Direktive 2012/27/EU o energetske učinkovitosti, Hrvatska je s 2013. godinom počela usvajati Programme energetske obnove zgrada javnog sektora. Jedna od ključnih obveza proizašla iz direktive je da se od 01. siječnja 2014. svake godine obnovi 3% ukupne površine poda grijanih i/ili hlađenih javnih zgrada do 2030. godine [6].

U listopadu 2013. godine donesen je prvi Program energetske obnove zgrada javnog sektora za razdoblje od 2014. do 2015. godine. Glavni ciljevi tog programa bili su provođenje energetske obnove za površinu od oko 420.000 m<sup>2</sup> zgrada javnog sektora što bi rezultiralo smanjenje potrošnje energije od 30 - 60% te smanjene emisija ugljikovog dioksida od 20.500 tona godišnje. Nakon spomenutog, usvojen je Program energetske obnove zgrada javnog sektora za razdoblje od 2016. do 2020. godine čiji je cilj cjelovita obnova zgrada za postizanje smanjenja potrošnje energije od 70% s uštedama od 50 GWh/god. Provođenjem ovih programa u razdoblju od 2014. do 2020. godine došlo je do ušteda od 657 GWh [6], [7], [8].

Dugoročna strategija za obnovu zgrada nacionalnog fonda zgrada do 2050. godine usvojena je 2020. godine. Proizašla je iz Zakona o gradnji (NN 153/13) koji je preuzet obvezama Direktive (EU) 2018/844 te je usklađena s drugim nacionalnim planovima i strategijama. Ona je temeljni strateški dokument za poticanje energetske obnove zgrada u državama članicama. Temeljem tog dokumenta i Integriranog nacionalnog energetskog i klimatskog plana za Republiku Hrvatsku od 2021. do 2030. s kojim je navedena

strategija usklađena, donesen je Program energetske obnove zgrada javnog sektora za razdoblje do 2030. godine koji se trenutno provodi [7], [9].

Program je objavljen od strane Ministarstva prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine u ožujku 2022. godine, kada je i počela provedba, a koncipiran je kao nastavak na Program energetske obnove zgrada javnog sektora za razdoblje od 2016. do 2020. godine. Posebnost ovog programa za razliku od prijašnjeg je što zbog brojnih potresa tijekom 2020. godine, uz energetske obnove zgrada javnog sektora, provode se i sveobuhvatne obnove zgrada javnog sektora. Razlika je u tome što se kod sveobuhvatne obnove zgrada, osim mjera energetske obnove zgrade, također radi na mjerama za povećanje otpornosti od potresa, mjerama za povećanje sigurnosti od požara, mjerama za osiguravanje zdravih unutarnjih klimatskih uvjeta itd. Cilj je do 2030. godine obnoviti preko 2,9 milijuna m<sup>2</sup> zgrada javnog sektora što otprilike iznosi 325.000 m<sup>2</sup>/god. U tom bi slučaju kumulativne uštede u neposrednoj potrošnji energije iznosile 1.671,4 GWh, a smanjenje emisija ugljikovog dioksida za 384,4 tone. Uvjet koji zgrade javnog sektora moraju ispuniti za sudjelovanje u ovom Programu je ušteda potrebne toplinske energije za grijanje ( $Q_{H,nd}$ ) na godišnjoj razini od minimalno 50% s obzirom na stanje prije obnove [7].

Zbog brojnih promjena okolnosti koje će se događati u godinama provedbe ovog Programa (do 2030. godine), po potrebi će se obavljati revizija, a provedba je temeljena na trogodišnjim akcijskim planovima donesenim odlukom ministra. Trenutno je ovaj Program fokusiran na razdoblju od 2022. do 2024. godine kao jedna od mjera politike za poboljšanje energetske učinkovitosti u pojedinim sektorima krajnje (neposredne) potrošnje (ENU-5) Nacionalnog akcijskog plana energetske učinkovitosti za razdoblje od 2022. do 2024. godine. Za razdoblje od 2022. do 2024. godine, predviđen je investicijski trošak od oko 3 milijarde kuna za površinu od ukupno 424,420 m<sup>2</sup> svih zgrada (oštećene i ne oštećene u potresu). Također su izračunate očekivane kumulativne uštede energije u navedenom razdoblju koje iznose 123,4 GWh [10].

U ožujku 2023., Ministarstvo prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine raspisalo je poziv u vrijednosti 40 milijuna eura za energetske obnovu zgrada javnog sektora. Kroz taj će se javni poziv obnoviti 50 zgrada javnog sektora neoštećenih u

potresima koji su se zbivali kroz 2020. godinu. Također je najavljeno raspisivanje poziva za 50 zgrada koje su oštećene u potresima te još tri poziva s kojima bi se trebalo obnoviti 300 višestambenih zgrada i 11.000 obiteljskih kuća. Sredstva za financiranje svih navedenih projekata osigurana su Nacionalnim planom za oporavak i otpornost [11].

Kroz navedene programe jedan od ciljeva je obnoviti značajan broj javnih zgrada za obrazovanje u koje također spadaju fakultetske zgrade. Prema podacima iz pregleda nacionalnog fonda zgrada javnog sektora Programa energetske obnove zgrada javnog sektora za razdoblje do 2030. godine, zgrade za obrazovanje će nakon obnove imati godišnje uštede potrebne toplinske energije od 14%, dok će uštede emisija CO<sub>2</sub> biti oko 5% [7].

### **3 ANALIZA POTROŠNJE ENERGIJE I EMISIJE CO<sub>2</sub> S KLJUČNIM INDIKATORIMA**

Zbog velikog postotka od ukupne energije koja se troši u zgradama i starosti većine javnih zgrada u Republici Hrvatskoj, Zakonom o energetskej učinkovitosti (NN 127/14), odnosno Pravilnikom o sustavnom gospodarenju energijom u javnom sektoru (NN 18/15), propisano je sustavno gospodarenje energijom u svim javnim zgradama [12], [13]. Jedan od koraka sustavnog gospodarenja energijom je upravo analiza potrošnje energije kako bi se postigao krajnji cilj, a to je poboljšanje energetske učinkovitosti i održivo gospodarenje resursima u javnom sektoru. U nastavku ovog poglavlja opisana je zgrada Geotehničkog fakulteta na osnovu koje se piše ovaj rad te je također detaljno analizirana potrošnja energije i emisije CO<sub>2</sub> koje su nastale potrošnjom određenih energenata [14].

#### **3.1 Opis zgrade Geotehničkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu**

Zgrada Geotehničkog fakulteta nalazi se u gradu Varaždinu (Slika 1). Izgrađena je 1975. godine, a sastoji se od tri međusobno povezana dijela, dilatacije. Orijentirana je u smjeru sjever-jug, gdje je na južnom dijelu zgrade, 2010. godine nadograđena velika predavaonica nepravilnog oblika. Zgrada se u sjevernom dijelu sastoji od podruma, prizemlja i tri kata, dok su u srednjem i južnom dijelu zgrade uz podrum i prizemlje nalaze dva kata. Ploština korisne površine zgrade iznosi 4104,56 m<sup>2</sup>, a prema njoj su u nastavku rada izračunati indikatori potrošnje, troškova i emisija određenih energenata. Krov zgrade je prvobitno bio ravan dok se kasnije nije izvelo krovište blagog nagiba s limenim krovom, a na već spomenutom nadograđenom dijelu, krov je kosi [15].



*Slika 1 Zgrada Geotehničkog fakulteta sveučilišta u Zagrebu [16]*

Prema podacima energetskeg pregleda provedenog u 2013. godini, zgrada je svrstana u energetske razred D zbog specifične godišnje potrebne toplinske energije za grijanje za ovo klimatsko područje koja iznosi  $114,44 \text{ kWh/m}^2$ .

Električna energija za potrebe zgrade preuzima se iz mreže i naplaćuje prema crvenom tarifnom modelu, a koristi se za sustave električne rasvjete, uredske, kuhinjske, laboratorijske opreme, opreme u sustavu grijanja, hlađenja, ventilacije i klimatizacije i brojne druge potrošače električne energije. Uz električnu energiju, za energetske potrebe grijanja u hladnijim mjesecima dolazi do potrošnje prirodnog plina. Voda je omogućena preko gradskog vodovoda, a troši se u laboratorijima, sanitarnim čvorovima i kuhinjama. Detaljnija analiza potrošnje energenata, vode i njihovih sustava opisana je u nastavku.

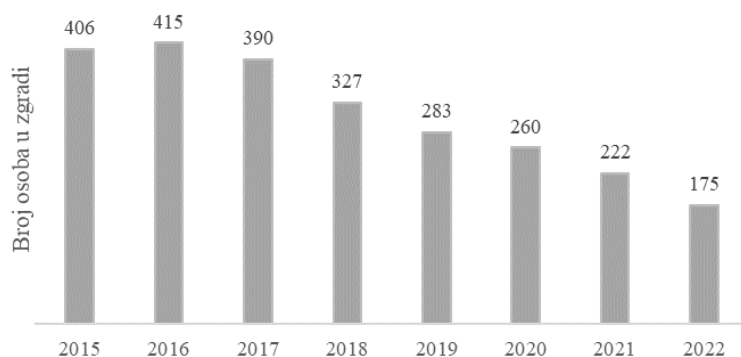
### **3.2 Analiza potrošnje energije**

Za prethodno opisani objekt, rađena je analiza potrošnje električne energije, vode i toplinske energije u razdoblju od 01.01.2015. do 31.12.2022. Podaci o potrošnji energije za provedbu ove analize preuzeti su iz računalne aplikacije za praćenje i analizu potrošnje energije u zgradama javnog sektora ISGE. Potrošnja je promjenjiva ovisno o godini, vremenskim prilikama, broju osoba koje borave u zgradi i brojnim drugim faktorima.



Također je važno za napomenuti kako su cijene energenata promjenjive kroz godine, pa troškovi variraju ovisno o cijeni.

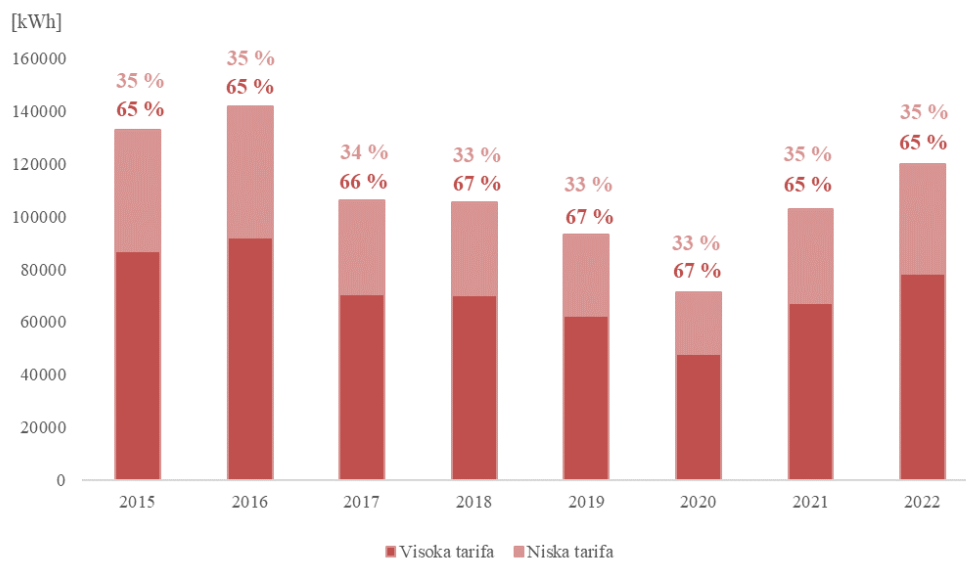
Od navedenih podataka o kojima ovisi potrošnja u zgradi, podatci o broju osoba koje borave u zgradi je poznat te je prikazan grafički po godinama na slici 2. U ukupan broj osoba uzeti su u obzir zaposlenici i studenti. U posljednje 4 godine vidljivo je smanjenje broja osoba od skoro 40% u odnosu na prve 4 godine u osmogodišnjem razdoblju što će uzrokovati smanjenje potrošnje, troškova i emisija CO<sub>2</sub> prikazanih u daljnjoj analizi.



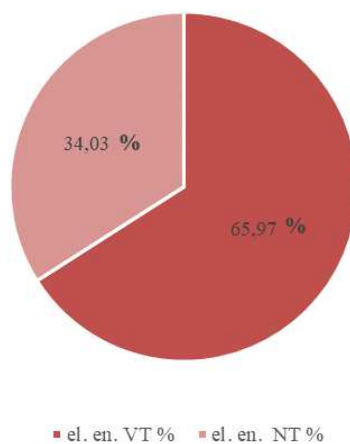
Slika 2 Grafički prikaz broja osoba koje borave u zgradi kroz godine

### 3.2.1 Potrošnja električne energije

Na slici 3 dan je prikaz potrošnje električne energije kroz godine gdje je jasno vidljivo koji postotak potrošnje otpada na visoku, a koji na nisku tarifu. Iz priloženog je uočljivo smanjenje potrošnje tijekom 2020. godine koje je uzrokovano COVID-19 pandemijom i smanjenim korištenjem zgrade Sveučilišta. Uzeći u obzir svih 8 godina ove analize, prosječna potrošnja električne energije iznosi 109.145,3 kWh godišnje od kojih je prosječan udio potrošnje visoke tarife 65,97%, a niske 34,03% (Slika 4).



Slika 3 Potrošnja električne energije kroz godine uz prikaz udjela potrošnje visoke i niske tarife

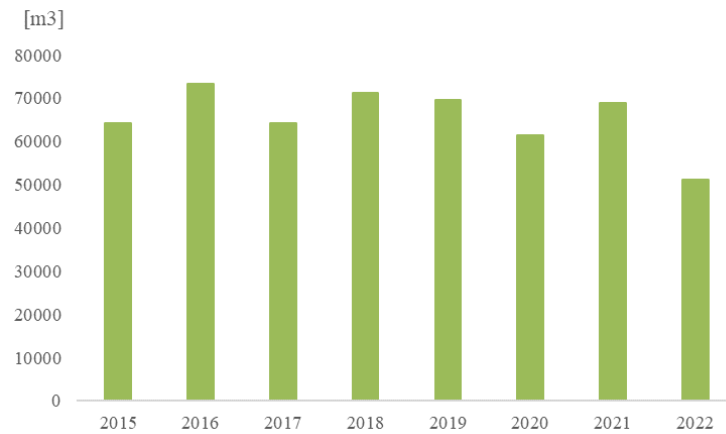


Slika 4 Dijagram potrošnje visoke i niske tarife za svih 8 godina analize

### 3.2.2 Potrošnja toplinske energije

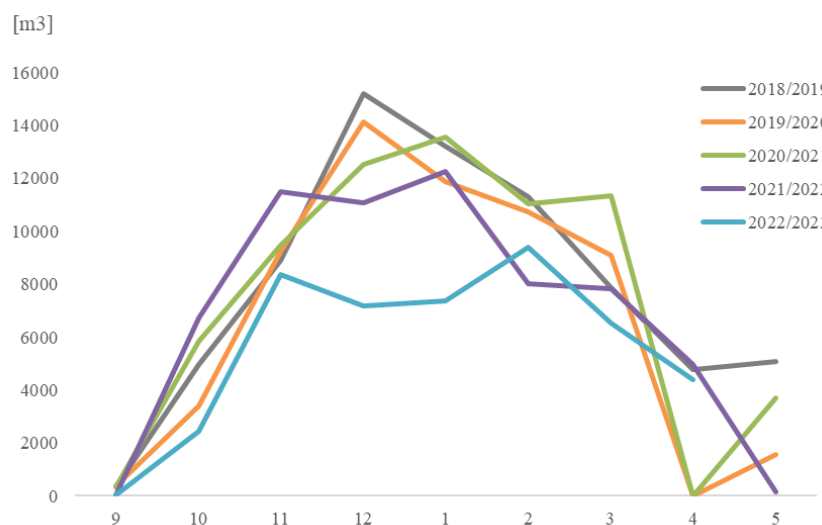
Što se tiče energetske potrebe za grijanjem i potrošnje prirodnog plina, grafički prikaz potrošnje izražen u metrima kubnim kroz godine prikazan je na slici 5. Prosječna

potrošnja prirodnog plina iznosi 65.548,43 m<sup>3</sup> godišnje što daje vrijednost od 607.024,38 kWh.



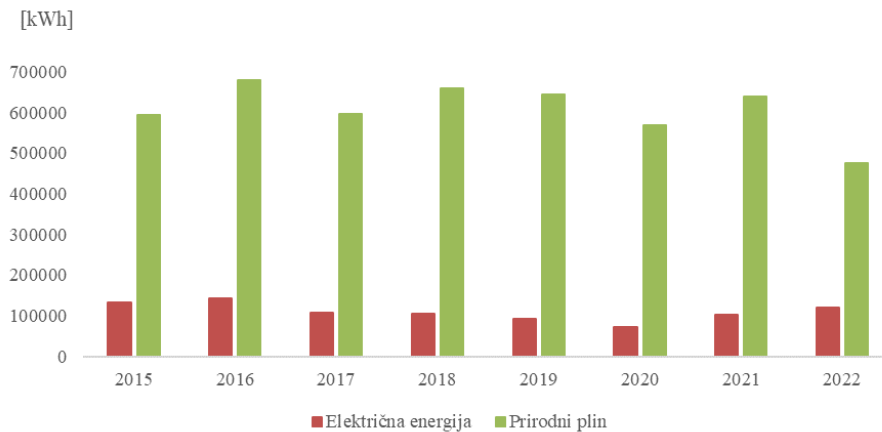
Slika 5 Potrošnja prirodnog plina kroz godine izražena u metrima kubnim

Na slici 6 dan je prikaz potrošnje prirodnog plina u m<sup>3</sup> posljednjih 5 sezona grijanja uzeći u obzir da sezona potrošnje prirodnog plina traje od 9. do 5. mjeseca. Vidljivo je kako tijekom sezone grijanja 2022./2023. dolazi do značajnog smanjenja potrošnje uzrokovanog smanjenjem broja sati grijanja kako bi se zbog značajnog povećanja cijene plina troškovi održali na razini.



Slika 6 Potrošnja prirodnog plina posljednjih 5 sezona grijanja

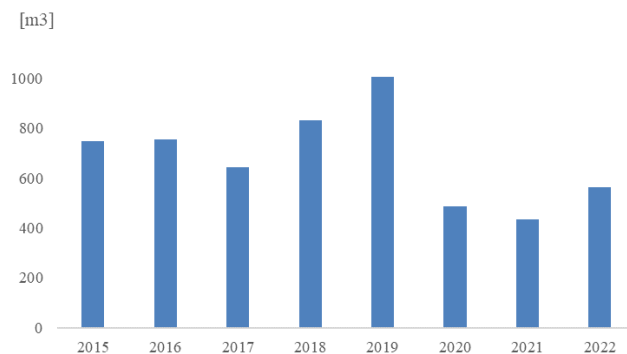
Usporedba potrošnje toplinske i električne energije izražena u kWh prikazana je na slici 7. Vidljiva je znatno veća potrošnja toplinske od električne energije, prosječno oko 85% dok je to u 2022 bilo 80%.



*Slika 7 Usporedba potrošnje električne energije i prirodnog plina kroz godine izražena u kWh*

### 3.2.3 Potrošnja vode

Na slici 8 grafički je prikazana potrošnja vode tijekom 8 godina gdje je vidljivo smanjenje potrošnje nakon 2019. godine uzrokovano smanjenjem broja studenata i zaposlenika opisano slikom 2. Prosječna godišnja potrošnja vode za osmogodišnje razdoblje iznosi 684,25 m<sup>3</sup>. Prosjek potrošnje vode za razdoblje od 2015. do 2019. godine iznosi 797,4 m<sup>3</sup>/god, a za razdoblje od 2020. do 2022. godine iznosi 495,6 m<sup>3</sup>/god.



Slika 8 Grafički prikaz potrošnje vode kroz godine

### 3.2.4 Potrošnja energenata i vode prema broju osoba i površini zgrade

Da bi se odredila potrošnja energije prema broju osoba koje koriste zgradu, godišnja potrošnja svakog energenta i vode je podijeljena sa brojem osoba u zgradi te iste godine, zatim je na osnovu tih rezultata izračunat prosjek koji se nalazi u tablici 1. Za površinu se koristila već navedena ploština korisne površine zgrade koja iznosi 4104,56 m<sup>2</sup> te je potrošnja svake godine podijeljena s kvadraturom i izračunat je prosjek svih 8 godina. U tablici su dane izračunate vrijednosti indikatora potrošnje energenata i vode po osobi i po metru kvadratnom.

Tablica 1 Vrijednosti indikatora prosječne godišnje potrošnje po osobi i po m<sup>2</sup> za svaki energent

PROSJEČNA GODIŠNJA POTROŠNJA / BROJ OSOBA			
Električna energija	Plin	Plin	Voda
<b>376,77</b>	<b>225,45</b>	<b>2087,82</b>	<b>2,31</b>
kWh/osobi	m <sup>3</sup> /osobi	kWh/osobi	m <sup>3</sup> /osobi

PROSJEČNA GODIŠNJA POTROŠNJA / m <sup>2</sup>			
Električna energija	Plin	Plin	Voda
<b>26,59</b>	<b>15,97</b>	<b>147,89</b>	<b>0,17</b>
kWh/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>

Prema podacima iz energetskog pregleda zgrade rađenog 2013. godine, prosječna godišnja potrošnja prirodnog plina je iznosila 85,7 kWh/m<sup>2</sup> što je za 63% manje od 147,89 kWh/m<sup>2</sup>. U razdoblju od 2010. do 2012. godine, prosječna potrošnja je iznosila 440.669 kWh/god što je za skoro 200.000 kWh manje od razdoblja opisanog u ovoj analizi.

Što se tiče 2022. godine, vrijednosti indikatora nalaze se u tablici 2. Iz priloženog je vidljivo kako su vrijednosti veće što se tiče potrošnje prema broju osoba s obzirom na smanjenje broja ljudi koji koriste zgradu. Potrošnja prirodnog plina i vode po m<sup>2</sup> je u 2022. godini manja od prosjeka svih 8 godina dok je za električnu energiju vrijednost malo veća.

Tablica 2 Vrijednosti indikatora potrošnje za 2022. godinu po osobi i po m<sup>2</sup> za svaki energent

POTROŠNJA 2022. GODINE / BROJ OSOBA			
Električna energija	Plin	Plin	Voda
<b>684,21</b>	<b>293,06</b>	<b>2713,90</b>	<b>3,22</b>
kWh/osobi	m3/osobi	kWh/osobi	m3/osobi

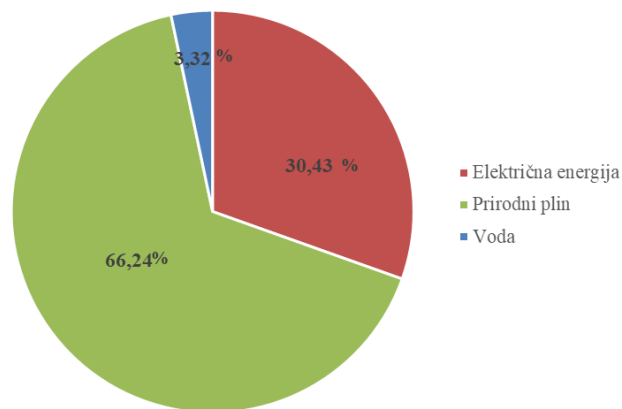
POTROŠNJA 2022. GODINE / m <sup>2</sup>			
Električna energija	Plin	Plin	Voda
<b>29,17</b>	<b>12,49</b>	<b>115,71</b>	<b>0,14</b>
kWh/m2	m3/m2	kWh/m2	m3/m2

### 3.3 Analiza troškova

Uzeći u obzir osmogodišnje razdoblje, prosječni godišnji troškovi za električnu energiju, prirodni plin i vodu zajedno iznose 52.801,59 €. Od toga troškovi za električnu energiju iznose 16.068,85 € ili 0,147 €/kWh električne energije. Za potrebe toplinske energije, tj. potrebe prirodnog plina u zgradi prosječne godišnje vrijednosti su veće za čak 37% od električne energije te iznose 34.977,97 € godišnje. Troškovi po jedinici za prirodni plin

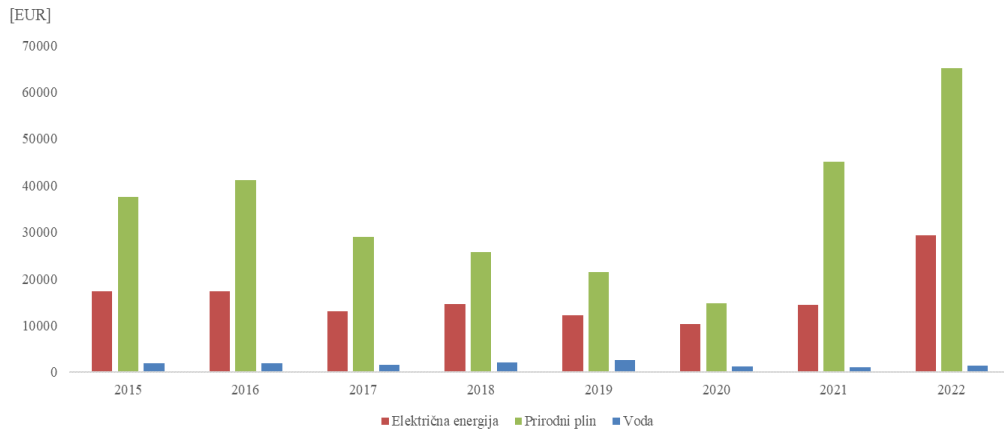
iznose 0,554 €/m<sup>3</sup> ili 0,060 €/kWh. Što se tiče godišnjih troškova za vodu, oni su najmanji te iznose prosječno 1.754,78 € godišnje ili 2,569 €/m<sup>3</sup>.

Dijagram na slici 9 prikazuje raspodjelu troškova u postocima po energentima koji se koriste u zgradi. Iz priloženog je vidljivo da su najveći godišnji troškovi za opskrbu prirodnim plinom (66,24%), zatim za opskrbu električnom energijom (30,43%) i najmanji za opskrbu vodom (3,32%).



*Slika 9 Dijagram prosječne raspodjele troškova po energentima izražen u postocima*

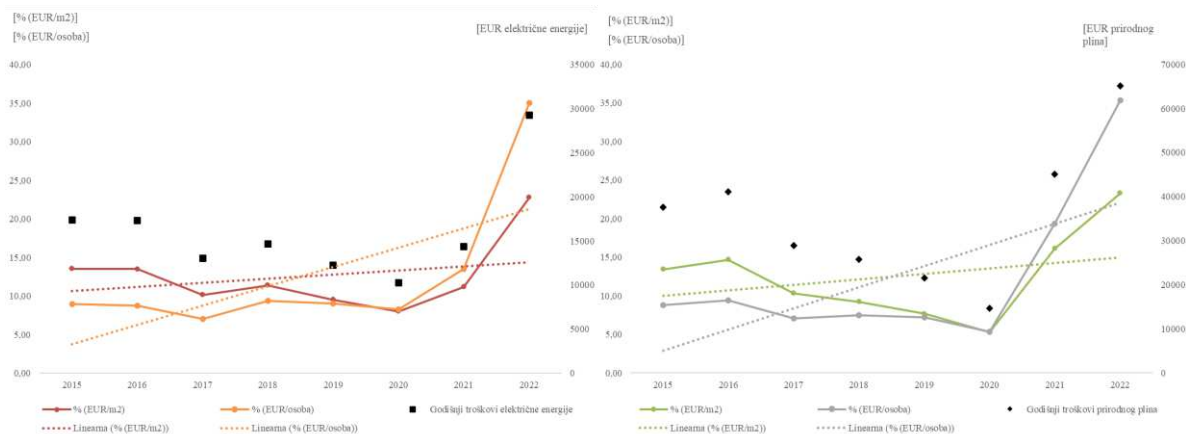
Na slici 10 je prikazana raspodjela troškova za svaki energent kroz godine. Iz grafa su uočljivi najmanji troškovi tijekom 2020. godine uzrokovani već spomenutom COVID-19 pandemijom i ne korištenjem zgrade Sveučilišta. Nakon 2020. godine zbog svjetske krize uzrokovane pandemijom, cijene električne energije i prirodnog plina znatno su porasle na globalnoj razini te usprkos smanjenja broja osoba koje koriste zgradu i provođenjem mjera smanjenja broja sati grijanja, vidljivo je izrazito veliko povećanje troškova za potrošnju prirodnog plina i električne energije.



*Slika 10 Troškovi za električnu energiju, prirodni plin i vodu po godinama*

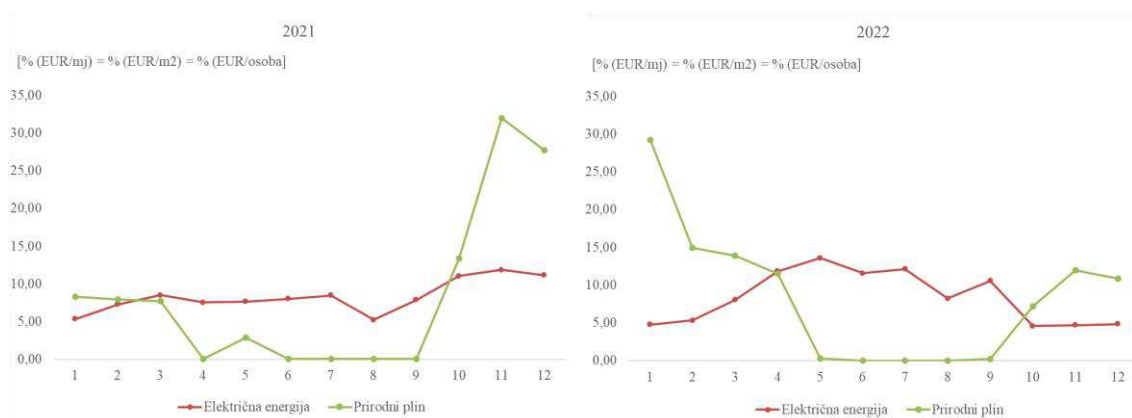
Na slici 11 prikazan je udio troškova električne energije (lijevo) i prirodnog plina (desno) po metru kvadratnom i po broju osoba koje koriste zgradu kroz godine. S druge strane dane su vrijednosti troškova u eurima kroz godine. Prema slici je vidljivo da tijekom 2020 godine je najmanji udio troškova s obzirom na ukupne troškove za oba slučaja (Pandemija COVID-19), a taj udio nakon tog trenutka raste. Vidljiv je agresivniji porast troškova kod prirodnog plina zbog većeg poskupljenja cijene prirodnog plina od električne energije. Prema crtama trenda vidljiv je blagi rast kroz godine koji je više izražen kod udjela troškova po osobi. To se može povezati s podatkom da se broj osoba koje koriste zgradu smanjuje kroz godine (Slika 2). Kod crte trenda udjela troškova po m<sup>2</sup> za oba slučaja također dolazi do rasta, a površina zgrade se nije promijenila, što možemo pridodati činjenici da je cijena električne energije i prirodnog plina kroz godine u porastu.





Slika 11 Ponašanje udjela troškova električne energije (lijevo) i prirodnog plina (desno) po m<sup>2</sup> i broju osoba koje koriste zgradu kroz godine

Prikaz promjene udjela troškova kroz 2021. i 2022. godinu dan je na slici 12. Vrijednosti udjela su iste za troškove po mjesecima kao i za troškove po m<sup>2</sup> i po broju osoba koje koriste zgradu fakulteta. Iz priloženog je vidljivo kako se udjeli troškova električne energije kroz svih 12 mjeseci za vrijeme 2021. godine drže u rasponu od 5 do 10%, dok je kod 2022. godine vidljiva turbulencija zbog smanjenja cijene krajem godine. Što se tiče prirodnog plina, vidljivo je kako su troškovi u razdoblju od 4. do 9. mjeseca skoro neznačajni, a tijekom sezone grijanja zime s 2021. na 2022. dolazi do značajnog porasta udjela troškova prirodnog plina koje se može prepisati korištenju zgrade u punoj snazi i porastu cijene prirodnog plina.



Slika 12 Udjeli troškova električne energije i prirodnog plina za 2021. godinu (lijevo) i 2022. godinu (desno) po mjesecima

### 3.3.1 Troškovi energenata i vode prema broju osoba i površini zgrade

U tablici 3 su prikazani indikatori godišnjih troškova po osobi i po m<sup>2</sup> za svaki energent izračunati na isti način kao indikatori prosječne godišnje potrošnje opisani u prijašnjem poglavlju.

Tablica 3 Vrijednosti indikatora prosječnih godišnjih troškova po osobi i po m<sup>2</sup> za svaki energent

PROSJEČNI GODIŠNJI TROŠKOVI / BROJ OSOBA		
Električna energija	Plin	Voda
<b>59,69</b>	<b>131,57</b>	<b>5,93</b>
EUR/osobi	EUR/osobi	EUR/osobi

PROSJEČNI GODIŠNJI TROŠKOVI / m <sup>2</sup>		
Električna energija	Plin	Voda
<b>3,91</b>	<b>8,52</b>	<b>0,43</b>
EUR/m2	EUR/m2	EUR/m2

Prema već spomenutim prosječnim troškovima za sva tri energenta od 52.801,59 €/god i prosječnom broju osoba koje koriste zgradu koji iznosi 310 osoba godišnje, izračunati su sljedeći pokazatelji:

- svaka osoba prosječno je zaslužna za trošak od 170,47 EUR/god
- svaki student prosječno je zaslužan za trošak od 134,90 EUR/ god
- svaki zaposlenik prosječno je zaslužan za trošak od 35,57 EUR/god

s obzirom na to da je prosječan udio studenata kroz 8 godina ove analize 79%, a zaposlenika 21%.

Vrijednosti troškova po osobi, studentu i zaposleniku su kroz godine u porastu što je normalno s obzirom na porast troškova. Izuzetak je 2020. godina kad su vrijednosti bile niže zbog smanjenog korištenja zgrade fakulteta. U 2022. godini dolazi do najvećih vrijednosti gdje je izračunato da je:

- svaka osoba zaslužna za trošak od 547,77 EUR/god
- svaki student zaslužan za trošak od 322,40 EUR/god
- svaki zaposlenik zaslužan za trošak od 225,37 EUR/god.

S obzirom na prosjek, razlika između udjela studenata i zaposlenika Geotehničkog fakulteta se smanjila. Od 175 osoba koje koriste zgradu fakulteta u 2022. godini, udio studenata iznosi 59%, a zaposlenika 41%.

### **3.4 Emisije CO<sub>2</sub> s ključnim indikatorima**

Emisije CO<sub>2</sub> su veliki globalni problem te je težnja za smanjenjem vrlo važna za planet Zemlju. Pošto su zgrade zaslužne za vrlo veliki postotak od ukupnih emisija, važno ih je za svaku zgradu promatrati i analizirati te provoditi mjere kojima bi došlo do njihovog smanjenja. U nastavku su analizirane količine ispuštenih emisija CO<sub>2</sub> za potrošenu električnu i toplinsku energiju i vodu.

Emisije za određeni energent proporcionalne su njegovoj potrošnji, pa se tako i u ovom slučaju emisije mijenjaju kroz godine ovisno o potrošnji. Prosječne emisije CO<sub>2</sub> uzrokovane potrošnjom električne energije u zgradi iznose 25,62 tCO<sub>2</sub> godišnje. S obzirom da je već spomenuta potrošnja električne energije manja za otprilike 85% od potrošnje toplinske energije prirodnog plina, isto vrijedi i za emisije CO<sub>2</sub> koje za prirodni plin iznose 133,66 tCO<sub>2</sub> godišnje. Emisije CO<sub>2</sub> nastale potrošnjom vode su najmanje i iznose prosječno 0,153 tCO<sub>2</sub> godišnje.

U osmogodišnjem razdoblju, prosječne emisije od potrošnje električne energije, prirodnog plina i vode u zgradi Sveučilišta zajedno iznose 159,45 tCO<sub>2</sub> godišnje, a prema tome su dobiveni indikatori u tablici 4. Za izračun je kao prosječan broj osoba kroz 8 godina korišten 310, površina iznosi 4.104,56 m<sup>2</sup>, a prosjek godišnje potrošnje električne energije i toplinske energije prirodnog plina iznosi 716.169,63 kWh.

*Tablica 4 Indikatori emisija CO<sub>2</sub>*

<b>159,45</b> tCO <sub>2</sub> /god	<b>159.448,60</b> kgCO <sub>2</sub> /god
<b>0,51</b> tCO <sub>2</sub> /osobi	<b>514,35</b> kgCO <sub>2</sub> /osobi
<b>0,04</b> tCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	<b>38,85</b> kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
<b>0,0002224</b> tCO <sub>2</sub> /kWh	<b>0,22</b> kgCO <sub>2</sub> /kWh

## 4 OPIS TERMOTEHNIČKIH SUSTAVA U ZGRADI

Prema pravilniku o energetsom pregledu zgrade i energetsom certificiranju, u termotehničke sustave spada sva tehnička oprema za grijanje, hlađenje, klimatizaciju, ventilaciju i pripremu potrošne tople vode što je za zgradu Geotehničkog fakulteta opisano u nastavku ovog poglavlja [17].

### 4.1 Sustav grijanja

Grijanje se u objektu obavlja uz pomoć dva toplovodna kotla, Buderus Logano SK625-311-410 ukupnog učinka 820 kW (Slika 13), od kojih svaki ima pojedinačni učinak 410 kW. Kotlovi kao medij za zagrijavanje prostora koriste vodu koja se grije uz pomoć tlačnih plinskih plamenika na temperaturu od 80°C. Kako bi se uklonili dimni plinovi, kotlovi su spojeni na čelični dimnjak postavljen s vanjske strane zgrade, a prostor kotlovnice je mehanički ventiliran. U zgradi se plin ne koristi u nikakve druge svrhe, pa kotlovnica ima vlastiti priključak i brojilo plina. Da bi se u prostorijama zgrade postigla željena temperatura od 20°C, grijanje se radnim danom obavlja od 4:30 do 14:00 sati [15].



*Slika 13 Dva toplovodna kotla Buderus Logano SK625-311-410 [15]*

U zgradi postoji 5 ogrjevnih krugova od kojih je svaki opremljen termostatskim miješajućim ventilom za regulaciju temperature tople vode. Zagrijani medij pomoću čeličnih cijevi dolazi do ogrjevnih tijela. Sustav se sastoji od 232 ogrjevna tijela (najviše člankastih i pločastih radijatora). Radijatori su opremljeni ručnim i termoregulacijskim ventilima te odzračnicima i prigušnicama. U novijem, dograđenom dijelu zgrade, umjesto radijatora se koriste ventilokonvektori (Slika 14). Ukupni toplinski učinak svih radijatora i ventilokonvektora iznosi 472,1 kW, a svedeno na korisnu površinu zgrade, toplinski učinak iznosi 91,8 W/m<sup>2</sup> [15].



*Slika 14 Člankasti radijator (lijevo) i ventilokonvektor (desno) [15]*

## **4.2 Sustav hlađenja**

Hlađenje prostora provedeno kao kombinacija rada rashladnih uređaja u starijem dijelu zgrade i centralnog hlađenja u novijem. Rashladnim uređajima prostori su hlađeni uz pomoć 17 sustava u mono-split izvedbi i 1 u multi-split izvedbi (Slika 15). Ukupni rashladni učinak uređaja je 86,47 kW električne snage 27,4 kW. Uz hlađenje, uređaji također mogu grijati prostor na način da rade u režimu dizalice topline. Kao radnu tvar, svi uređaji koriste R410A. [15].



*Slika 15 Rashladni uređaj, unutarnja jedinica (lijevo), vanjska jedinica (desno) [15]*

U novijem dijelu zgrade (velika dvorana i prateće prostorije) dograđenom 2009. godine, hlađenje se provodi centralnim hlađenjem uz pomoć jednog rashladnika vode (Airwell CLS.602.STD) učinka 140 kW (Slika 16). Voda je u uređaju ohlađena na temperaturu od 7 do 12 °C, te potom hladi zrak u ventilokonvektorima i klima komorama rashladnog učinka 48,8 kW [15].



*Slika 16 Rashladnik vode Airwell CLS.602.STD [15]*



### 4.3 Sustav klimatizacije i ventilacije

S obzirom na starost većeg dijela zgrade, klimatizira se samo prostor velike dvorane. Sustav funkcionira uz pomoć jedne klima komore (Proklima KU 6-M-DU50S-S), kapaciteta 10 000 m<sup>3</sup>/h kondicioniranog zraka. Klimatizacija se koristi radnim danom u vrijeme predavanja od 8:00 do 15:00 sati, a distribucija kondicioniranog i otpadnog zraka je izvedena pocinčanim kanalima u stropu (Slika 17) [15].



*Slika 17 Klima komora Proklima KU 6-M-DU50S-S (lijevo), elementi za distribuciju kondicioniranog zraka (desno) [15]*

Ventilacija je u zgradi potrebna u laboratorijima za odvodnju štetnih tvari nastalih laboratorijskim ispitivanjima. Radi se o mehaničkoj ventilaciji digestorima i napama u laboratoriju za geokemiju okoliša, geotehničkom laboratoriju, prostorijama kemijskog praktikuma i caffe-baru u sklopu zgrade fakulteta. Odvod onečišćenog zraka izveden je čeličnim cijevima do krova zgrade (Slika 18). Ukupni kapacitet svih 10 uređaja za ventilaciju je 8 000 m<sup>3</sup>/h, a vrijeme korištenja ovisi o potrebi, vremenu laboratorijskih ispitivanja [15].





Slika 18 Odsisna napa (lijevo), cijevi za odvod otpadnog zraka (desno) [15]

#### 4.4 Priprema potrošne tople vode

Topla voda u zgradi omogućena je uz pomoć električnih bojlera. Ukupno je 19 bojlera raspodijeljenih po sanitarnim čvorovima, a njihova ukupna instalirana snaga iznosi 36,5 kW. Slika 19 prikazuje natpisnu pločicu jednog od bojlera koji zgradu opskrbljuju toplom vodom [15].



Slika 19 Natpisna pločica električnog bojlera marke Končar [15]

## 5 PRIJEDLOG MJERA ENERGETSKE UČINKOVITOSTI

Kako bi u opisivanom objektu došlo do smanjenja potrošnje energije te s time smanjenja troškova i emitiranih emisija, potrebno je provoditi mjere energetske učinkovitosti. Upravo to je su i zahtjevi koje Europska Unija nalaže svojim direktivama kako bi se postignuo cilj do 2050. godine za stvaranje ugljično neutralnog kontinenta.

Za zgradu Sveučilišta predloženo je 5 mjera energetske učinkovitosti:

- mjera 1 - Izgradnja fotonaponske elektrane za proizvodnju električne energije za vlastitu potrošnju
- mjera 2 - Zamjena starog toplovodnog kotla novim
- mjera 3 - Ugradnja dizalice topline zrak-voda za grijanje zgrade
- mjera 4 - Izolacija vanjske ovojnice zgrade
- mjera 5 - Zamjena starih prozora novima

Od svih predloženih mjera, mjera 1 – Izgradnja fotonaponske elektrane za proizvodnju električne energije je trenutno u provedbi te je napravljen projekt iz kojeg su uzeti podaci za analizu u nastavku.

Za sve mjere koje su opisane u nastavku korišten je RETScreen softver za upravljanje energijom. Softver koristi brojne baze podataka, uključujući podatke o globalnoj klimi s NASA-inih satelita kako bi se analizirali, planirali, primjenjivali energetske projekti i provodio se njihov monitoring. Energetski projekti mogu biti za komercijalne, institucionalne zgrade, fotonaponske elektrane, tvornice ili pak samostalne kuće. Koristi se na način da se prvobitno opisuje objekt, energenti koji se koriste u njemu i na koji način te se nakon toga daju moguće mjere energetske učinkovitosti kojima bi se smanjila potrošnja energije i emisije CO<sub>2</sub> u objektu. Na osnovu svih unesenih poznatih podataka, softver izračunava ima li energetske projekat finansijskog smisla, kolike su uštede, smanjenje emisija i brojne parametre potrebne za donošenje odluke o provedbi energetskog projekta.

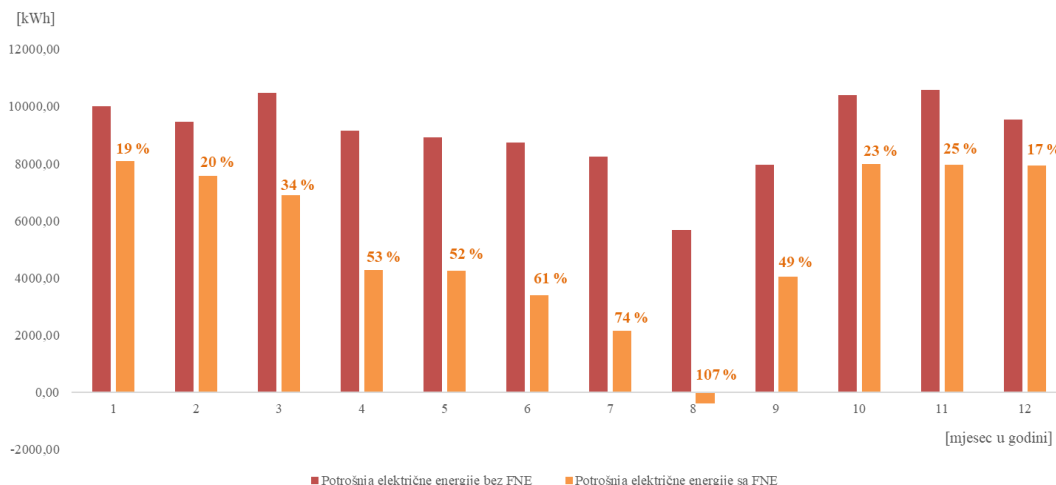
## **5.1 Mjera 1 - Izgradnja fotonaponske elektrane za proizvodnju električne energije za vlastitu potrošnju**

S obzirom na povoljan geografski položaj, zgrada Geotehničkog fakulteta zadovoljava potrebe za iskorištavanje Sunčeve energije i proizvodnju električne energije. Od krovnih površina u obzir dolazi samo površina južnog, novo izgrađenog dijela zgrade. Prema raspoloživoj krovnoj površini, predložena je izgradnja fotonaponske elektrane 44,125 kWp. Procijenjena godišnja proizvodnja električne energije je oko 45.000 kWh ovisno o meteorološkim prilikama [18].

Proizvedena energija će se koristiti za vlastitu proizvodnju, dok će se proizvedeni višak predavati u javnu elektroenergetsku distribucijsku mrežu. Energija će se proizvoditi pomoću 116 fotonaponskih modula povezanih u 7 nizova koji će na krovu biti smješteni na aluminijsku konstrukciju. Korišteni će biti monokristalični fotonaponski moduli snage 375 W<sub>p</sub> i jedan izmjenjivač izlazne snage 40 kW. Fotonaponski moduli se sastoje od 120 serijski spojenih monokristaličnih silicijskih ćelija, a učinkovitost im je 20,59% [18].

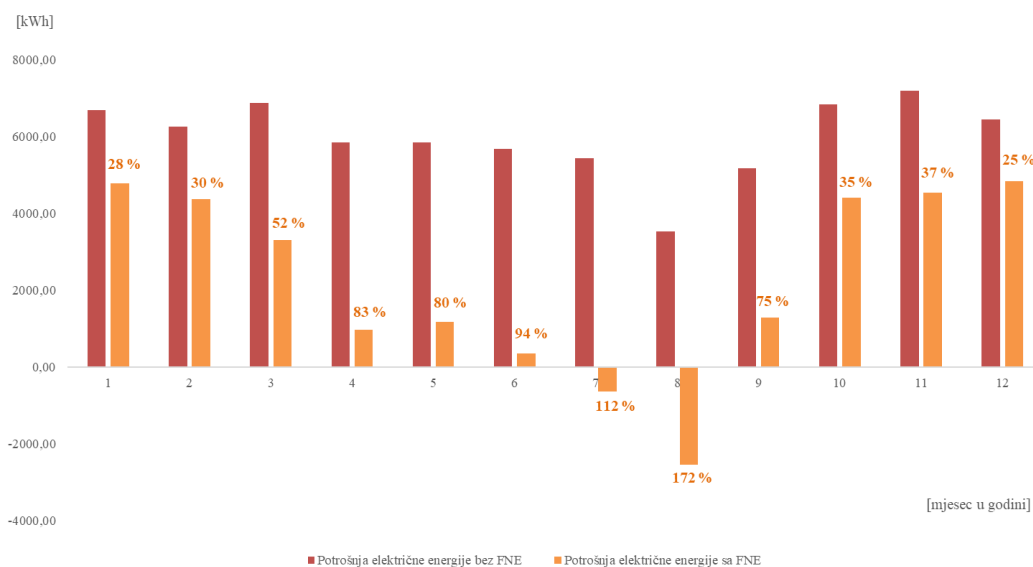
Gledajući na osmogodišnje razdoblje od 2015. do 2022. godine prosječna potrošnja električne energije iznosi 109.145,25 kWh godišnje. Smanjenje potrošnje električne energije iz mreže od otprilike 40%, koliko je procjena proizvodnje fotonaponske elektrane uvelike će doprinijeti smanjenju troškova i emisija CO<sub>2</sub> u budućnosti.

Na slici 20 je prikazana potrošnja električne energije iz mreže bez i sa fotonaponske elektrane. Iz grafa je jasno vidljivo povećanje proizvodnje električne energije tijekom ljetnih mjeseci gdje dolazi do smanjenja potrošnje električne energije iz mreže od 70 do preko 100%. Predviđena proizvodnja u ljetnim mjesecima iznosi od 5000 do 6000 kWh električne energije. Zbog manjeg broja sunčanih sati, predviđena proizvodnja električne energije u zimskim mjesecima iznosi oko 2000 kWh. Vidljivo je najmanje smanjenje potrošnje električne energije iz mreže koje iznosi oko 20%. Nedostatak je to što je u zimskim mjesecima najviša potrošnja, a najmanja proizvodnja, dok je kod ljetnih mjeseca slučaj obrnut.



*Slika 20 Graf potrošnje električne energije iz mreže bez i sa fotonaponskom elektranom uz prikaz postotaka smanjenja potrošnje za 12 mjeseci*

S obzirom na to da se proizvodnja električne energije događa samo tijekom potrošnje visoke tarife, na slici 21 dan je pregled potrošnje visoke tarife iz mreže bez i sa fotonaponskom elektranom uz prikaz postotaka smanjenja potrošnje za 12 mjeseci. Vidljive su promjene s obzirom na sliku 20 te naravno povećanje postotaka smanjenja potrošnje električne energije.



*Slika 21 Graf potrošnje električne energije visoke tarife iz mreže bez i sa fotonaponskom elektranom uz prikaz postotaka smanjenja potrošnje za 12 mjeseci*

Tablica 5 Rezultati potrošnje i emisija prije i nakon izgradnje fotonaponske elektrane (FNE)

<b>Prosječna potrošnja električne energije prije izgradnje FNE:</b>	<b>109.145,25 kWh/god</b>
<b>Prosječna potrošnja električne energije nakon izgradnje FNE:</b>	<b>64.157,25 kWh/god</b>
<b>Prosječne uštede električne energije (kWh):</b>	<b>44.988,00 kWh/god</b>
<b>Prosječne uštede električne energije (%):</b>	<b>59 %</b>

<b>Prosječne emisije električne energije prije izgradnje FNE:</b>	<b>25,63 tCO<sub>2</sub>/god</b>
<b>Prosječne emisije električne energije nakon izgradnje FNE:</b>	<b>15,06 tCO<sub>2</sub>/god</b>
<b>Prosječno smanjenje emisija (tCO<sub>2</sub>):</b>	<b>10,56 tCO<sub>2</sub>/god</b>
<b>Prosječno smanjenje emisija (%):</b>	<b>59 %</b>

U tablici 5 dani su predloženi rezultati godišnje potrošnje i emisija CO<sub>2</sub> prije i nakon izgradnje fotonaponske elektrane na zgradi Sveučilišta. Godišnja procjena ušteda električne energije iz mreže iznosi oko 45.000,00 kWh/god, 59%, a emisije CO<sub>2</sub> su smanjene sa 25 t/god na 15 t/god.

Već spomenutim RETScreen softverom prikazani su podaci kojima je kasnije izračunata financijska analiza za ovu mjeru na slici 22. Od svih prikazanih podataka, unesena je tarifa električne energije za 2023. godinu koja iznosi 0,108 €/kWh. Također su uneseni i podaci o fotonaponskom sustavu te inicijalni troškovi koji su unaprijed poznati. Za sve ostale prikazane podatke zaslužan je softver koji je pomoću svojih baza podataka i algoritama izračunao mjesečnu i godišnju proizvodnju električne energije koja iznosi 48.300 kWh godišnje.

Mjesec	Dnevno solarno ozračenje - horizontalno kWh/m <sup>2</sup> /d	Dnevno solarno ozračenje - nagib kWh/m <sup>2</sup> /d	Tarifa električne energije - godišnje €/kWh	Proizvodnja električne energije kWh
Siječanj	1,09	1,26	0,15	1.566,751
Veljača	1,94	2,19	0,15	2.413,546
Ožujak	2,90	3,12	0,15	3.695,677
Travanj	4,57	4,76	0,15	5.273,826
Svibanj	5,58	5,68	0,15	6.320,841
Lipanj	5,88	5,92	0,15	6.262,376
Srpanj	6,15	6,23	0,15	6.707,732
Kolovoz	4,98	5,14	0,15	5.580,151
Rujan	3,76	4,01	0,15	4.351,199
Listopad	2,65	3,00	0,15	3.471,041
Studen	1,19	1,36	0,15	1.595,184
Prosinac	0,73	0,86	0,15	1.061,585
<b>Godišnje</b>	<b>3,46</b>	<b>3,64</b>	<b>0,15</b>	<b>48.299,910</b>
Godišnje solarno ozračenje - horizont:	MWh/m <sup>2</sup>	1,26		
Godišnje solarno ozračenje - nagib:	MWh/m <sup>2</sup>	1,33		

Fotonaponski sustav		
Tip		mono-Si
Instalirana snaga	kW	40
Proizvođač		SOLVIS d.o.o.
Model		SOLVIS SV120-375 E HC9B
Broj jedinica		115
Učinkovitost	%	20.59%
Nazivna pogonska temperatura ćelije	°C	45
Temperaturni koeficijent	% / °C	0.4%
Površina solarnog kolektora	m <sup>2</sup>	194
Faktor prilagodbe bifacijalnih stanica	%	0%
Ostali gubici	%	5%
Izmjenjivač		
Učinkovitost	%	98.4%
Kapacitet	kW	40
Ostali gubici	%	0%
Sažetak		
Faktor opterećenja	%	13,8%
Inicijalni troškovi	€	34.342
Troškovi pogona i održavanja (uštjede)	€	1.677
Uštedena energija	kWh	48.300

Slika 22 Podaci o fotonaponskoj elektrani dobiveni uz pomoć RETScreen softvera

Emisije nastale tijekom potrošnje električne energije i prirodnog plina za osnovni i predloženi slučaj (provedbom mjere 1) dane su na slici 23. Vidljivo je kako prije instalacije fotonaponske elektrane, proizvedene emisije iznose 157 tCO<sub>2</sub>, dok su se u predloženom slučaju emisije smanjile za 12 tCO<sub>2</sub> godišnje što otprilike odgovara prethodnoj analizi ne provedenoj pomoću RETScreen softvera.

Osnovni slučaj - sažetak GHG (početni)				
Tip goriva	Mješavina goriva	Potrošnja goriva	Faktor emisija GHG	GHG emisije
	%	kWh	tCO <sub>2</sub> /MWh	tCO <sub>2</sub>
Električna energija	12,4%	103.494	0,244	25,3
Prirodni plin	87,6%	731.935	0,179	131
Ukupno	100,0%	835.430	0,187	157

Predloženi slučaj, sažetak GHG-a				
Tip goriva	Mješavina goriva	Potrošnja goriva	Faktor emisija GHG	GHG emisije
	%	kWh	tCO <sub>2</sub> /MWh	tCO <sub>2</sub>
Električna energija	6,6%	55.194	0,244	13,5
Solarno	5,8%	48.300	0,000	0
Prirodni plin	87,6%	731.935	0,179	131
Ukupno	100,0%	835.430	0,173	145

Slika 23 Emisije CO<sub>2</sub> za osnovni i predloženi slučaj mjere 1 dobivene uz pomoć RETScreen softvera

## 5.2 Mjera 2 – Zamjena starog toplovodnog kotla novim

Zamjenom starih kotlova Buderus Logano SK625-311-410 zajedničkog učina 820 kW opisanih u prethodnom poglavlju vezanom za sustav grijanja u objektu, moći će doći do smanjenja potrošnje prirodnog plina, troškova i emisija CO<sub>2</sub>. Kao prijedlog za zamjenu dana su dva kotla EKO-CUP S3 proizvođača Centrometal svaki učina 400 kW (Slika 24).



Slika 24 Centrometal EKO-CUP S3 400 kW [19]

Kao gorivo za centralno grijanje ovom je slučaju korišten prirodni plin kao i kod starih kotlova. Kotao je sastavljen od INOX komore u kojoj dolazi do procesa izgaranja, centralne i cijevne komore. Na taj je način omogućeno potpuno izgaranje te smanjenje nepoželjnih, štetnih sastojaka dimnih plinova na minimum. Maksimalni radni pretlak za ovakvu vrstu kotla je 6 bara, a dovoljna maksimalna radna temperatura za potrebe ove zgrade je 90°C. Učinkovitost rada ovakve vrste kotla iznosi 95%, dok je starim kotlovima učinkovitost iznosila 75% [19].

Godišnja potrošnja prirodnog plina sa starim kotlovima prema RETScreen softveru iznosi 68.870 m<sup>3</sup> tj. 732.487 kWh dok se upotrebom kotlova Centrometal EKO-CUP S3 ta vrijednost smanjuje na 54.371 m<sup>3</sup> tj. 578.395 kWh. Vidljive su uštede od 14.499 m<sup>3</sup> što iznosi 154.092 kWh ili 21%. Slika 25 prikazuje izračunate godišnje uštede u potrošnji izražene u kWh.

Grijanje	
Potrošnja goriva ▼	kWh ▼
Osnovni slučaj	732.487
Predloženi slučaj	578.395
Uštedeno goriva	154.092
Uštedeno goriva - %	21%

*Slika 25 Godišnje uštede mjere 2 za grijanje dobivene uz pomoć RETScreen softvera*

Jedan od razloga zamjene kotlova je također i smanjenje emisija CO<sub>2</sub>. Na slici 26 dane su vrijednosti emisija nastale potrošnjom električne energije i prirodnog plina za osnovni i predloženi slučaj (uz zamjenu kotlova). Kod električne energije je vidljivo da nema promjena kod nastalih emisija, dok je kod prirodnog plina vidljivo smanjenje od 131 tCO<sub>2</sub> do 104 tCO<sub>2</sub> tj. smanjenje za 27 tCO<sub>2</sub> godišnje.



Osnovni slučaj - sažetak GHG (početni)				
Tip goriva	Mješavina goriva	Potrošnja goriva	Faktor emisija GHG	GHG emisije
	%	kWh	tCO <sub>2</sub> /MWh	tCO <sub>2</sub>
Električna energija	12,4%	103.494	0,244	25,3
Prirodni plin	87,6%	731.935	0,179	131
Ukupno	100,0%	835.430	0,187	157

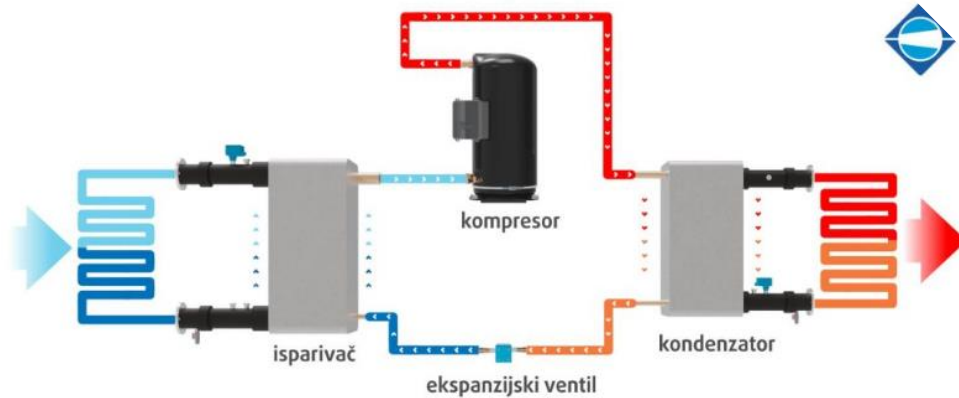
  

Predloženi slučaj, sažetak GHG-a				
Tip goriva	Mješavina goriva	Potrošnja goriva	Faktor emisija GHG	GHG emisije
	%	kWh	tCO <sub>2</sub> /MWh	tCO <sub>2</sub>
Električna energija	15,2%	103.494	0,244	25,3
Prirodni plin	84,8%	577.844	0,179	104
Ukupno	100,0%	681.338	0,189	129

*Slika 26 Emisije CO<sub>2</sub> za osnovni i predloženi slučaj mjere 2 dobivene uz pomoć RETScreen softvera*

### 5.3 Mjera 3 – Ugradnja dizalice topline zrak-voda za grijanje zgrade

Dizalice topline ili toplinske pumpe su uređaji koji koriste energiju iz zemlje, podzemnih voda ili u ovom slučaju zraka kao izvor topline te ju prenose u unutarnji prostor. Funkcioniraju na način da vanjska jedinica uz pomoć ventilatora usisava zrak niske temperature te se on dovodi do izmjenjivača topline u kojem se nalazi radna tvar koja na niskim temperaturama počinje isparavati. Kad je radna tvar promijenilo agregatno stanje, pomoću kompresora se komprimira nastala para te dolazi do povećanja temperature. Zagrijana radna tvar zatim prenosi svoju toplinu vodi koja je spremna za kruženje u sustavu grijanja, a u kondenzatoru se radna tvar kondenzira i mijenja svoje agregatno stanje natrag u kapljevinu. Nakon toga je još potrebno smanjiti tlak radne tvari pomoću ekspanzijskog ventila te ona dolazi do isparivača gdje je spremna za ponavljanje procesa (Slika 27) [20].



*Slika 27 Princip rada dizalice topline zrak-voda [20]*

Ugradnjom dizalice topline zrak-voda za potrebe grijanja opisivane zgrade, potrošnja prirodnog plina više ne bi bila potrebna. S obzirom na analiziranu cijenu i potrošnju prirodnog plina prema električnoj energiji, provođenje te mjere bi dovelo do izrazito dobrih rezultata.

Kao moguće rješenje uzeta je visokotemperaturna dizalica topline Daikin EWYT600 B-XS2+OP204 nominalnog kapaciteta grijanja do 750 kW prikazana na slici 28.



*Slika 28 dizalica topline Daikin EWYT-B [21]*

Predviđena sezonska učinkovitost za ovu dizalicu topline je 250%. Zbog visokotemperaturnog režima rada, uređaj može zagrijati vodu do 80°C što je dovoljno za potrebe grijanja zgrade preko ogrjevnih tijela [22].

S obzirom na to da prirodni plin u ovom slučaju više ne primjenjuje, a prije je upotrebom kotlova potrošnja iznosila 732.487 kWh, uštede za prirodni plin su 100%. Rad dizalice topline je omogućen potrošnjom električne energije koja u osnovnom slučaju bez primjene uređaja iznosila 103.494 kWh. Upotrebom dolazi do dodatne potrošnje električne energije od 220.132 kWh gdje na kraju ukupna godišnja potrošnja električne energije iznosi 323.075 kWh. Na slici 29 su prikazane uštede od 512.355 kWh energije tj. 69,9%.

Grijanje	
Potrošnja goriva ▼	kWh ▼
Osnovni slučaj	732.487
Predloženi slučaj	220.132
<hr/>	
Uštedeno goriva	512.355
Uštedeno goriva - %	69,9%

Slika 29 Godišnje uštede mjere 3 za grijanje dobivene uz pomoć RETScreen softvera

Instalacijom dizalice topline kao obnovljivog izvora energije, predviđeno je smanjenje emisija štetnih plinova u okoliš. Pogotovo iz razloga što u predloženom slučaju nema izgaranja prirodnog plina, jasno je da će emisije CO<sub>2</sub> biti smanjene što je i vidljivo na slici 30. Nakon promjene načina sustava grijanja u zgradi dolazi do godišnjeg smanjenja emisija CO<sub>2</sub> za 77,7 t ili otprilike 49,6%.

Osnovni slučaj - sažetak GHG (početni)				
Tip goriva	Mješavina goriva %	Potrošnja goriva kWh	Faktor emisija GHG tCO <sub>2</sub> /MWh	GHG emisije tCO <sub>2</sub>
Električna energija	12,4%	103.494	0,244	25,3
Prirodni plin	87,6%	731.935	0,179	131
Ukupno	100,0%	835.430	0,187	157

Predloženi slučaj, sažetak GHG-a				
Tip goriva	Mješavina goriva %	Potrošnja goriva kWh	Faktor emisija GHG tCO <sub>2</sub> /MWh	GHG emisije tCO <sub>2</sub>
Električna energija	100,0%	323.075	0,244	78,9
Ukupno	100,0%	323.075	0,244	78,9

Slika 30 Emisije CO<sub>2</sub> za osnovni i predloženi slučaj mjere 3 dobivene uz pomoć RETScreen softvera

#### 5.4 Mjera 4 – Izolacija vanjske ovojnice zgrade

Prije 50 godina kada se gradila zgrada Geotehničkog fakulteta nije se razmišljalo o izolaciji vanjske ovojnice zgrade zbog načina gradnje u to vrijeme. Danas sve veći postotak zgrada ima toplinsku izolaciju jer dolazi do velikih ušteda u potrošnji toplinske energije za grijanje zgrade. U ovom slučaju se predlaže izolacija od 12 cm ekspaniranog polistirena (stiropor) što je uobičajeno za kontinentalni dio Hrvatske. Time bi se dovelo do smanjenja koeficijenta vodljivosti koji prema modelu u RETScreen softveru trenutno iznosi 3,16 W/m<sup>2</sup>K. Što je koeficijent toplinske vodljivosti manji time se smanjuje i potreba za količinom toplinske energije za grijanjem.

Smanjenjem koeficijenata toplinske vodljivosti vanjskih zidova zgrade na 0,35 W/m<sup>2</sup>K što je tipična vrijednost za takvu vrstu izolacije, prema softveru je prikazano da postoje godišnje uštede od 13% što se tiče potreba za toplinskom energijom.

Potrošnja toplinske energije bez izolacije vanjske ovojnice zgrade godišnje prema RETScreen softveru iznosi 732.487 kWh, dok se primjenom opisivane mjere ta potrošnja smanjuje za 91.274 kWh tj. za 12,5% što je prikazano na slici 31.

<b>Grijanje</b>	
Potrošnja goriva	kWh
Osnovni slučaj	732.487
Predloženi slučaj	641.212
Uštedeno goriva	91.274
Uštedeno goriva - %	12,5%

Slika 31 Godišnje uštede mjere 4 za grijanje dobivene uz pomoć RETScreen softvera

Uz smanjenje potrošnje također dolazi do smanjenja emisija CO<sub>2</sub> zbog manje potrošnje prirodnog plina. Na slici 32 prikazano je smanjenje emisija za predloženi slučaj s obzirom na osnovni slučaj bez toplinske izolacije. Vidljivo je smanjenje emisija za 16,4 tCO<sub>2</sub> godišnje ili 10,5 %

Osnovni slučaj - sažetak GHG (početni)				
Tip goriva	Mješavina goriva %	Potrošnja goriva kWh	Faktor emisija GHG tCO <sub>2</sub> /MWh	GHG emisije tCO <sub>2</sub>
Električna energija	12,4%	103.494	0,244	25,3
Prirodni plin	87,6%	731.935	0,179	131
Ukupno	100,0%	835.430	0,187	157

Predloženi slučaj, sažetak GHG-a				
Tip goriva	Mješavina goriva %	Potrošnja goriva kWh	Faktor emisija GHG tCO <sub>2</sub> /MWh	GHG emisije tCO <sub>2</sub>
Električna energija	13,9%	103.494	0,244	25,3
Prirodni plin	86,1%	640.661	0,179	115
Ukupno	100,0%	744.155	0,188	140

Slika 32 Emisije CO<sub>2</sub> za osnovni i predloženi slučaj mjere 4 dobivene uz pomoć RETScreen softvera

## 5.5 Mjera 5 – Zamjena starih prozora novima

Trenutno se na opisivanom objektu nalaze aluminijski prozori čija predviđena toplinska vodljivost iznosi 4 W/m<sup>2</sup>K. Zamjenom aluminijskim prozora sa PVC prozorima koji

imaju puno manji koeficijent toplinske vodljivosti došlo bi do smanjenja potrošnje toplinske energije te smanjenja emitiranih emisija. Predloženi koeficijent toplinske vodljivosti za PVC prozore iznosi 1,1 W/m<sup>2</sup>K.

Provedbom ove mjere pomoću RETScreen softvera dolazi do ušteda od 141.158 kWh toplinske energije za grijanje. Upravo to je prikazano na slici 33 gdje je prikazana potrebna energija za grijanje za osnovni i predloženi slučaj te da dolazi do uštede od 19,3 %.

Grijanje	
Potrošnja goriva ▼	kWh ▼
Osnovni slučaj	732.487
Predloženi slučaj	591.329
Uštedeno goriva	141.158
Uštedeno goriva - %	19,3%

*Slika 33 Godišnje uštede mjere 5 za grijanje dobivene uz pomoć RETScreen softvera*

Izgaranjem manje količine prirodnog plina također dolazi do smanjenja emisija CO<sub>2</sub> što je prikazano na slici 34. Kod električne energije ne dolazi do promjena prilikom smanjenja emisija, no kod prirodnog plina dolazi do smanjenja emisija za 25,3 tCO<sub>2</sub> godišnje što iznosi 16,2% manje emisija s obzirom na osnovni slučaj.

Osnovni slučaj - sažetak GHG (početni)				
Tip goriva	Mješavina goriva	Potrošnja goriva	Faktor emisija GHG	GHG emisije
	%	kWh	tCO <sub>2</sub> /MWh	tCO <sub>2</sub>
Električna energija	12,4%	103.494	0,244	25,3
Prirodni plin	87,6%	731.935	0,179	131
Ukupno	100,0%	835.430	0,187	157

Predloženi slučaj, sažetak GHG-a				
Tip goriva	Mješavina goriva	Potrošnja goriva	Faktor emisija GHG	GHG emisije
	%	kWh	tCO <sub>2</sub> /MWh	tCO <sub>2</sub>
Električna energija	14,9%	103.494	0,244	25,3
Prirodni plin	85,1%	590.778	0,179	106
Ukupno	100,0%	694.272	0,189	131

*Slika 34 Emisije CO<sub>2</sub> za osnovni i predloženi slučaj mjere 5 dobivene uz pomoć RETScreen softvera*

## **6 PRELIMINARNA FINACIJSKA ANALIZA**

Kao što je već opisano u prethodnom poglavlju, za analizu mjera koje se provode koristi se RETScreen softver. Njime je u nastavku dana detaljna financijska analiza te su izračunate uštede i povrat investicije za svaku mjeru. Kao ulazni podaci koristile su se cijene energenata za 2023. godinu zbog promjene u odnosu na cijene izračunate osmogodišnjim prosjekom dane u poglavlju Analiza troškova. U 2023. godini, cijena električne energije iznosi 0,108 €/kWh, a prirodnog plina 0,765 €/m<sup>3</sup>. S obzirom na osmogodišnji prosjek, vidljiv je porast cijene prirodnog plina, a pad cijene električne energije. Moguće je predvidjeti da će se takav trend nastaviti zbog povećanja proizvodnje električne energije pomoću obnovljivih izvora energije i nedostatka prirodnog plina u budućnosti.

### **6.1 Financijska analiza mjere 1 - Izgradnja fotonaponske elektrane za proizvodnju električne energije za vlastitu potrošnju**

Za izgradnju sunčane elektrane za proizvodnju električne energije za vlastitu potrošnju na krovu zgrade Geotehničkog fakulteta cijena investicije iznosi 34.342 € te bi jednostavni povrat investicije uz samostalno financiranje bio moguć za 4,9 godina. U ovom slučaju dolazi do subvencioniranja od 85% iz Strukturnih fondova čime se cijena investicije smanjuje na 5.151,3 € [18].

Tablicom 6 dan je prikaz troškova prije i nakon izgradnje fotonaponske elektrane gdje je jasno vidljivo da dolazi do godišnjih ušteda od 6.942,59 € što nam je potrebno za izračunavanje povrata investicije koji pada na malo manje od 9 mjeseci.



Tablica 6 Rezultati troškova električne energije prije i nakon izgradnje fotonaponske elektrane (FNE)

<b>Prosječni troškovi električne energije prije izgradnje FNE:</b>	<b>16.068,85 EUR/god</b>
<b>Prosječni troškovi električne energije nakon izgradnje FNE:</b>	<b>9.126,26 EUR/god</b>
<b>Prosječne uštede (EUR):</b>	<b>6.942,59 EUR/god</b>
<b>Prosječne uštede (%):</b>	<b>57 %</b>

Za financijsku analizu mjere 1, pomoću RETScreen softvera su dobiveni rezultati prikazani na slici 35 i 36. Na slici 35 je prikazana godišnja potrošnja i troškovi električne energije i prirodnog plina za osnovni slučaj (bez fotonaponske elektrane) i predloženi slučaj (sa fotonaponskom elektranom). Kod električne energije vidljivo je smanjenje potrošnje za vrijednost proizvodnje fotonaponske elektrane koja iznosi 48.300 kWh ili 5.961 € godišnje. Krajnji rezultat troškova za električnu energiju i prirodni plin iznosi 58.647 € godišnje.

Tip goriva	Tip goriva		Osnovni slučaj		Predloženi slučaj	
	Protok goriva	Potrošnja goriva - jedinica	Potrošnja goriva	Trošak goriva	Potrošnja goriva	Trošak goriva
Prirodni plin	€ 0,765	m <sup>3</sup>	68.870	€ 52.686	68.870	€ 52.686
Električna energija	€ 0,108	kWh	103.494	€ 11.177	55.194	€ 5.961
<b>Ukupno</b>				<b>€ 63.863</b>		<b>€ 58.647</b>

Slika 35 Rezultati troškova mjere 1 za prirodni plin i električnu energiju za osnovni i predloženi slučaj

Slikom 36 prikazana je financijska analiza provedbe mjere izgradnje fotonaponske elektrane gdje je prikazana cijena investicije i cijena subvencioniranja. Uz pomoć baze podataka softvera, procijenjeni su godišnji troškovi održavanja fotonaponske elektrane koji iznose 1.677 € godišnje. Na kraju se dolazi do rezultata da bi jednostavan povrat investicije bio moguć za 1,5 godinu što je približno blizu rezultata analize koja nije napravljena u RETScreen softveru. Razliku u rezultatu možemo prepisati tome što u analizi koja nije napravljena u softveru nisu u obzir uzeti troškovi pogona i održavanja fotonaponske elektrane i promjeni u cijeni električne energije.

Troškovi   Uštede   Dohodak		
<b>Inicijalni troškovi</b>		
Inkrementalni inicijalni troškovi	100%	€ 34.342
<b>Ukupni početni troškovi</b>	<b>100%</b>	<b>€ 34.342</b>
Poticaji i dotacije		€ 29.191
<b>Godišnji tok novca - Godina 1</b>		
<b>Godišnji troškovi i otplate duga</b>		
Pogon i održavanje		€ 1.677
Trošak goriva - predloženi slučaj		€ 58.647
Otplata duga		€ 0
<b>Ukupni godišnji troškovi</b>		<b>€ 60.324</b>
<b>Godišnje uštede i prihodi</b>		
Trošak goriva - osnovni slučaj		€ 63.863
Prihod od smanjenja stakleničkih plinova		€ 0
Drugi prihodi (troškovi)		€ 0
Prihod od proizvodnje čiste energije		€ 0
<b>Ukupni godišnji prihodi i uštede</b>		<b>€ 63.863</b>
<b>Neto godišnji protok gotovine - Godina 1</b>		<b>€ 3.539</b>
<b>Financijska isplativost</b>		
IRR prije oporezivanja - imovina	%	68,7%
Jednostavni povrat	god	1,5
Povrat imovine	god	1,5

*Slika 36 Financijska analiza mjere 1*

## 6.2 Financijska analiza mjere 2 - Zamjena starog toplovodnog kotla novim

U prošlom poglavlju je opisano kolike su uštede postignute zamjenom starih Buderus Logano kotlova novim, učinkovitijim kotlovima. Cijena novih plinskih kotlova Centrometal EKO-CUP S3 iznosila bi 12.412 € bez kotlovske regulacije. Za svaki kotao je potrebna kotlovska regulacija prikazana na slici 37 čija je cijena 138 € po komadu. Cijena ukupne investicije zamjene kotlova iznosila bi 12.688 € [23].



Slika 37 Kotlovska regulacija za kotao EKO-CUP S3

RETSscreen softverom prikazani su troškovi prirodnog plina s obzirom na osnovni i predloženi slučaj te je također dana financijska analiza cijele mjere te njezina isplativost (Slika 38, Slika 39). S obzirom na već spomenuto smanjenje potrošnje prirodnog plina od 14.499 m<sup>3</sup> ili 154.092 kWh, na slici 38 jasno je vidljivo i smanjenje troškova koje iznosi 11.092 €.

Tip goriva	Tip goriva		Osnovni slučaj		Predloženi slučaj	
	Protok goriva	Potrošnja goriva - jedinica	Potrošnja goriva	Trošak goriva	Potrošnja goriva	Trošak goriva
Prirodni plin	€ 0,765	m <sup>3</sup>	68.870	€ 52.686	54.371	€ 41.594
Električna energija	€ 0,108	kWh	103.494	€ 11.177	103.494	€ 11.177
<b>Ukupno</b>				<b>€ 63.863</b>		<b>€ 52.771</b>

Slika 38 Rezultati troškova mjere 2 za prirodni plin i električnu energiju za osnovni i predloženi slučaj

Na slici 39 prikazana je financijska analiza provedbe mjere 2. Vidljivo je koliko iznose početni troškovi investicije te troškovi potrošnje prije i nakon provedbe mjere. Uz godišnju uštedu od 11.092 € izračunat je povrat investicije za 1,1 godinu.

Troškovi   Uštede   Dohodak		
<b>Inicijalni troškovi</b>		
Inkrementalni inicijalni troškovi	100%	€ 12.688
<b>Ukupni početni troškovi</b>	<b>100%</b>	<b>€ 12.688</b>
<b>Godišnji tok novca - Godina 1</b>		
<b>Godišnji troškovi i otplate duga</b>		
Pogon i održavanje		€ 0
Trošak goriva - predloženi slučaj		€ 52.771
Otplata duga		€ 0
<b>Ukupni godišnji troškovi</b>		<b>€ 52.771</b>
<b>Godišnje uštede i prihodi</b>		
Trošak goriva - osnovni slučaj		€ 63.863
Prihod od smanjenja stakleničkih plinova		€ 0
Drugi prihodi (troškovi)		€ 0
<b>Ukupni godišnji prihodi i uštede</b>		<b>€ 63.863</b>
<b>Neto godišnji protok gotovine - Godina 1</b>		<b>€ 11.092</b>
<b>Financijska isplativost</b>		
IRR prije oporezivanja - imovina	%	87,4%
Jednostavni povrat	god	1,1
Povrat imovine	god	1,1

Slika 39 Financijska analiza mjere 2

### 6.3 Financijska analiza mjere 3 - Ugradnja dizalice topline zrak-voda za grijanje zgrade

Investicija za dizalicu topline zrak-voda je puno manja od ostalih dizalica topline čije su cijene investicije znatno skuplje. Za navedeni primjer ugradnje dizalice topline, ukupna cijena investicije iznosi 375.000 €.

Analiza troškova prikazana je u softveru RETScreen. Na slici 40 su prikazani troškovi prije i nakon ugradnje dizalice topline. Korištene su cijene električne energije i prirodnog plina za 2023. godinu. Vidljivo kako bi se samo za potrošnju prirodnog plina godišnje trebalo izdavati 52.686 €. Nakon ugradnje dizalice topline ta se vrijednost smanjila na nulu, a vrijednost troškova za električnu energiju bi porasla sa 11.177 € na 34.892 €. Vidljive su uštede godišnjih troškova za 28.971 €.

Tip goriva	Tip goriva		Osnovni slučaj		Predloženi slučaj	
	Protok goriva	Potrošnja goriva - jedinica	Potrošnja goriva	Trošak goriva	Potrošnja goriva	Trošak goriva
Prirodni plin	€ 0,765	m <sup>3</sup>	68.870	€ 52.686	0	€ 0
Električna energija	€ 0,108	kWh	103.494	€ 11.177	323.075	€ 34.892
<b>Ukupno</b>				<b>€ 63.863</b>		<b>€ 34.892</b>

Slika 40 Rezultati troškova mjere 3 za prirodni plin i električnu energiju za osnovni i predloženi slučaj

Financijska analiza isplativosti mjere 3 prikazana je na slici 41 gdje su prikazani ukupni investicijski troškovi te izračunate uštede od potrošnje samo električne energije. Softverom je dobiveno da će ukupan povrat ovakve investicije biti za 13 godina s obzirom na nove cijene energenata. Moguće je predvidjeti da će se trend rasta cijene plina u budućnosti nastaviti, a da će se cijena električne energije smanjivati zbog sve veće proizvodnje pomoću obnovljivih izvora energije što će smanjiti povrat ove investicije.

Troškovi   Uštede   Dohodak		
<b>Inicijalni troškovi</b>		
Inkrementalni inicijalni troškovi	99,7%	€ 375.000
Održavanje	0,27%	€ 1.000
<b>Ukupni početni troškovi</b>	<b>100%</b>	<b>€ 376.000</b>
<b>Godišnji tok novca - Godina 1</b>		
<b>Godišnji troškovi i otplate duga</b>		
Troškovi pogona i održavanja (uštede)		€ 0
Trošak goriva - predloženi slučaj		€ 34.892
Otplata duga		€ 0
<b>Ukupni godišnji troškovi</b>		<b>€ 34.892</b>
<b>Godišnje uštede i prihodi</b>		
Trošak goriva - osnovni slučaj		€ 63.863
Prihod od smanjenja stakleničkih plinova		€ 0
Drugi prihodi (troškovi)		€ 0
<b>Ukupni godišnji prihodi i uštede</b>		<b>€ 63.863</b>
<b>Neto godišnji protok gotovine - Godina 1</b>		<b>€ 28.971</b>
<b>Financijska isplativost</b>		
IRR prije oporezivanja - imovina	%	7,7%
Jednostavni povrat	god	13
Povrat imovine	god	13

Slika 41 Financijska analiza mjere 3

Da su cijene energenata ostale prema prosjeku za osmogodišnje razdoblje i iznosile za prirodni plin, 0,554 €/m<sup>3</sup>, a za električnu energiju 0,147 €/kWh, povrat investicije bi se

povećao i iznosio 64 godine. Prema podacima iz 2022. godine, cijena prirodnog plina je bila još manja te je iznosila 0,159 €/m<sup>3</sup>, a električne energije je bila veća te iznosila 0,271 €/kWh. Povrat investicije s cijenama energenata za 2022. godinu ne bi bio moguć pa se investicija bez predviđanja cijena energenata u budućnosti ne bi provodila.

#### 6.4 Financijska analiza mjere 4 - Izolacija vanjske ovojnice zgrade

Uzeći u obzir cijenu materijala i radova, predviđeni trošak za ovakvu vrstu investicije je 40 €/m<sup>2</sup>. Ukupna površina vanjskih zidova iznosi 1.973,21 m<sup>2</sup> čime se dobije ukupni trošak investicije koji iznosi 78.928,4 €.

Analiza troškova za potrebe toplinske energije provedbom ove mjere prikazana je na slici 42. Vidljivo je kako ne dolazi do promjene u potrošnji električne energije dok je potrošnja prirodnog plina smanjena za 8.588 m<sup>3</sup> ili 91.274 kWh što uz cijenu od 0,765 €/m<sup>3</sup> daje prosječnu godišnju uštedu od 6.570 €.

Tip goriva	Tip goriva		Osnovni slučaj		Predloženi slučaj	
	Protok goriva	Potrošnja goriva - jedinica	Potrošnja goriva	Trošak goriva	Potrošnja goriva	Trošak goriva
Prirodni plin	€ 0,765	m <sup>3</sup>	68.870	€ 52.686	60.282	€ 46.116
Električna energija	€ 0,108	kWh	103.494	€ 11.177	103.494	€ 11.177
<b>Ukupno</b>				<b>€ 63.863</b>		<b>€ 57.293</b>

*Slika 42 Rezultati troškova mjere 4 za prirodni plin i električnu energiju za osnovni i predloženi slučaj*

Rezultati financijske analize opisivane mjere nalaze se na slici 43. Iz priloženog je vidljivo da povrat ovakve investicije iznosi 12 godina. Mogućom subvencijom financiranom programima ili pozivima opisivanim u početnom dijelu ovog rada kojim se subvencioniraju energetske obnove javnih zgrada do 40%, cijena investicije bi se smanjila sa 78.928 € na 47.356,8 €, a povrat bi se smanjio na 7 godina.

Troškovi   Uštede   Dohodak		
<b>Inicijalni troškovi</b>		
Inkrementalni inicijalni troškovi	100%	€ 78.928
<b>Ukupni početni troškovi</b>	<b>100%</b>	<b>€ 78.928</b>
<b>Godišnji tok novca - Godina 1</b>		
<b>Godišnji troškovi i otplate duga</b>		
Pogon i održavanje	€	0
Trošak goriva - predloženi slučaj	€	57.293
Otplata duga	€	0
<b>Ukupni godišnji troškovi</b>	<b>€</b>	<b>57.293</b>
<b>Godišnje uštede i prihodi</b>		
Trošak goriva - osnovni slučaj	€	63.863
Prihod od smanjenja stakleničkih plinova	€	0
Drugi prihodi (troškovi)	€	0
<b>Ukupni godišnji prihodi i uštede</b>	<b>€</b>	<b>63.863</b>
<b>Neto godišnji protok gotovine - Godina 1</b>	<b>€</b>	<b>6.570</b>
<b>Financijska isplativost</b>		
IRR prije oporezivanja - imovina	%	5,4%
Jednostavni povrat	god	12
Povrat imovine	god	12

Slika 43 Financijska analiza mjere 4

## 6.5 Financijska analiza mjere 5 – Zamjena starih prozora novima

Prema procjeni cijena i ugradnja novih PVC prozora sa manjim koeficijentom toplinske vodljivosti da bi se postigla manja potreba za toplinskom energijom iznosi 160 €/m<sup>2</sup>. Ukupna površina svih prozora na zgradi je 1.198,58 m<sup>2</sup> čime se dobiva cijena ovakve investicije koja iznosi 191.772,8 €.

Tip goriva	Tip goriva		Osnovni slučaj		Predloženi slučaj	
	Protok goriva	Potrošnja goriva - jedinica	Potrošnja goriva	Trošak goriva	Potrošnja goriva	Trošak goriva
Prirodni plin	€ 0,765	m <sup>3</sup>	68.870	€ 52.686	55.588	€ 42.525
Električna energija	€ 0,108	kWh	103.494	€ 11.177	103.494	€ 11.177
<b>Ukupno</b>				<b>€ 63.863</b>		<b>€ 53.702</b>

Slika 44 Rezultati troškova mjere 5 za prirodni plin i električnu energiju za osnovni i predloženi slučaj

Na slici 44 dan je prikaz potrošnje prirodnog plina i električne energije za osnovni i predloženi slučaj gdje je vidljivo kako se provođenjem ove mjere potrošnja prirodnog plina smanjila sa 68.870 m<sup>3</sup> na 55.588 m<sup>3</sup>. Smanjenjem za 13.282 m<sup>3</sup> prirodnog plina ili već spomenutih 141.158 kWh dolazi do ušteda od 10.161 €.

Na slici 45 vidljiva je financijska analiza opisivane mjere. Iz slike je vidljivo kako bi se investicija od 192.773 € uz godišnje uštede od 10.161 € mogla isplatiti za 19 godina. Prijavom na program ili poziv energetske obnove javnih zgrada kojim bi se omogućilo subvencioniranje od 40% ta vrijednost bi se smanjila na 11,4 godina.

Troškovi   Uštede   Dohodak		
<b>Inicijalni troškovi</b>		
Inkrementalni inicijalni troškovi	99,5%	€ 191.773
Održavanje	0,52%	€ 1.000
<b>Ukupni početni troškovi</b>	<b>100%</b>	<b>€ 192.773</b>
<b>Godišnji tok novca - Godina 1</b>		
<b>Godišnji troškovi i otplate duga</b>		
Troškovi pogona i održavanja (uštede)	€	0
Trošak goriva - predloženi slučaj	€	53.702
Otplata duga	€	0
<b>Ukupni godišnji troškovi</b>	<b>€</b>	<b>53.702</b>
<b>Godišnje uštede i prihodi</b>		
Trošak goriva - osnovni slučaj	€	63.863
Prihod od smanjenja stakleničkih plinova	€	0
Drugi prihodi (troškovi)	€	0
<b>Ukupni godišnji prihodi i uštede</b>	<b>€</b>	<b>63.863</b>
<b>Neto godišnji protok gotovine - Godina 1</b>	<b>€</b>	<b>10.161</b>
<b>Financijska isplativost</b>		
IRR prije oporezivanja - imovina	%	4,3%
Jednostavni povrat	god	19
Povrat imovine	god	19

*Slika 45 Financijska analiza mjere 5*



## 7 ANALIZA REZULTATA

Slikom 46 prikazane su sve ključne informacije o prijašnje opisanim mjerama koje su dane kao prijedlog za postizanjem ušteta energije, emisija i troškova za zgradu Sveučilišta. Ovim je sumarnim prikazom vidljivo koja se energija koristi za koju mjeru, koje su uštede te za koliko bi vremenski bio moguć povrat te investicije.

Mjera	Naziv mjere	Potrošna energija	Ušteta potrošnje		Smanjenje emisija		Ušteta troškova	Cijena investicije	Subvencija	Povrat investicije
			kWh/god	%	tCO <sub>2</sub> /god	%	EUR	EUR	EUR	god
1	Izgradnja fotonaponske elektrane za proizvodnju električne energije za vlastitu potrošnju	električna energija	48.300	46%	12	7,50%	3.539	34.342	29.191	1,5
2	Zamjena starog toplovodnog kotla novim	prirodni plin	154.092	21%	27	18%	11.092	12.688	-	1,1
3	Ugradnja dizalice topline zrak-voda za grijanje zgrade	električna energija	512.355	70%	77,7	50%	28.971	375.000	-	13
4	Izolacija vanjske ovojnice zgrade	prirodni plin	91.274	13%	16,4	11%	6.570	78.928	-	12
5	Zamjena starih prozora novima	prirodni plin	141.158	19%	25,3	16%	10.161	191.773	-	19

*Slika 46 Sumarni prikaz svih mjera energetske učinkovitosti za zgradu Geotehničkog fakulteta u Varaždinu*

Iz slike 46 vidljivo je kako do najvećih ušteta potrošnje i smanjenja emisija CO<sub>2</sub> dolazi ugradnjom dizalice topline zrak-voda za grijanje zgrade, a najmanjih izolacijom vanjske ovojnice zgrade. Mjera sa najvišom cijenom investicije je ugradnja dizalice topline zrak-voda, a povrat te investicije s obzirom na postignute uštede ne ispada najduže od svih mjera. Mjera sa najdužim povratom investicije je zamjena starih prozora novima zbog omjera cijene i ušteta u potrošnji dok je najisplativija mjera zamjena starog toplovodnog kotla novim obzirom na cijenu investicije i uštedu energije.

U nastavku je opisano kako bi se neke od predloženih mjera mogle međusobno kombinirati te koji bi bili rezultati ušteta i financijske isplativosti.

## 7.1 1. Slučaj - kombinacija mjere 1 i mjere 3

Ugradnjom fotonaponske elektrane i dizalice topline u zgradi fakulteta, potrošnja prirodnog plina za potrebe grijanja zgrade više ne bi bila potrebna, dok bi se za grijanje koristila električna energija koja bi se proizvodila pomoću fotonaponske elektrane. Kao što je vidljivo iz slike 22, kroz sezonu grijanja bi se pomoću fotonaponske elektrane proizvodilo od 1.000 do 3.000 kWh električne energije što bi definitivno pripomoglo ukupnoj potrošnji električne energije što za grijanje tako i za ostale potrebe.

Potrošnja električne i toplinske energije (kWh)	Mjera 1	Mjera 3	Kombinacija
<b>osnovni slučaj</b>	835.430	835.430	835.430
<b>predloženi slučaj</b>	787.130	323.075	274.775
<b>uštedeno goriva</b>	48.300	512.355	560.655
<b>uštedeno goriva %</b>	5,80%	61,30%	67,10%

*Slika 47 Prikaz potrošnje električne i toplinske energije mjere 1, mjere 3 i njihove kombinacije za osnovni i predloženi slučaj*

Slikom 47 jasno je prikazana ušteda goriva provedbom navedenih mjera izražena u kWh i postocima te također kolike bi uštede bile postignute njihovom kombinacijom.

EUR	Mjera 1	Mjera 3	Kombinacija
cijena investicije	34.342	375.000	409.342
subvencije	29.190	0	29.191
<b>UKUPNA CIJENA INVESTICIJE</b>	<b>5.152</b>	<b>375.000</b>	<b>380.151</b>
trošak goriva osnovni slučaj	63.863	63.863	63.863
trošak goriva predloženi slučaj	58.647	34.892	29.676
održavanje pogona	1.677	0	1.677
<b>GODIŠNJE UŠTEDE</b>	<b>3.539</b>	<b>28.971</b>	<b>32.510</b>
<b>ISPLATIVOST INVESTICIJE (god)</b>	<b>1,46</b>	<b>12,94</b>	<b>11,69</b>

*Slika 48 Prikaz financijske analize mjere 1, mjere 3 i njihove kombinacije*

Uštedom energije kombinacijom ovih dviju mjera dolazi također do uštede troškova na energente. Na slici 48 dan je prikaz cijena investicija mjera i njihove kombinacije, koliki su troškovi goriva za osnovni slučaj (bez primjene mjera) i predloženi slučaj (primjenom mjera) te također koji su troškovi održavanja pogona zadani prema RETScreen softveru. Na osnovu tih podataka izračunate su godišnje uštede te finalno za koliko bi se vremenski isplatila kombinacija mjera izgradnje fotonaponske elektrane i ugradnje dizalice topline zrak-voda što iznosi 11,69 godina.

## 7.2 2. Slučaj – kombinacija mjere 4 i mjere 5

Izolacija zgrade je izrazito važna za njezino energetska stanje. U prošlim poglavljima su zasebno opisane mjere izolacije prozora i toplinske izolacije te na koji će način one pomoći u stvaranju energetski učinkovitije zgrade. U nastavku je opisano kolike bi uštede bile postignute da se mjere provode u isto vrijeme te koliko bi vremenski bilo potrebno za njihovu isplativost.

Potrošnja električne i toplinske energije (kWh)	Mjera 4	Mjera 5	Kombinacija
osnovni slučaj	835.430	835.430	835.430
predloženi slučaj	744.155	694.272	602.998
uštedeno goriva	91.274	141.158	232.432
uštedeno goriva %	11%	17%	28%

*Slika 49 Prikaz potrošnje električne i toplinske energije mjere 4, mjere 5 i njihove kombinacije za osnovni i predloženi slučaj*

Na slici 49 vidljiva je ušteda goriva provedbom navedenih mjera izražena u kWh i postocima te također kolike bi uštede bile postignute da se mjere provode zajedno.

EUR	Mjera 4	Mjera 5	Kombinacija
cijena investicije	78.928	191.773	270.701
subvencije	0	0	0
<b>UKUPNA CIJENA INVESTICIJE</b>	<b>78.928</b>	<b>191.773</b>	<b>270.701</b>
trošak goriva osnovni slučaj	63.863	63.863	63.863
trošak goriva predloženi slučaj	57.293	53.702	47.132
održavanje pogona	0	0	0
<b>GODIŠNJE UŠTEDE</b>	<b>6.570</b>	<b>10.161</b>	<b>16.731</b>
<b>ISPLATIVOST INVESTICIJE (god)</b>	<b>12,01</b>	<b>18,87</b>	<b>16,18</b>

*Slika 50 Prikaz financijske analize mjere 4, mjere 5 i njihove kombinacije*

Izolacijom vanjske ovojnice zgrade i izolacijom prozora dolazi do značajnih ušteda u potrošnji energije što je također vidljivo troškovima za korištene energente. Na slici 50 prikazana je financijska analiza tih mjera te uštede koje bi nastale njihovom kombinacijom. Vidljivo je kako bi cijena ovakve investicije uz subvencije mogla biti isplaćena za malo više od 16 godina.

## 8 ZAKLJUČAK

Analizom potrošnje energije zgrade Geotehničkog fakulteta dobiven je detaljan pregled o njezinom stanju, izračunati su različiti indikatori te su prikazani i opisani brojni grafovi kojima je jasno vidljiva potrošnja kroz godine i mjesece u zgradi. Na osnovu dobivenih rezultata i fizičkih karakteristika zgrade preporučene su mjere energetske učinkovitosti. Kroz provedbu mjera i njihovih kombinacija dovelo bi se do značajnih ušteda u potrošnji energije te s time smanjenja troškova i emisija CO<sub>2</sub>.

Preporučeno je 5 mjera energetske učinkovitosti, a to su; ugradnja fotonaponske elektrane, zamjena kotla, ugradnja dizalice topline, izolacija vanjske ovojnice zgrade i zamjena prozora. Neke od navedenih mjera bi mogle biti financirane samostalno, no zbog opsega nekih mjera, za njihovu je provedbu potrebna financijska pomoć. Uz mogućnost prijavljivanja na brojne projekte obnove javnih zgrada opisane na početku ovog rada kojima bi se omogućila subvencija mjera, došlo bi do izrazito pozitivnih rezultata gdje bi sve mjere i njihove kombinacije imale financijsku isplativost manju od 20 godina.

Kao alat za izradu ovog rada korišten je RETScreen softver kojim su izračunate potencijalne uštede te su napravljene financijske analize za svaku mjeru. Softver se pokazao kao vrlo koristan alat za ovakvu vrstu analize te bi se mogao koristiti kod svih vrsta zgrade kojima je potrebna obnova.

Vrlo je važno da se zgrade niskog energetskog razreda kojih u Republici Hrvatskoj još uvijek ima jako puno, odazivaju na programe koji bi im omogućili financijsko rasterećenje. Vrijednost od otprilike 40% od ukupne energije koja se troši u zgradama je prevelika i potrebno je poticati na njezino smanjenje kako bi uspjeli smanjiti utjecaj klimatskih promjena ili ga bar održati na razini na kojoj je život na planetu Zemlji još uvijek moguć.

## 9 LITERATURA

- [1] “2021 GLOBAL STATUS REPORT FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTION Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector”, Accessed: Sep. 03, 2023. [Online]. Available: [www.globalabc.org](http://www.globalabc.org).
- [2] “REPUBLIC OF CROATIA MINISTRY OF ECONOMY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT REPUBLIKA HRVATSKA MINISTARSTVO GOSPODARSTVA I ODRŽIVOG RAZVOJA ENERGIJA U HRVATSKOJ ENERGY IN CROATIA GODIŠNJI ENERGETSKI PREGLED ANNUAL ENERGY REPORT”.
- [3] “Zakon o gradnji.” [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013\\_12\\_153\\_3221.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_12_153_3221.html) (accessed Aug. 17, 2023).
- [4] mr.sc. Vesna Bukarica *et al.*, “Priručnik za energetske savjetnike,” 2008.
- [5] “Priručnik za eneresko certificiranje zgrada DIO 2 PRIRUČNIK ZA ENERGETSKO CERTIFICIRANJE ZGRADA Dio 2,” 2012.
- [6] Ministarstvo graditeljstva i prostornoga uređenja, “Program energetske obnove zgrada javnog sektora za razdoblje od 2014. do 2015. godine,” 2013.
- [7] Ministarstvo prostornoga uređenja graditeljstva i državne imovine, “Program energetske obnove zgrada javnog sektora za razdoblje do 2030. godine,” 2022.
- [8] “NN 22/17 od 13.03.2017. Odluka o donošenju Programa energetske obnove zgrada javnog sektora za razdoblje 2016. – 2020. - Zakon.hr.” <https://www.zakon.hr/cms.htm?id=18551> (accessed May 15, 2023).
- [9] Ministarstvo prostornoga uređenja graditeljstva i državne imovine, “Dugoročna strategija obnove nacionalnog fonda zgrada do 2050. godine,” 2020.

- [10] Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, “Nacionalni akcijski plan energetske učinkovitosti za razdoblje od 2022. do 2024. godine,” 2022.
- [11] “Vlada Republike Hrvatske - Ministarstvo graditeljstva: Za energetska obnovu javnih zgrada 40 milijuna eura.” <https://vlada.gov.hr/vijesti/ministarstvo-graditeljstva-za-energetsku-obnovu-javnih-zgrada-40-milijuna-eura/37995> (accessed May 21, 2023).
- [12] “Zakon o energetska učinkovitosti.” [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014\\_10\\_127\\_2399.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014_10_127_2399.html) (accessed Sep. 03, 2023).
- [13] “Pravilnik o sustavnom gospodarenju energijom u javnom sektoru.” [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2015\\_02\\_18\\_389.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2015_02_18_389.html) (accessed Sep. 03, 2023).
- [14] “JIP - Javno i poslovno - Kako se nadzire i analizira potrošnja energije i vode - Zgradonačelnik.hr.” <https://www.zgradonacelnik.hr/jip-javno-i-poslovno/kako-se-nadzire-i-analizira-potrosnja-energije-i-vode/1036> (accessed Jun. 21, 2023).
- [15] S. Bardić, E. Klasić, and D. Vidak, “Izvešće o energetska pregledu građevine Geotehnički fakultet Varaždin, Hallerova aleja 7, Varaždin, Varaždinska županija NSZ2,” 2013.
- [16] “GEOTEHNIČKI FAKULTET Ovog četvrtka i petka sudjelujte na 3. danima karijera u inženjerstvu okoliša — Varazdinski.hr.” <https://varazdinski.net.hr/promo/4154648/geotehnicki-ovog-cetvrtka-i-petka-dodjite-na-3-dan-karijera-u-inzenjerstvu-okolisa/> (accessed Jun. 04, 2023).
- [17] “Pravilnik o energetska pregledu zgrade i energetska certificiranju.” [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2017\\_09\\_88\\_2093.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2017_09_88_2093.html) (accessed Jun. 07, 2023).

- [18] Soelektrik d.o.o., “Izrada glavnog elektroničkog i građevinskog projekta ‘Sunčana elektrana za proizvodnju el. energije za vlastitu potrošnju,’” 2021.
- [19] “EKO-CUP S3 (125 – 600 kW) - Centrometal | TEHNIKA GRIJANJA.” <https://www.centrometal.hr/portfolio/eko-cup-s3-125-600-kw/> (accessed Jul. 08, 2023).
- [20] “Princip rada: dizalica topline voda voda i dizalica topline zrak voda?” <https://www.menerga.hr/blog/2020/11/02/princip-rada-dizalica-topline-voda-voda-zrak-voda/> (accessed Jul. 02, 2023).
- [21] “EWYT-B | Daikin.” [https://www.daikin.eu/en\\_us/product-group/chillers/chiller-and-heat-pump-series/ewyt-b.html](https://www.daikin.eu/en_us/product-group/chillers/chiller-and-heat-pump-series/ewyt-b.html) (accessed Sep. 07, 2023).
- [22] “EMRQ-AB | Daikin.” [https://www.daikin.hr/hr\\_hr/products/product.html/emrq-ab.html](https://www.daikin.hr/hr_hr/products/product.html/emrq-ab.html) (accessed Jul. 02, 2023).
- [23] T. grijanja Centrometal, “Cjenik,” 2023, Accessed: Sep. 04, 2023. [Online]. Available: <https://vitos.hr/wp-content/uploads/2023/03/Cjenik-09.02.2023..pdf>



## Popis slika

SLIKA 1 ZGRADA GEOTEHNIČKOG FAKULTETA SVEUČILIŠTA U ZAGREBU [16] .....	6
SLIKA 2 GRAFIČKI PRIKAZ BROJA OSOBA KOJE BORAVE U ZGRADI KROZ GODINE .....	7
SLIKA 3 POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE KROZ GODINE UZ PRIKAZ UDJELA POTROŠNJE VISOKE I NISKE TARIFE .....	8
SLIKA 4 DIJAGRAM POTROŠNJE VISOKE I NISKE TARIFE ZA SVIH 8 GODINA ANALIZE .....	8
SLIKA 5 POTROŠNJA PRIRODNOG PLINA KROZ GODINE IZRAŽENA U METRIMA KUBNIM .....	9
SLIKA 6 POTROŠNJA PRIRODNOG PLINA POSLEDNJIH 5 SEZONA GRIJANJA .....	9
SLIKA 7 USPOREDBA POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE I PRIRODNOG PLINA KROZ GODINE IZRAŽENA U KWH .....	10
SLIKA 8 GRAFIČKI PRIKAZ POTROŠNJE VODE KROZ GODINE .....	11
SLIKA 9 DIJAGRAM PROSJEČNE RASPODJELE TROŠKOVA PO ENERAGENTIMA IZRAŽEN U POSTOCIMA .....	13
SLIKA 10 TROŠKOVI ZA ELEKTRIČNU ENERGIJU, PRIRODNI PLIN I VODU PO GODINAMA .....	14
SLIKA 11 PONAŠANJE UDJELA TROŠKOVA ELEKTRIČNE ENERGIJE (LIJEVO) I PRIRODNOG PLINA (DESNO) PO M <sup>2</sup> I BROJU OSOBA KOJE KORISTE ZGRADU KROZ GODINE .....	15
SLIKA 12 UDJELI TROŠKOVA ELEKTRIČNE ENERGIJE I PRIRODNOG PLINA ZA 2021. GODINU (LIJEVO) I 2022. GODINU (DESNO) PO MJESECIMA .....	15
SLIKA 13 DVA TOPLOVODNA KOTLA BUDERUS LOGANO SK625-311-410 [15] .....	19
SLIKA 14 ČLANKASTI RADIJATOR (LIJEVO) I VENTILOKONVEKTOR (DESNO) [15] .....	20
SLIKA 15 RASHLADNI UREĐAJ, UNUTARNA JEDINICA (LIJEVO), VANJSKA JEDINICA (DESNO) [15] .....	21
SLIKA 16 RASHLADNIK VODE AIRWELL CLS.602.STD [15] .....	21
SLIKA 17 KLIMA KOMORA PROKLIMA KU 6-M-DU50S-S (LIJEVO), ELEMENTI ZA DISTRIBUCIJU KONDICIONIRANOG ZRAKA (DESNO) [15] .....	22
SLIKA 18 ODSISNA NAPA (LIJEVO), CIJEVI ZA ODVOD OTPADNOG ZRAKA (DESNO) [15] .....	23
SLIKA 19 NATPISNA PLOČICA ELEKTRIČNOG BOJLERA MARKE KONČAR [15] .....	23
SLIKA 20 GRAF POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ MREŽE BEZ I SA FOTONAPONSKOM ELEKTRANOM UZ PRIKAZ POSTOTAKA SMANJENJA POTROŠNJE ZA 12 MJESECI .....	26
SLIKA 21 GRAF POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE VISOKE TARIFE IZ MREŽE BEZ I SA FOTONAPONSKOM ELEKTRANOM UZ PRIKAZ POSTOTAKA SMANJENJA POTROŠNJE ZA 12 MJESECI .....	26
SLIKA 22 PODACI O FOTONAPONSKOJ ELEKTRANI DOBIVENI UZ POMOĆ RETSCREEN SOFTVERA .....	28
SLIKA 23 EMISIJE CO <sub>2</sub> ZA OSNOVNI I PREDLOŽENI SLUČAJ MJERE 1 DOBIVENE UZ POMOĆ RETSCREEN SOFTVERA .....	29
SLIKA 24 CENTROMETAL EKO-CUP S3 400 kW [19] .....	29
SLIKA 25 GODIŠNJE UŠTEDE MJERE 2 ZA GRIJANJE DOBIVENE UZ POMOĆ RETSCREEN SOFTVERA .....	30
SLIKA 26 EMISIJE CO <sub>2</sub> ZA OSNOVNI I PREDLOŽENI SLUČAJ MJERE 2 DOBIVENE UZ POMOĆ RETSCREEN SOFTVERA .....	31
SLIKA 27 PRINCIP RADA DIZALICE TOPLINE ZRAK-VODA [20] .....	32
SLIKA 28 DIZALICA TOPLINE DAIKIN EWYT-B [21] .....	32
SLIKA 29 GODIŠNJE UŠTEDE MJERE 3 ZA GRIJANJE DOBIVENE UZ POMOĆ RETSCREEN SOFTVERA .....	33
SLIKA 30 EMISIJE CO <sub>2</sub> ZA OSNOVNI I PREDLOŽENI SLUČAJ MJERE 3 DOBIVENE UZ POMOĆ RETSCREEN SOFTVERA .....	34

SLIKA 31 GODIŠNJE UŠTEDE MJERE 4 ZA GRIJANJE DOBIVENE UZ POMOĆ RETSCREEN SOFTVERA .....	35
SLIKA 32 EMISIJE CO <sub>2</sub> ZA OSNOVNI I PREDLOŽENI SLUČAJ MJERE 4 DOBIVENE UZ POMOĆ RETSCREEN SOFTVERA.....	35
SLIKA 33 GODIŠNJE UŠTEDE MJERE 5 ZA GRIJANJE DOBIVENE UZ POMOĆ RETSCREEN SOFTVERA .....	36
SLIKA 34 EMISIJE CO <sub>2</sub> ZA OSNOVNI I PREDLOŽENI SLUČAJ MJERE 5 DOBIVENE UZ POMOĆ RETSCREEN SOFTVERA.....	37
SLIKA 35 REZULTATI TROŠKOVA MJERE 1 ZA PRIRODNI PLIN I ELEKTRIČNU ENERGIJU ZA OSNOVNI I PREDLOŽENI SLUČAJ.....	39
SLIKA 36 FINACIJSKA ANALIZA MJERE 1 .....	40
SLIKA 37 KOTLOVSKA REGULACIJA ZA KOTAO EKO-CUP S3 .....	41
SLIKA 38 REZULTATI TROŠKOVA MJERE 2 ZA PRIRODNI PLIN I ELEKTRIČNU ENERGIJU ZA OSNOVNI I PREDLOŽENI SLUČAJ.....	41
SLIKA 39 FINACIJSKA ANALIZA MJERE 2 .....	42
SLIKA 40 REZULTATI TROŠKOVA MJERE 3 ZA PRIRODNI PLIN I ELEKTRIČNU ENERGIJU ZA OSNOVNI I PREDLOŽENI SLUČAJ.....	43
SLIKA 41 FINACIJSKA ANALIZA MJERE 3 .....	43
SLIKA 42 REZULTATI TROŠKOVA MJERE 4 ZA PRIRODNI PLIN I ELEKTRIČNU ENERGIJU ZA OSNOVNI I PREDLOŽENI SLUČAJ.....	44
SLIKA 43 FINACIJSKA ANALIZA MJERE 4 .....	45
SLIKA 44 REZULTATI TROŠKOVA MJERE 5 ZA PRIRODNI PLIN I ELEKTRIČNU ENERGIJU ZA OSNOVNI I PREDLOŽENI SLUČAJ.....	45
SLIKA 45 FINACIJSKA ANALIZA MJERE 5 .....	46
SLIKA 46 SUMARNI PRIKAZ SVIH MJERA ENERGETSKE UČINKOVITOSTI ZA ZGRADU GEOTEHNIČKOG FAKULTETA U VARAŽDINU	47
SLIKA 47 PRIKAZ POTROŠNJE ELEKTRIČNE I TOPLINSKE ENERGIJE MJERE 1, MJERE 3 I NJIHOVE KOMBINACIJE ZA OSNOVNI I PREDLOŽENI SLUČAJ .....	48
SLIKA 48 PRIKAZ FINACIJSKE ANALIZE MJERE 1, MJERE 3 I NJIHOVE KOMBINACIJE .....	48
SLIKA 49 PRIKAZ POTROŠNJE ELEKTRIČNE I TOPLINSKE ENERGIJE MJERE 4, MJERE 5 I NJIHOVE KOMBINACIJE ZA OSNOVNI I PREDLOŽENI SLUČAJ .....	49
SLIKA 50 PRIKAZ FINACIJSKE ANALIZE MJERE 4, MJERE 5 I NJIHOVE KOMBINACIJE.....	50

## Popis tablica

TABLICA 1 VRIJEDNOSTI INDIKATORA PROSJEČNE GODIŠNJE POTROŠNJE PO OSOBI I PO M <sup>2</sup> ZA SVAKI ENERAGENT .....	11
TABLICA 2 VRIJEDNOSTI INDIKATORA POTROŠNJE ZA 2022. GODINU PO OSOBI I PO M <sup>2</sup> ZA SVAKI ENERAGENT.....	12
TABLICA 3 VRIJEDNOSTI INDIKATORA PROSJEČNIH GODIŠNJIH TROŠKOVA PO OSOBI I PO M <sup>2</sup> ZA SVAKI ENERAGENT.....	16
TABLICA 4 INDIKATORI EMISIJA CO <sub>2</sub> .....	18
TABLICA 5 REZULTATI POTROŠNJE I EMISIJA PRIJE I NAKON IZGRADNJE FOTONAPONSKE ELEKTRANE (FNE) .....	27
TABLICA 6 REZULTATI TROŠKOVA ELEKTRIČNE ENERGIJE PRIJE I NAKON IZGRADNJE FOTONAPONSKE ELEKTRANE (FNE) .....	39