

Analiza osjetljivosti izračuna energetskeg razreda

Srb, Borna

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:684457>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-15**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

Sveučilišni studij

Analiza osjetljivosti izračuna energetskeg razreda

Diplomski rad

Borna Srb

Osijek, 2021.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za diplomski ispit

Osijek, 18.09.2021.

Odboru za završne i diplomske ispite

Imenovanje Povjerenstva za diplomski ispit

Ime i prezime studenta:	Borna Srb
Studij, smjer:	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
Mat. br. studenta, godina upisa:	D-1265, 06.10.2019.
OIB studenta:	07479480648
Mentor:	Izv. prof. dr. sc. Hrvoje Glavaš
Sumentor:	Marko Rašić
Sumentor iz tvrtke:	
Predsjednik Povjerenstva:	Izv. prof. dr. sc. Goran Knežević
Član Povjerenstva 1:	Izv. prof. dr. sc. Hrvoje Glavaš
Član Povjerenstva 2:	Prof. dr. sc. Tomislav Barić
Naslov diplomskog rada:	Analiza osjetljivosti izračuna energetske razreda
Znanstvena grana rada:	Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)
Zadatak diplomskog rada:	Zadatak rada je proći praktični postupak energetske pregleda proizvoljne zgrade s ciljem definiranja energetske bilance. Sukladno važećoj metodologiji za provedbu energetske pregleda u RH izračunati energetske razred. Nakon definiranja energetske iskaznice utvrditi relevantne parametre, njihov utjecaj na iskaznicu energetske svojstava analizom osjetljivosti. Navedenu analizu potrebno je provesti na realnom objektu za zatečeno stanje, ali i na modelu koji obuhvaća realne predložene mjere poboljšanja energetske svojstava.
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (diplomskog rada):	Izvrstan (5)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 3 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	18.09.2021.
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 03.10.2021.

Ime i prezime studenta:

Borna Srb

Studij:

Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika

Mat. br. studenta, godina upisa:

D-1265, 06.10.2019.

Turnitin podudaranje [%]:

16

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Analiza osjetljivosti izračuna energetskeg razreda**

izrađen pod vodstvom mentora Izv. prof. dr. sc. Hrvoje Glavaš

i sumentora Marko Rašić

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Zadatak diplomskog rada.....	1
2. PREGLED ENERGETSKE UČINKOVITOSTI U ZGRADARSTVU	2
2.1. Postupak provedbe energetskog pregleda.....	3
2.2. Analiza elemenata energetskog certifikata	4
2.3. Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje	7
3. OPIS ANALIZE OSJETLJIVOSTI NA PRIMJERU OBITELJSKE KUĆE	9
3.1. Energetski pregled obiteljske kuće	9
3.2. Izrada energetskog certifikata i izvješća pomoću Thorium A+	15
3.3. Prijedlog i analiza mjera za poboljšanje energetske učinkovitosti	29
3.4. Analiza osjetljivosti izračuna energetskog razreda prema mjeri izolacije vanjskih zidova ekspandiranim polistirenom	37
3.5. Analiza osjetljivosti izračuna energetskog razreda prema mjeri ugradnje fotonaponske elektrane.....	43
3.6. Analiza osjetljivosti izračuna energetskog razreda prema mjerama ugradnje dizalice topline i fotonaponske elektrane.....	47
4. ZAKLJUČAK	51
LITERATURA	52
SAŽETAK	54
ABSTRACT	55
ŽIVOTOPIS	56

1. UVOD

Stupanjem na snagu direktive 2012/27/EU Europskog parlamenta i vijeća 2012. godine, Hrvatska se obvezala na provedbu energetske certificiranja kao mjere za smanjenje upotrebe primarne energije i ispušnih plinova CO₂ na području Europske Unije. Uz energetske certificiranje uvedene su i mjere potpore energetske obnove kojima bi se trebale obnoviti zgrade s velikim energetske gubitcima. Za jasnu podjelu zgrada prema utrošku primarne energije one su podijeljene u 8 energetskih razreda od A+ do G. U 2019. godini u Europskoj uniji potrošena je energetska vrijednost 935 Mt nafte od čega su obiteljske kuće imale 26,3 % (245,9 Mt) ukupne potrošnje energije, od toga 64 % je otpadalo na grijanje prostora, 15 % na grijanje potrošne tople vode te 14 % na rasvjetu [1]. Očigledno je kako energetske obnovom obiteljskih kuća tj. pravilnim postavljanjem izolacijskih materijala na vanjsku ovojnicu obiteljskih kuća i zamjenom postojećih sustava za grijanje učinkovitijim može se uštedjeti veliki udio korištene energije. Uloga energetske certificiranja je klasifikacija zgrada prema potrošnji energije na vrlo jasan i transparentan način te pomoć korisnicima zgrada pri određivanju mogućnosti uštede energije, a time i novaca. Namjena ovog rada je prikazati metodologiju obavljanja energetske pregleda obiteljske kuće, izračuna utroška primarne energije i određivanja energetske razreda obiteljske kuće te analizirati osjetljivost ovog postupka i elemente koji najviše utječu na energetske razred obiteljske kuće.

1.1. Zadatak diplomskog rada

Zadatak rada je na primjeru obiteljske kuće izvršiti provedbu energetske pregleda i izradu energetske certifikata te predložiti mjere energetske učinkovitosti za obiteljsku kuću. Potrebno je praktično izvršiti analizu osjetljivosti izračuna energetske razreda za predložene mjere izolacije vanjske ovojnice, ugradbe fotonaponskog sustava i ugradbe dizalice topline na realnom primjeru obiteljske kuće.

2. PREGLED ENERGETSKE UČINKOVITOSTI U ZGRADARSTVU

Postoji mnoštvo definicija energetske učinkovitosti a jedna od njih je i definicija koja se koristi u zakonu o energetskej učinkovitosti: “Energetska učinkovitost je odnos između ostvarenog korisnog učinka i energije potrošene za ostvarenje tog učinka, kao i proizvodnja energije iz obnovljivih izvora energije i /ili kogeneracije za koju se ne ostvaruje poticajna cijena temeljem posebnih propisa”[2]. Cilj mjera energetske učinkovitosti je smanjenje ukupne potrošnje energije bez smanjenja ugone za korisnika objekta, odnosno uporaba manje količine energije za obavljanje istog posla. Mjere energetske učinkovitosti mogu se odnositi na ugradnju uređaja veće efikasnosti posebice rasvjetnih tijela i kućanskih aparata, ugradnju sustava za grijanje veće efikasnosti, postavljanje toplinske izolacije itd... No također se mogu i odnositi i samo na uporabu već postojećih uređaja kao primjerice ekonomično korištenje potrošne tople vode ili električne energije. U Hrvatskoj čak 40 % ukupne potrošnje energije se troši u zgradama. Zgrade u Hrvatskoj su većinom građene prij 1987. godine te nemaju odgovarajuću toplinsku zaštitu. Čak oko 83 % zgrada ne zadovoljava ni tehničke propise iz 1987. i imaju velike gubitke topline, uz prosječnu potrošnju energije od 150 do 200 kWh/m² što ih svrstava u energetske razred E. Mjere energetske učinkovitosti u zgradarstvu su povećanje toplinske zaštite zgrade, povećanje učinkovitosti sustava grijanja, hlađenja i ventilacije, povećanje učinkovitosti sustava rasvjete i električnih uređaja te korištenje obnovljivih izvora energije. Primjenom mjera povećanja energetske učinkovitosti u zgradi se smanjuje potrošnja energije, ali se također povećava ugoda boravka i trajnost zgrade. Odabir mjera, ovisi o energetske stanju i vrsti zgrade, načinu njenog korištenja te lokaciji. Idealno je primijeniti više mjera kako bi se osigurao njihov zajednički učinak i kako bi uštede bile značajnije. Vlada Republike Hrvatske je 2014. godine donijela programe energetske obnove s ciljem smanjenja potrošnje energije u zgradama na nacionalnoj razini i to za zgrade različite namjene: obiteljske kuće, višestambene zgrade, nestambene zgrade komercijalne namjene te zgrade javne namjene. Programe energetske obnove pratili su i odgovarajući programi sufinanciranja od strane Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost te europski fondova [3]. Obiteljske kuće čine 65 % stambenog fonda u Hrvatskoj koji je odgovoran za 40 % od ukupne potrošnje energije na nacionalnoj razini. Većina ih ima minimalnu ili gotovo nikakvu toplinsku izolaciju te takve kuće troše više od 70 % energije na grijanje, hlađenje i pripremu potrošne tople vode. Uz mjere energetske učinkovitosti takve obiteljske kuće mogu smanjiti potrošnju energije i do 60 % u odnosu na trenutnu [4]. Sve nove zgrade koje su podnijele zahtjev za izdavanje građevinske dozvole nakon 31.12.2020. moraju ispunjavati zahtjeve zgrada gotovo nulte energije [5]. Zgrade gotovo nulte energije su one zgrade koje imaju vrlo malu potrošnju energije te je ta

potrošnja uvelike pokrivena iz obnovljivih izvora energije. 2007. godine komisija Europske unije kao cilj smanjenja godišnje potrošnje energije definirala je 20 % do 2020. godine, a 2018. godine je u okviru paketa „Čista energija za sve Europljane” postavljen novi cilj smanjenja potrošnje energije za najmanje 32,5 % do 2030. godine. Također svoje strategije razvoja Hrvatska prilagođava načelima održivosti iz Europske direktive. Strategija energetskeg razvoja Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu tako predviđa znatno veći udjel proizvodnje energije iz obnovljivih izvora, veću energetske učinkovitost i smanjenje emisije stakleničkih plinova, kao i Integrirani nacionalni energetske i klimatske plan (NECP) za razdoblje od 2021.-2030. godine[6].

2.1. Postupak provedbe energetskeg pregleda

Europska norma koja definira provedbu energetskeg pregleda podijeljena je u 5 dijelova. Prvi dio koji definira zahtjeve, metodologiju i rezultate energetskeg pregleda objavljen je 2012. godine u normi EN 16247-1 [7]. Nakon toga 2014. godine definiraju se drugi, treći i četvrti od koji se fokusiraju na specifičnu potrebu energiju i provedbu energetskeg pregleda za zgrade, procese i prijevoz [8][9][10]. Posljednja dio norme EN 16247-5 izdan je 2015. godine i definira tko provodi energetske preglede i koje kvalifikacije i kompetencije on mora imati [11]. Metodologija energetskeg pregleda prvi puta u Hrvatskoj definirana je u 2009. godini. Metodologija detaljno definira na koji način energetske certifikator obavlja energetske pregled ali i izradu i analizu energetskeg certifikata [12]. Metodologija se mijenjala 2014., 2017. te 2021. godine kako bi se definirale zakonske obveze i zahtjevi za provedbu energetskeg pregleda i obveze energetskeg certifikatora. Tako se u inačici koja je na snazi od 2017. godine definira informacijske sustav energetskeg certifikata, a u posljednjoj inačici koja je na snazi od 1.7.2021. godine dodatno definiraju svi dijelovi certifikata i njihova izgleda u informacijskom sustavu energetskeg certifikata [13][14][15]. Energetske pregled je sustavan postupak stjecanja znanja o potrošnji energije i energetske svojstvima zgrade, za utvrđivanje i određivanje isplativosti primjene mjera za poboljšanje energetske učinkovitosti te za izradu izvješća o energetskeg pregledu zgrade s prikupljenim informacijama i predloženim mjerama[16]. Energetskeg pregledom stječu se sve potrebne informacije za izradu energetskeg certifikata, a to uključuje mjerenja, pregled postojeće dokumentacije te analizu potrošnje svih oblika energije. Energetske pregled obiteljske kuće obuhvaća mjerenje svih dimenzija kuće uključujući sve otvore (prozori i vrata). Određuje se i sastav zidova, poda te stropa obiteljske kuće i utvrđuje se postoji li toplinske izolacija na istim kako bi se izračunao koeficijent toplinske vodljivosti za te elemente. Također se i pregledavaju

sustavi grijanja, hlađenja i pripreme potrošne tople vode te njihova potrošnja. Utvrđuju se sva rasvjetna i ogrjevna tijela te bilježe svi troškovi na energente (struja, voda, plin, drvo..) u protekle 3 godine. Nakon obavljenog energetskeg pregleda vrši se analiza dobivenih podataka i izrađuje energetske certifikat obiteljske kuće. U tablici 2.1. prikazan je postupak provođenja energetskeg pregleda i izrade energetskeg certifikata.

Tablica 2.1. Aktivnosti po koracima u provedbi općeg energetskeg pregleda, izvor [17].

1. korak	Ugovaranje, inicijalni sastanak te definiranje načina komunikacije s klijentom	Definiranje ugovornih obaveza
		Inicijalni „kick off“ sastanak
		Definiranje načina komunikacije
2. korak	Prikupljanje osnovnih podataka o zgradi	Opće informacije o zgradi
		Klimatološki podaci o lokaciji
		Podaci o potrošnji energije i vode
		Podaci o tarifnim sustavima za sve energente
		Podaci o dostupnim energentima na lokaciji
		Podaci o prethodno poduzetim mjerama energetske učinkovitosti
3. korak	Analiza potrošnje energije i vode u ovisnosti o aktivnostima koje se odvijaju u zgradi	Opis i razumijevanje aktivnosti koja se odvija u objektu
		Analiza potrošnje energije i vode u ovisnosti s aktivnostima koje se odvijaju u objektu
		Analiza trenutne prakse gospodarenja energijom
4. korak	Prepoznavanje energetskeg troškovnih centara i analiza potrošnje energije i vode po glavnim grupama potrošača	Sustav opskrbe: elektroenergetski sustav, sustav komprimiranog zraka, sustav za proizvodnju toplinske energije, rashladni sustav, vodovodni sustav
		Sustav konačne potrošnje: grijanje, hlađenje, klimatizacija, ventilacija, potrošna topla voda, električna rasvjeta, ostali uređaji i oprema
5. korak	Analiza i proračun - vrednovanje prepoznatih potencijala za uštede	Prepoznavanje potencijala za uštede u energiji i vodi
		Tehno-ekonomska analiza prepoznatih potencijala za uštede
6. korak	Izrada završnog izvješća	Lista prioriteta mjera energetske učinkovitosti
		Prezentacija za klijenta

2.2. Analiza elemenata energetskeg certifikata

Energetski certifikat jasno pokazuje razinu potrošnje energije u građevinama te time jasno naznačuje razinu troška na energente koju objekt ostvaruje. Obiteljske kuće su podijeljene u 8 razreda podatkom o specifičnoj godišnjoj potrebnoj toplinskoj energiji za grijanje za referentne klimatske podatke izraženoj u kWh/(m²a) (oznaka Q_{hnd}). Energetski razredi se označuju

oznakama: A+, A, B, C, D, E, F, G. Gdje je A+ razred s najmanjom potrošnjom energije dok je G razred s najvišom potrošnjom energije, a točne iznose za Q_{hnd} možemo vidjeti u tablici 2.2.

Tablica 2.2. Energetski razredi po Q_{hnd} .

Energetski razred	A+	A	B	C	D	E	F	G
Q_{hnd} kWh/(m ² a)	≤ 15	≤ 25	≤ 50	≤ 100	≤ 150	≤ 200	≤ 250	> 250

Uz podjelu energetsko razreda po Q_{hnd} obiteljske kuće se dijele u energetske razrede i prema utrošenoj primarnoj energiji E_{prim} (kWh/m²a) ovisno o namjeni kuće i vrsti klime (kontinentalna ili primorska). U tablici 2.3. imamo prikazanu podjelu za obiteljske kuće po primarnoj energiji.

Tablica 2.3. Energetski razredi po E_{prim} za obiteljske kuće.

Energetski razred	A+	A	B	C	D	E	F	G
E_{prim} kWh/m ² a (kontinentalna Hrvatska)	≤ 45	≤ 80	≤ 115	≤ 280	≤ 445	≤ 560	≤ 670	> 670
E_{prim} kWh/m ² a (primorska Hrvatska)	≤ 35	≤ 55	≤ 70	≤ 230	≤ 385	≤ 485	≤ 580	> 580

Uz osnovne podatke o građevini certifikat također sadrži popis mjera za poboljšanje energetskog razreda zgrade i smanjivanje troškova te rok povratka ulaganja za takve investicije. Energetsko certificiranje i savjetovanje provode za to obrazovani inženjeri arhitekture, građevinarstva, strojarstva ili elektrotehnike koji moraju završiti posebne programe stručnog osposobljavanja podjeljena u 2 modula [18]. Podatci koji se trebaju prikazati na energetskom certifikatu određeni su normom HRN EN 15217, a izgled certifikata u Hrvatskoj određen je pravilnikom o energetskom pregledu zgrade i energetskom certificiranju. Energetski certifikat ima ukupno 4 stranica od čega je obaveza javnih ustanova izložiti prvu i treću stranicu izložiti na vidljivo mjesto. Na slici 2.1. vidljiv je novi izgled energetskog certifikata koji sadrži energetski razred po specifičnoj primarnoj energiji uz do tad standardni energetski razred po specifičnoj potrebnoj godišnjoj energiji za grijanje. Podjela po primarnoj energiji uvedena je iz zato što države kao Švedska imaju mnogo veću potrebu za grijanjem nego Hrvatska ili Španjolska te se ukazuje da stvaraju više CO₂ iako to nije nužno slučaj. Zbog toga se računa primarna energija koja u izračun uzima i način na koji je energija proizvedena tj. količinu CO₂ koja je potrebna za pretvaranje energije iz prvotnog oblika u oblik energije koji korisnik na kraju i potroši.

ENERGETSKI CERTIFIKAT ZGRADE				
prema Pravilniku o energetskom pregledu zgrade i energetskom certificiranju (NN)				
Naziv zgrade				
Naziv samostalne uporabne cjeline zgrade				
Ulica i kućni broj	Mjesto			
<input type="checkbox"/> nova <input type="checkbox"/> postojeća <input type="checkbox"/> rekonstrukcija				
Vrsta zgrade (prema Pravilniku)	odaberi vrstu zgrade prema Pravilniku iz padajućeg izbornika			
Vrsta zgrade prema složenosti tehničkih sustava	odaberi iz padajućeg izbornika			
Vlasnik / investitor				
k.č.br.	k.o.			
Ploština korisne površine grijanog dijela zgrade A_k	Godina izgradnje / rekonstrukcije			
Građevinska (bruto) površina zgrade $[m^2]$	Mjerodavna meteorološka postaja			
Faktor oblika f_o $[m^{-1}]$	Referentna klima			
ENERGETSKI RAZRED ZGRADE	Specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje $Q_{H,ud}$ $[kWh/(m^2 \cdot a)]$	Specifična godišnja primarna energija E_{prim} $[kWh/(m^2 \cdot a)]$		
	C	B		
Specifična godišnja isporučena energija E_{del} $[kWh/(m^2 \cdot a)]$				
Specifična godišnja emisija CO_2 $[kg/(m^2 \cdot a)]$				
Upisati „nZEB“ ako energetsko svojstvo zgrade (E_{prim}) zadovoljava zahtjeve za zgrade gotovo nulte energije propisane važećim TPRUETZZ	nZEB			
ROK VAŽENJA CERTIFIKATA / PODACI O OSOBI KOJA JE IZDALA ENERGETSKI CERTIFIKAT				
Oznaka energetskog certifikata	Datum izdavanja	Datum važenja		
Naziv ovlaštene pravne osobe		Registarski broj		
Ime i prezime imenovane osobe u ovlaštenoj pravnoj osobi ili ime i prezime ovlaštene fizičke osobe / vlastoručni potpis				
PODACI O OSOBAMA KOJE SU SUDJELOVALE U IZRADI ENERGETSKOG CERTIFIKATA				
Dio zgrade	Ime i prezime ovlaštene osobe	Naziv pravne osobe	Registarski broj	Vlastoručni potpis
Građevinski				
Strojarski				
Elektrotehnički				

ENERGETSKI CERTIFIKAT ZGRADE str. 1/4

Slika 2.1. Primjer izgleda prve stranice energetskog certifikata, izvor [19].

Zbog različite namjene zgrada i njihovih projektnih temperatura potrebna je različita količina energije po metru kvadratnom prostora. Zbog toga se i energetski razred određuje sukladno namjeni zgrade i specifičnoj godišnjoj primarnoj energiji, a podjela po namjeni prikazana je u tablici 2.4.

Tablica 2.4. Energetski razred zgrade prema namjeni zgrade.

E_{prim} (kWh/m ² a)	Klima	A+	A	B	C	D	E	F	G
STAMBENA	K	≤ 80	≤ 100	≤ 120	≤ 265	≤ 410	≤ 515	≤ 615	> 615
	P	≤ 50	≤ 75	≤ 90	≤ 220	≤ 350	≤ 435	≤ 520	> 520
OBITELJSKA	K	≤ 45	≤ 80	≤ 115	≤ 280	≤ 445	≤ 560	≤ 670	> 670
	P	≤ 35	≤ 55	≤ 70	≤ 230	≤ 385	≤ 485	≤ 580	> 580
UREDSKA	K	≤ 35	≤ 55	≤ 70	≤ 100	≤ 125	≤ 155	≤ 190	> 190
	P	≤ 25	≤ 50	≤ 70	≤ 90	≤ 110	≤ 140	≤ 165	> 165
OBRAZOVNA	K	≤ 55	≤ 60	≤ 65	≤ 125	≤ 175	≤ 220	≤ 265	> 265
	P	≤ 55	≤ 58	≤ 60	≤ 120	≤ 175	≤ 220	≤ 265	> 265
BOLNICA	K	≤ 250	≤ 275	≤ 300	≤ 345	≤ 395	≤ 495	≤ 590	> 590
	P	≤ 250	≤ 275	≤ 300	≤ 325	≤ 350	≤ 440	≤ 525	> 525
HOTEL I RESTORAN	K	≤ 90	≤ 110	≤ 130	≤ 160	≤ 190	≤ 240	≤ 290	> 290
	P	≤ 70	≤ 75	≤ 80	≤ 95	≤ 110	≤ 140	≤ 165	> 165
SPORTSKA DVORANA	K	≤ 210	≤ 305	≤ 400	≤ 465	≤ 530	≤ 665	≤ 795	> 795
	P	≤ 150	≤ 160	≤ 170	≤ 225	≤ 280	≤ 350	≤ 415	> 415
TRGOVINA	K	≤ 170	≤ 310	≤ 450	≤ 475	≤ 495	≤ 620	≤ 745	> 745
	P	≤ 150	≤ 210	≤ 280	≤ 290	≤ 340	≤ 425	≤ 510	> 510
OSTALE NESTAMBENE	K	≤ 80	≤ 115	≤ 150	≤ 280	≤ 410	≤ 515	≤ 615	> 615
	P	≤ 50	≤ 75	≤ 100	≤ 225	≤ 350	≤ 435	≤ 520	> 520

Iz tablice se može vidjeti kako uvjeti za postizanje energetskog razreda A+ za primjerice bolnicu i ured nisu jednaki zbog toga što se namjena i korisnik unutar zgrade bitno razlikuju.

2.3. Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje

Algoritam koji se koristi za izračun potrebne godišnje toplinske energije definiran je prema normi HRN EN ISO 13790. „Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje je računski određena količina topline koju sustavom grijanja treba tijekom jedne godine dovesti u zgradu za održavanje unutarnje projektne temperaturi u zgradi“ [20]. Prema HRN EN ISO 13790 postoje tri pristupa računanju potrošnje energije za grijanje i hlađenje s obzirom na vremenski korak, a dijele se na: kvazistacionarni proračun na bazi sezonskih vrijednosti, kvazistacionarni proračun na bazi mjesečnih vrijednosti i dinamički proračun s vremenskim korakom od jednog sata ili kraćim. Za potrebe energetskog certificiranja zgrada koristi se kvazistacionarni proračun na bazi mjesečnih vrijednosti. Godišnja vrijednost potrebne toplinske energije za grijanje izračunava se kao suma

pozitivnih mjesečnih vrijednosti. Izraz za izračun potrebne toplinske energije pri kontinuiranom radu je:

$$Q_{H,nd,cont} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} Q_{H,gn} \quad (2- 1)$$

gdje su:

$Q_{H,nd,cont}$ - potrebna toplinska energija za grijanje pri kontinuiranom radu (kWh);

$Q_{H,ht}$ – ukupno izmjenjena toplinska energija u periodu grijanja (kWh);

$Q_{H,gn}$ – ukupni toplinski dobici zgrade u periodu grijanja (ljudi, uređaji, rasvjeta i sunčevo zračenje) (kWh);

$\eta_{H,gn}$ – faktor iskorištenja toplinskih dobitaka

Svi moderni sustavi za grijanje imaju neku vrstu automatizacije te ne rade u kontinuiranom načinu rade pa je izraz za izračun potrebne energije za grijanje pri radu koji nije kontinuiran:

$$Q_{H,nd,a} = \sum_i \alpha_{H,red,i} \cdot Q_{H,nd,cont} \cdot \frac{L_{H,m,i}}{d_{m,i}} \quad (2- 2)$$

gdje je:

$Q_{H,nd,a}$ – ukupna toplinska energija za grijanje zgrade pri nekontinuiranom radu

$\alpha_{H,red,i}$ – redukcijski faktor koji uzima u obzir prekide u grijanju u i-tom mjesecu

$L_{H,m,i}$ – ukupni broj dana grijanja u mjesecu

$D_{m,i}$ – ukupni broj dana u mjesecu

Za potrebe energetskog certifikata za obiteljske kuće nije potrebno računati energiju potrebnu za hlađenje kuće dok kod većih zgrada ili zgrade druge namjene je potrebno i izračunati energiju potrebnu za hlađenje koja se također računa prema algoritmu iz norme HRN EN ISO 13790.

3. OPIS ANALIZE OSJETLJIVOSTI NA PRIMJERU OBITELJSKE KUĆE

Analiza osjetljivosti je provedena na primjeru obiteljske kuće u okolici Osijeka čiji vlasnik planira provesti energetska obnovu svoje obiteljske kuće uz potporu fonda za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost. Na primjeru te obiteljske kuće obavljen je energetski pregled, izrada energetskog certifikata i prijedlog mjera poboljšanja energetskog razreda obiteljske kuće. Izračun se vršio uz pomoć programske podrške Thorium A+. Thorium A+ je specijalizirana programska podrška za izračun energetskih gubitaka zgrada odobren od Ministarstva prostornog uređenja, graditeljstva i državne imovine. Analiza osjetljivosti je postupak promjene varijable debljine toplinske izolacije na vanjskoj ovojnici te snage fotonaponske elektrane u utjecaju na potrebnu energiju pri izračunu energetskog razreda.

3.1. Energetski pregled obiteljske kuće

Na slici 3.1. vidljivo je južno i istočno pročelje obiteljske kuće. Iz slike se odmah može zamjetiti kako kuća nema toplinsku izolaciju na fasadi. Također vidljivo je i da kuća ima PVC stolariju te postoji plinsko brojilo što ukazuje na korištenje plina kao energenta.



Slika 3.1. Južno i istočno pročelje obiteljske kuće.



Slika 3.2. Istočno i sjeverno pročelje obiteljske kuće.



Slika 3.3. Sjeverno i zapadno pročelje obiteljske kuće.

Iz slika 3.2. i 3.3. vidljiva su sjeverno i zapadno pročelje koje pokazuju kako nema izolacije vanjskih zidova niti s jedne strane kuće te kako postoji klimatizacijski uređaj. Također može se primijetiti postojanje podruma ispod djela kuće sa zapadne strane. Uvidom u ateste stolarije koje je proizvođač dostavio korisniku utvrđeno je da je postavljena stolarija s dvostrukim izo-staklom.

Koeficijent provodljivosti topline za prozor različit je za samo staklo te za okvir, u ovom slučaju za staklo iznosi $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ dok ukupni iznosi $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$. U izračunu energetske gubitaka koristi se ukupni koeficijent cijelog prozora. Profila prozora prikazana je na slici 3.4.



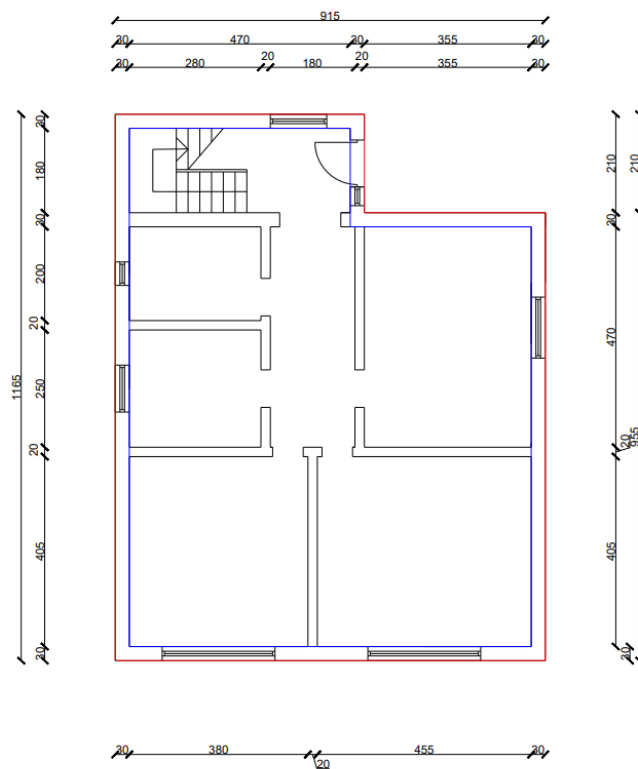
Slika 3.4. Profil prozora ukupne toplinske provodljivosti $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Pregledom građevinske dokumentacije utvrđen je sastav zidova, poda i stropa. Zidovi se sastoje od vapneno-cementne žbuke i šupljih blokova od gline debljine 30 centimetara. Strop kuće sastoji se od vapneno-cementne žbuke, šupljih blokova od gline visine 16 centimetara te armiranog betona debljine 6 centimetara. Utvrđene su i dimenzije zgrade koja je duljine 11,65 metara, a širine 9,15 metara. Obiteljska kuća ima i negrijani podrum manjih dimenzija te tavanski prostor koji nije izoliran. Grijanje prostorija i priprema potrošne tople vode vrši se pomoću plinskog kombi bojlera Junkers ZWE 24-2AE snage 24 kW prikaznog na slici 3.5.

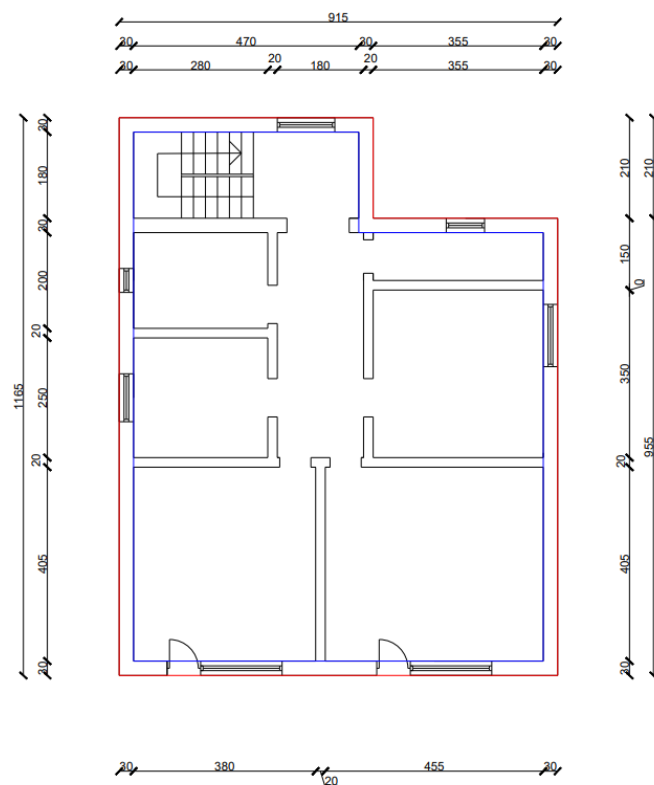


Slika 3.5. Plinski kombi bojler Junkers ZWE 24-2AE.

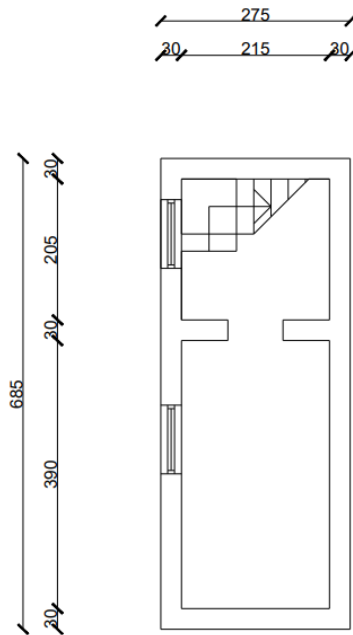
Laserskim daljinomjerom izmjerene su dimenzije sve stolarije te je naznačena njihova orijentacija. Za rasvjetu se koristi 15 fluokompaktnih žarulja te jedan LED luster. Obiteljska kuća ima jedan klimatizacijski uređaj postavljen u prizemlju snage 3 kW. Od ostalih značajnih električnih potrošača postoje hladnjak, perilica posuđa, perilica rublja, zamrzivač, osobno računalo te električni štednjak.



Slika 3.6. Tlocrtni prikaz prizemlja obiteljske kuće.



Slika 3.7. Tlocrtni prikaz kata obiteljske kuće.



Slika 3.8. Tlocrtni prikaz podruma obiteljske kuće.

Na slikama 3.6. i 3.7. prikazani su tlocrti prizemlja i kata obiteljske kuće gdje je plavom bojom označena korisna površina kondicioniranog dijela zgrade (A_k), a crvenom bojom je označena je bruto površina kondicioniranog dijela zgrade (A_f). Na slici 3.8. prikazan je ne grijani podrum koji zajedno sa površinama prizemlja i kata spada u bruto površinu građevine. Napravljen je i popis izljevniha mjesta koji je prikazan u tablici 3.1.

Tablica 3.1. Broj izljevniha mjesta u obiteljskoj kući.

Naziv	Broj instaliraniha
Slavina	2
Tuš	2
Umivaonik	2
Vodokotlić	2

3.2. Izrada energetskega certifikata i izvješća pomoću Thorium A+

Za izradu energetskega certifikata i izvješća korištena je programska podrška Thorium A+ koji je jedan od odobrenih programa od ministarstva prostornog uređenja, graditeljstva i državne imovine. Kako bi se započeo proces izrade energetskega certifikata potrebno je u Thoriumu definirati građevinsku zonu, u ovom slučaju obiteljsku kuću. Za to je potrebno izračunati korisnu i bruto površinu kuće te površinu grijanog dijela kuće tj. korisna površina s dodanim vanjskim dimenzijama kuće. Za navedene površine izračuna se i volumen. Tako za obiteljsku kuću koja je primjer u ovom radu su izračunati parametri i prikazani u tablici 3.2.

Tablica 3.2. Prikaz karakterističnih dimenzija obiteljske kuće.

Korisna površina A_k (m ²)	184,55
Površina zone s vanjskim dimenzijama A_f (m ²)	197,03
Bruto podna površina (m ²)	215,87
Obujam grijanog djela zraka V (m ³)	426,77
Obujam grijanog djela zgrade V_e (m ³)	561,54

Uz ove podatke potrebno je i unijeti informacije o vrsti grijanja te projektiranoj temperaturi na koju se obiteljska kuća grije. Za obiteljske kuće projektirana temperatura grijanja je 20 °C dok je temperatura hlađenja 22 °C. Važno je napomenuti kako energija koja se troši za hlađenje ne ulazi u izračun pri certificiranju obiteljskih kuća. Nakon unosa tih podataka izgled definirane zone u thoriumu može se vidjeti na slici 3.9.

Opći podaci		Rad sustava	
Namjena zone	Stambeni dio	Vrijeme rada sustava	S prekidom
Jednoobiteljska stambena zgrada	Da	t_d [h/dan]	17
Tip zone	Obiteljske kuće	$d_{use, tj}$ [dan/tj]	7
Status zone	Postojeća	t_d [h/dan] (propisani uvjeti)	17
Vrsta prostora	Obiteljske kuće	$d_{use, tj}$ [dan/tj] (propisani uvjeti)	7
Vrsta zgrade	Postojeća		
Unutarnje temperature		Geometrijske karakteristike	
Unutarnja temperatura u sezoni grijanja $\Theta_{int. set. H}$ [°C]	20.0	Klasa zgrade	Srednje teška
Unutarnja temperatura u sezoni hlađenja $\Theta_{int. set. C}$ [°C]	22.0	Broj etaža	1
Unutarnja postavna temperatura u sezoni grijanja $\Theta_{int. set. H}$ [°C]	20.0	Prosječna visina etaže [m]	2.65
Unutarnja postavna temperatura u sezoni hlađenja $\Theta_{int. set. C}$ [°C]	22.0	Obujam grijanog dijela zgrade V_e [m ³]	561.54
		Obujam grijanog dijela zraka V [m ³]	426.77
		Brutto podna površina [m ²]	215.87
		Površina zone s vanjskim dimenzijama A_f [m ²]	197.03
		Korisna površina A_k [m ²]	184.55

Slika 3.9. Prikaz unešenih podataka zone u programu Thorium A+.

Nakon definiranja zone potrebno je definirati građevne dijelove prisutne na objektu. Građevni dijelovi definiraju se u slojevima odabirom građevnog materijala iz ponuđene baze podataka i unosom njegove debljine, dostupan je i korisnički unos novih materijala i njegovih svojstva. Kuća iz primjera ima zidove od šupljih blokova od gline debljine 30 cm, stropove od šupljih blokova i armiranog betona te pod od drva, cementnog estriha, armiranog betona i šljunka. U tablicama možemo vidjeti unesene građevne dijelove.

Tablica 3.3. Prikaz strukture vanjskih zidova od unutra prema van.

Vapneno-cementna žbuka	2 cm
Šuplji blokovi od gline	30 cm
Vapneno-cementna žbuka	2 cm

Tablica 3.4. Prikaz strukture poda na tlu od unutra prema van.

Drvo – tvrdo - bjelogorica	2,5 cm
Cementni estrih	5 cm
Bitumenska traka s uloškom staklenog voala	0,5 cm
Armirani beton	12 cm
Pijesak, šljunak, tucanik (drobljenac)	20 cm

Tablica 3.5. Prikaz strukture stropa podruma od unutra prema podrumu.

Drvo – tvrdo - bjelogorica	2,5 cm
Cementni estrih	5 cm
Bitumenska traka s uloškom staklenog voala	0,5 cm
Armirani beton	12 cm

Tablica 3.6. Prikaz strukture stropa prema tavanu od unutra prema van.

Vapneno-cementna žbuka	2 cm
Šuplji blokovi od gline	16 cm
Armirani beton	6 cm

Uz navedene dijelove potrebno je definirati i vanjske otvore tj. stolariju. Sva stolarija na obiteljskoj kući je PVC sa koeficijentom prolaska topline $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$. Nakon unosa građevnih dijelova potrebno je definirati vanjsku ovojnicu dodavanjem površina građevnih dijelova i njihovih orijentacija. Vanjski zidovi kuće u primjeru površina su: sjever 47 m^2 , jug $37,26 \text{ m}^2$, istok $57,88 \text{ m}^2$, zapad $62,04 \text{ m}^2$. Površina stropa iznosi $92,28 \text{ m}^2$. Definirani elementi vanjske ovojnice mogu se vidjeti na slici 3.10.

Naziv	Građevni dio	[m ²]	[°]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	H _d [W/K]	
▼ Vanjski zidovi	Vanjski zidovi	204.18	90.00	1.20	0.10	264.94	
▼ Strop	Stropovi prema tavanu	92.28	0.00	1.73	0.10	169.32	
▼ UV	Vanjska vrata s neprozirnim vratnim krilom	2.94	90.00	1.40	0.00	4.12	
▼ P 1.7x1.3	Prozori, balkonska vrata, krovni prozori, prozračni elementi pročelja	4.42	90.00	1.40	0.00	6.19	
▼ P 1.2x1.6	Prozori, balkonska vrata, krovni prozori, prozračni elementi pročelja	3.84	90.00	1.40	0.00	5.38	
▼ P 0.8x0.5	Prozori, balkonska vrata, krovni prozori, prozračni elementi pročelja	0.80	90.00	1.40	0.00	1.12	
▼ P 0.8x0.5	Prozori, balkonska vrata, krovni prozori, prozračni elementi pročelja	0.40	90.00	1.40	0.00	0.56	
▼ P 1x1.2	Prozori, balkonska vrata, krovni prozori, prozračni elementi pročelja	2.40	90.00	1.40	0.00	3.36	
▼ P 2.4x1.4	Prozori, balkonska vrata, krovni prozori, prozračni elementi pročelja	6.72	90.00	1.40	0.00	9.41	
▼ P 1.8x1.2	Prozori, balkonska vrata, krovni prozori, prozračni elementi pročelja	4.32	90.00	1.40	0.00	6.05	
▼ BV 0.7x2.1	Prozori, balkonska vrata, krovni prozori, prozračni elementi pročelja	2.94	90.00	1.40	0.00	4.12	

Slika 3.10. Prikaz definiranih elemenata vanjske ovojnice u programu Thorium A+.

Nakon definiranja vanjske ovojnice definira se prijenos topline prema tlu. Za to su potrebni sljedeći podatci: površina poda (73,44 m²), izloženi opseg poda (43,2 m) i ukupna debljina zida (0,34 m). Uz pod dodaje se i podrum koji je u ovom slučaju negrijani, za dodavanje podruma uz navedene podatke potrebno je unijeti i volumen te visinu podruma iznad razine zemlje. Definirane prijenose prema tlu u thoriumu može se vidjeti na slici 3.11.

Tip poda	Pod	Uzdignuti dio	Zid	Zid iznad tla	U [W/m ² K]	H _{g,avg} [W/K]	
Pod na tlu	Pod na tlu	---	Vanjski zidovi	---	0.34	86.02	
Dodatne veličine:	B [m] = 3.40	w [m] = 0.34	H _{pe} [W/K] = 42.41	H _{pi} [W/K] = 46.09	H _g [W/K] = 85.81		
Negrijani podrum	Pod na tlu	Pod iznad podruma	Vanjski zidovi	Vanjski zidovi	0.34	34.95	
Dodatne veličine:	B [m] = 1.96	w [m] = 0.34	H _{pe} [W/K] = 20.86	H _{pi} [W/K] = 21.50	H _g [W/K] = 34.85		

Klikom na možete vidjeti više detalja.

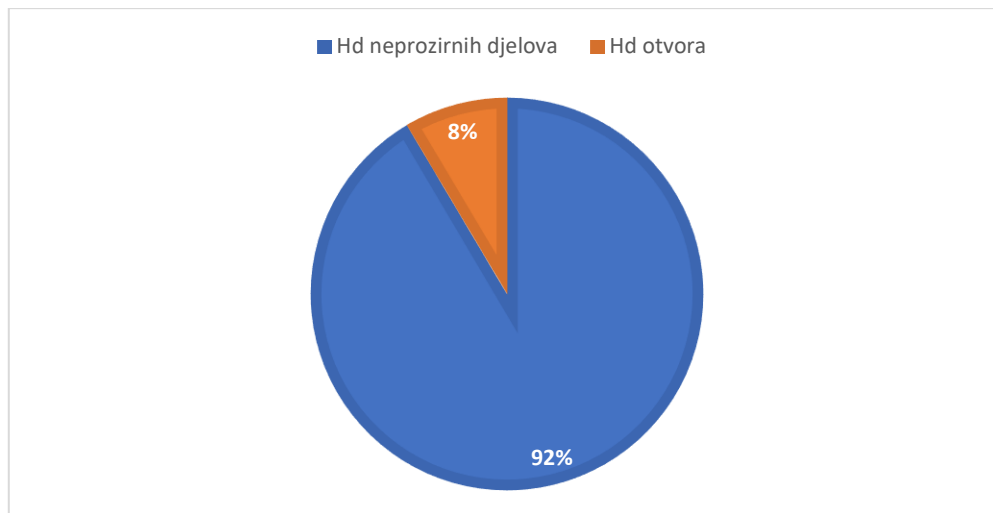
Slika 3.11. Prikaz definiranih elemenata u dodiru sa tlom u programu Thorium A+.

Nakon definiranja gubitaka prema tlu i definiranja referentne klimatske postaje (Zagreb) i stvarne klimatske postaje (Osijek) gotov je izračun gubitaka toplinske energije. Za izradu energetskog certifikata potrebno je još izračunati utrošenu primarnu energiju što se najviše odnosi na učinkovitost sustava za grijanje i pripremu potrošne tople vode. Za izračun te energije potrebno je definirati prostor u kojem se koristi PTV što je vrlo slično definiranju zone, potrebno je samo unijeti korisnu površinu objekta (Ak) i broj dana u godini koje se koristi PTV. Nakon toga kreće definiranje samog sustava grijanja i pripreme PTV. U ovom slučaju radi se o zidnom kombiniranom kotlu koji pomoću plina priprema potrošnu toplu vodu i zagrijava prostor, stoga je u ovom slučaju potrebno definirati samo jedan sustav za oboje. Za definiranje sustava potrebno je unijeti o kojoj vrsti se radi što je u ovom slučaju grijanje + PTV, zatim je potrebno odrediti koji energent koristi sustav (prirodni plin) i cijenu energenta te udio u ukupnom udjelu energije za grijanje kuće koji iznosi 100 %. Definirani sustav može se vidjeti na slici 3.12.

▼ Kombi bojler			
		Uredi Kopiraj Izbriši	
Opći podaci		Podaci o energentu	
Naziv sustava	Kombi bojler	Energent	Prirodni plin
Vrsta sustava	Grijanje + PTV	Jedinična cijena energenta [kn/kWh]	0.30
Sustav je definiran kao mjera	Ne	Jedinična cijena električne energije [kn/kWh]	1.00
Podaci o zoni za grijanje		Podaci o zoni za hlađenje	
Zona	Obiteljska kuća ✎	Zona	--
Udio $Q_{H,nd}$ [%]	100.00	Udio $Q_{C,nd}$ [%]	--
Podaci o zoni za PTV			
Zona	Obiteljska kuća ✎		
PTV prostor	Obiteljska kuća ✎		

Slika 3.12. Prikaz definiranog sustava za grijanje prostora u programu Thorium A+.

Unutar zadanog sustava potrebno je definirati 3 podsustava: podsustav predaje, podsustav razvoda i podsustav proizvodnje. Podsustav predaje odnos se na ogrjevna tijela koja su u ovom slučaju člankasti radijatori ukupne ogrjevnog snage 28 kW. Za podsustav razvoda potrebno je unijeti sve dionice razvoda cjevovoda. Potrebno je odrediti dužine cjevovoda između generatora i vertikalna, vertikalna te spojnih cjevovoda s ogrjevnim tijelima. Posljednji podsustav je podsustav proizvodnje koji definira snagu plinskog kotla te parametre za njegovu učinkovitost. Nakon definiranja sustava grijanja i PTV preostaje unijeti sva trošila električne energije pomoću posebnog sučelja. Kako bi se izračunala potrošnja električne energije potrebno je unijeti električnu snagu potrošača te koliko dnevno se koristi. Nakon što se unesu svi potrošači dobije se točan prikaz potrošnje električne energije. Nakon toga gotova je izrada trenutnog stanja obiteljske kuće. Generiranjem izvješća dobivamo važne podatke o toplinskim gubitcima obiteljske kuće koji nam omogućavaju uvid u potencijalne probleme tog objekta. Primjerice vrlo bitan je grafikon odnosa koeficijentata kod gubitaka kroz vanjsku ovojnici prikazan na slici 3.13.



Slika 3.13. Odnos otvora i neprozirnih djelova vanjske ovojnice obiteljske kuće.

Iz grafikona je vidljivo kako vanjski otvori čine samo 8% ukupnih gubitaka toplinske energije kroz vanjsku ovojnicu te iako su na obiteljskoj kući prisutni novi PVC prozori visoke kvalitete oni nemaju značajan utjecaj na toplinske gubitke na ovoj obiteljskoj kući. Ukoliko bi se radilo o vrlo dobro izoliranoj obiteljskoj kući s lošim prozorima te velikom ukupnom površinom prozora ovaj grafikon bi nam ukazivao na velike gubitke kroz vanjske otvore obiteljske kuće. Nakon toga slijedi izračun potrebne energije za grijanje obiteljske kuće računat po klimatskim podacima za svaki dan u godini. Izračun se vrši po referentnim i stvarnim klimatskim podacima tj. u ovom slučaju referentni klimatski podatci odnose se na Zagreb dok se stvarni klimatski podatci odnose na Osijek.

Tablica 3.7a. Potrebna energija po mjesecima za stvarne klimatske podatke (satna metoda).

Mjesec	$Q_{H,nd,day}$	$Q_{H,Tr}$	$Q_{H,Ve}$	Q_{int}	Q_{sol}	Q_{gn}
1	199,17	8.317,35	1.069,21	686,52	539,03	1.225,55
2	169,97	6.786,95	867,82	620,08	698,61	1.318,70
3	114,18	5.794,98	728,92	686,52	1.027,30	1.713,83
4	49,69	3.472,56	417,24	664,38	1.062,32	1.726,70
5	8,09	1.492,51	134,94	686,52	1.072,84	1.759,37
6	0,00	245,36	-31,12	664,38	1.040,05	1.704,43
7	0,00	-348,14	-113,35	686,52	1.126,99	1.813,52
8	0,00	-191,03	-92,21	686,52	1.115,91	1.802,43
9	0,00	1.909,04	193,27	664,38	969,46	1.633,84
10	57,56	3.752,78	453,41	686,52	989,78	1.676,31
11	128,69	5.681,22	715,20	664,38	552,05	1.216,43
12	192,89	7.958,69	1.020,85	686,52	403,45	1.089,98

Tablica 3.7b. Potrebna energija po mjesecima za stvarne klimatske podatke (satna metoda).

Mjesec	a_H	$\gamma_{H,1}$	$\gamma_{H,2}$	γ_H	$\gamma_{H,lim}$	$f_{H,m}$	$L_{H,m}$	$\eta_{H,gn}$	$Q_{H,nd,mj}$
1	1,9010	0,12	0,15	0,1310	1,52	1,00	31,00	0,9820	6.174,31
2	1,9010	0,15	0,21	0,1720	1,52	1,00	28,00	0,9710	4.759,28
3	1,9010	0,21	0,35	0,2630	1,52	1,00	31,00	0,9410	3.539,63
4	1,9010	0,35	0,76	0,4440	1,52	1,00	30,00	0,8690	1.490,73
5	1,9010	0,76	4,51	1,0810	1,52	0,56	18,00	0,6290	145,75
6	1,9010	4,51	503,97	7,9560	1,52	0,00	0,00	0,1240	0,00
7	1,9010	503,97	1.000,00	1.000,00	1,52	0,00	0,00	0,0010	0,00
8	1,9010	500,38	1.000,00	1.000,00	1,52	0,00	0,00	0,0010	0,00
9	1,9010	0,58	500,38	0,7770	1,52	0,50	15,00	0,7340	0,00
10	1,9010	0,29	0,58	0,3990	1,52	1,00	31,00	0,8880	1.784,34
11	1,9010	0,15	0,29	0,1900	1,52	1,00	30,00	0,9650	3.860,90
12	1,9010	0,12	0,15	0,1210	1,52	1,00	31,00	0,9840	5.979,70
Ukupno									27.734,67

Tablica 3.8. Rezultati proračuna za stvarne klimatske podatke.

Oplošje grijanog dijela zgrade A [m ²]	438,73
Obujam grijanog dijela zgrade Ve	561,54
Faktor oblika zgrade f ₀ [m ⁻¹]	0,78
Ploština korisne površine A _k [m ²]	184,55
Godišnja potrebna toplina za grijanje Q _{H,nd} [kWh/a]	27.734,67
Godišnja potrebna toplina za grijanje po jedinici ploštine korisne površine (za stambene zgrade) Q _{H,nd} [kWh/m ² a]	150,28(max=80,05)
Koeficijent transmisivnog toplinskog gubitka po jedinici oplošja grijanog dijela zgrade H _{tr,adj} [W/m ² K]	1,35 (max=0,49)
Koeficijent transmisivnog toplinskog gubitka H _{tr,adj} [W/K]	595,53

Tablica 3.9a. Potrebna energija po mjesecima za referentne klimatske podatke (satna metoda)

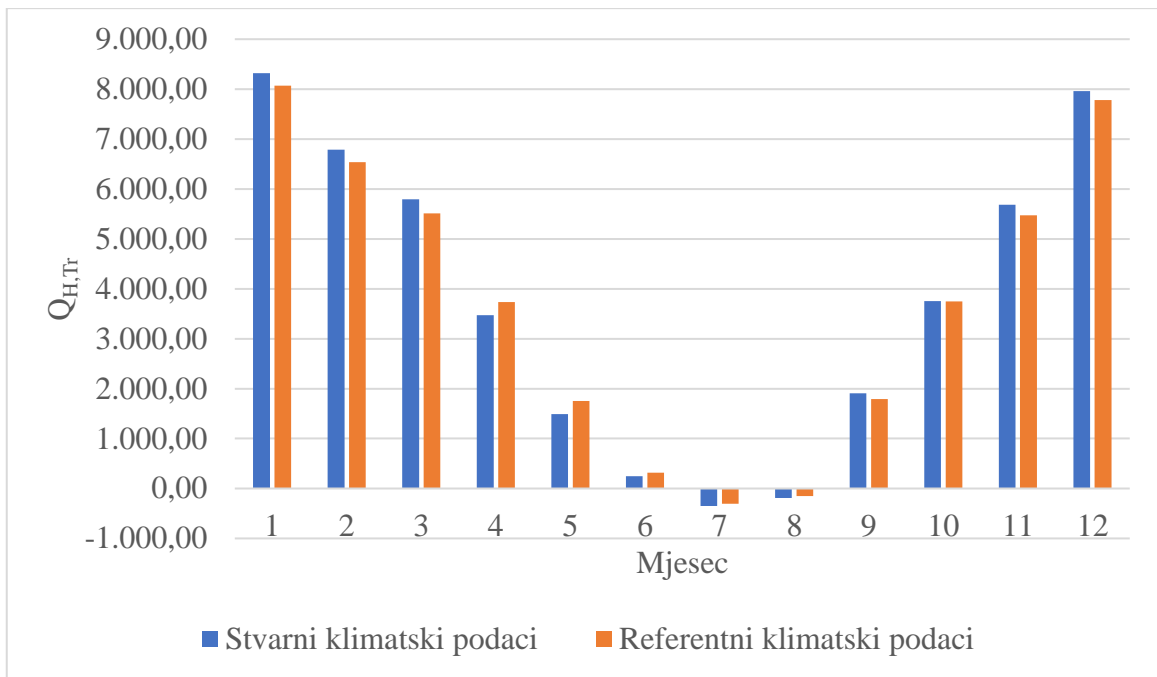
Mjesec	Q _{H,nd,day}	Q _{H, Tr}	Q _{H, Ve}	Q _{int}	Q _{sol}	Q _{gn}
1	192,78	8.069,29	1.025,13	686,52	496,01	1.182,53
2	163,46	6.535,00	833,49	620,08	648,10	1.268,19
3	108,48	5.513,68	696,31	686,52	952,22	1.638,74
4	59,33	3.737,63	466,43	664,38	1.046,46	1.710,84
5	10,34	1.749,93	173,17	686,52	1.083,96	1.770,49
6	0,00	315,38	-15,23	664,38	1.070,10	1.734,48
7	0,00	-303,15	-102,55	686,52	1.139,95	1.826,48
8	0,00	-152,49	-70,17	686,52	1.105,79	1.792,32
9	0,00	1.788,59	193,27	664,38	1.015,35	1.679,73
10	59,44	3.747,76	463,76	686,52	944,16	1.630,68
11	124,06	5.471,08	704,97	664,38	531,95	1.196,33
12	189,31	7.780,38	1.003,98	686,52	359,11	1.045,64

Tablica 3.9b. Potrebna energija po mjesecima za referentne klimatske podatke (satna metoda)

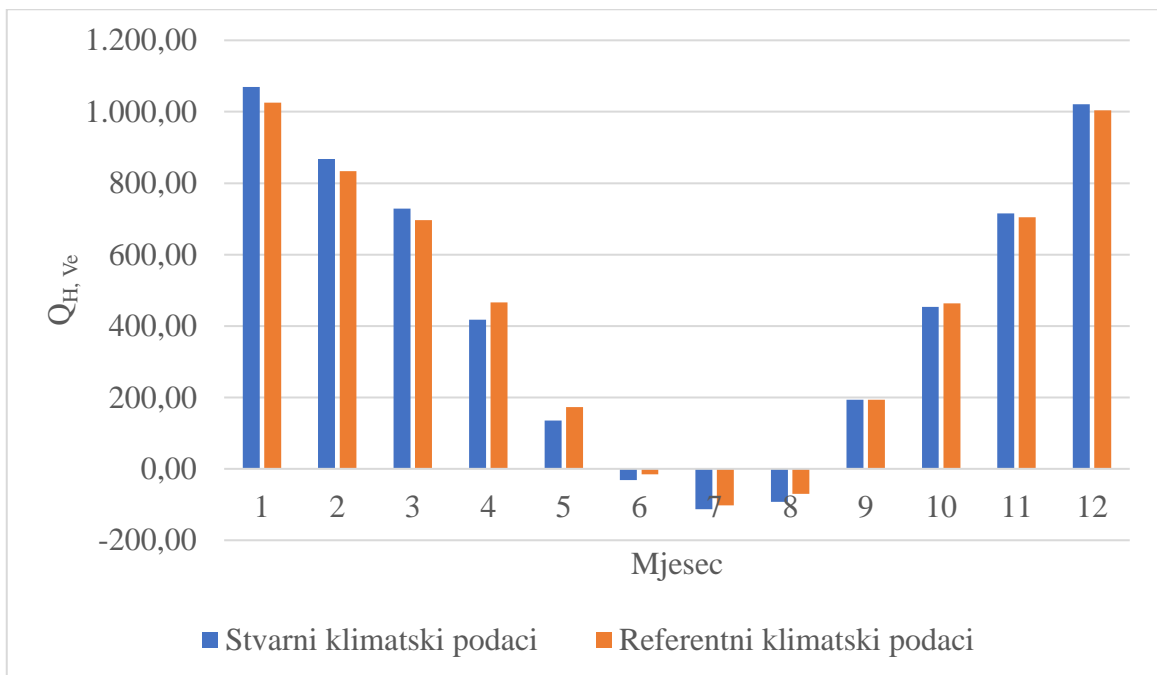
Mjesec	a_H	$\gamma_{H,1}$	$\gamma_{H,2}$	γ_H	$\gamma_{H, \text{lim}}$	$f_{H,m}$	$L_{H,m}$	$\eta_{H, \text{gn}}$	$Q_{H,nd,mj}$
1	1,8900	0,12	0,15	0,1300	1,52	1,00	31,00	0,9820	5.976,23
2	1,8900	0,15	0,21	0,1720	1,52	1,00	28,00	0,9700	4.577,06
3	1,8900	0,21	0,33	0,2640	1,52	1,00	31,00	0,9390	3.363,04
4	1,8900	0,33	0,66	0,4070	1,52	1,00	30,00	0,8830	1.780,09
5	1,8900	0,66	3,35	0,9210	1,52	0,62	19,00	0,6810	196,54
6	1,8900	3,35	502,88	5,7790	1,52	0,00	0,00	0,1680	0,00
7	1,8900	502,88	1.000,00	1.000,00	1,52	0,00	0,00	0,0010	0,00
8	1,8900	500,42	1.000,00	1.000,00	1,52	0,00	0,00	0,0010	0,00
9	1,8900	0,61	500,42	0,8480	1,52	0,50	15,00	0,7070	0,00
10	1,8900	0,29	0,61	0,3870	1,52	1,00	31,00	0,8910	1.842,83
11	1,8900	0,15	0,29	0,1940	1,52	1,00	30,00	0,9630	3.722,02
12	1,8900	0,12	0,15	0,1190	1,52	1,00	31,00	0,9840	5.868,79
Ukupno									27.326,64

Tablica 3.10. Rezultati proračuna za referentne klimatske podatke.

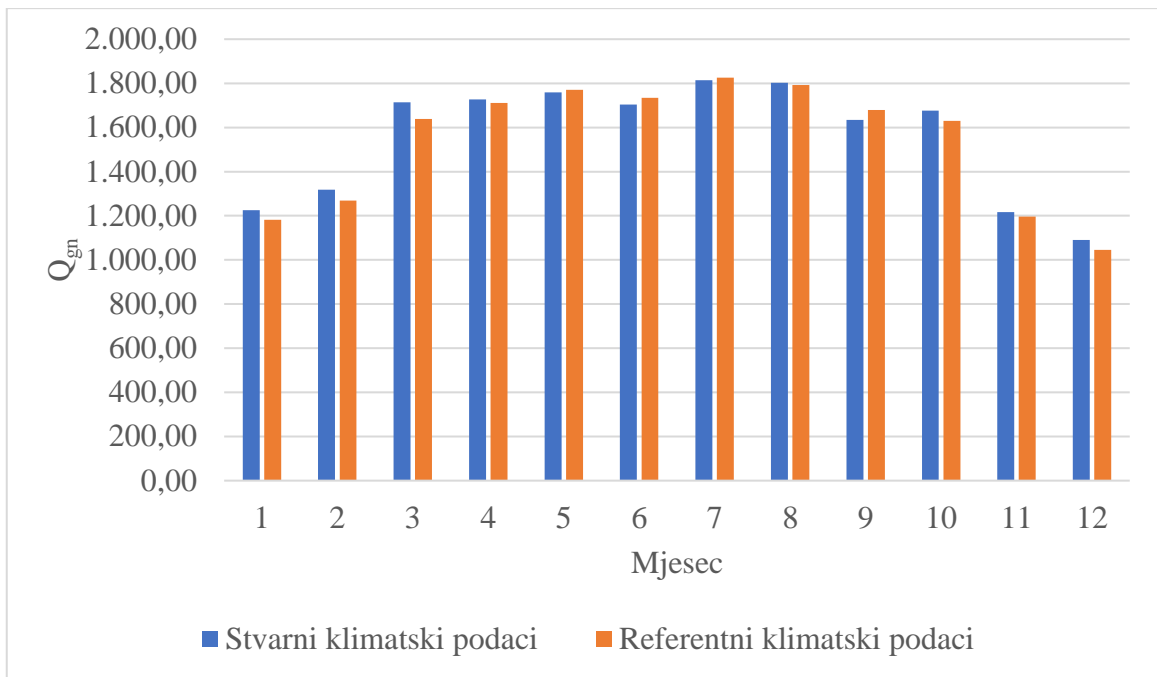
Oplošje grijanog dijela zgrade A [m ²]	438,73
Obujam grijanog dijela zgrade V _e	561,54
Faktor oblika zgrade f ₀ [m ⁻¹]	0,78
Ploština korisne površine A _k [m ²]	184,55
Godišnja potrebna toplina za grijanje Q _{H,nd} [kWh/a]	27.326,64
Godišnja potrebna toplina za grijanje po jedinici ploštine korisne površine (za stambene zgrade) Q _{H,nd} [kWh/m ² a]	148,07(max=80,05)
Koeficijent transmisijskog toplinskog gubitka po jedinici oplošja grijanog dijela zgrade H _{tr,adj} [W/m ² K]	1,37 (max=0,49)
Koeficijent transmisijskog toplinskog gubitka H _{tr,adj} [W/K]	603,93



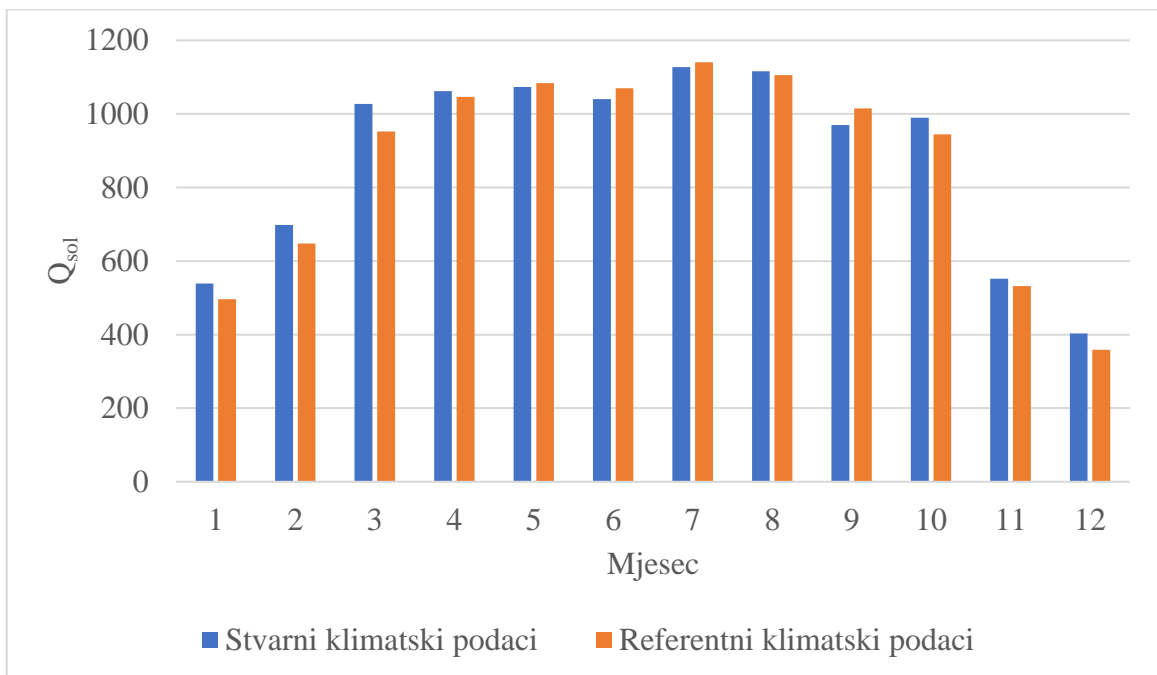
Slika 3.14. Izmjenjena toplinska energija transmisijom.



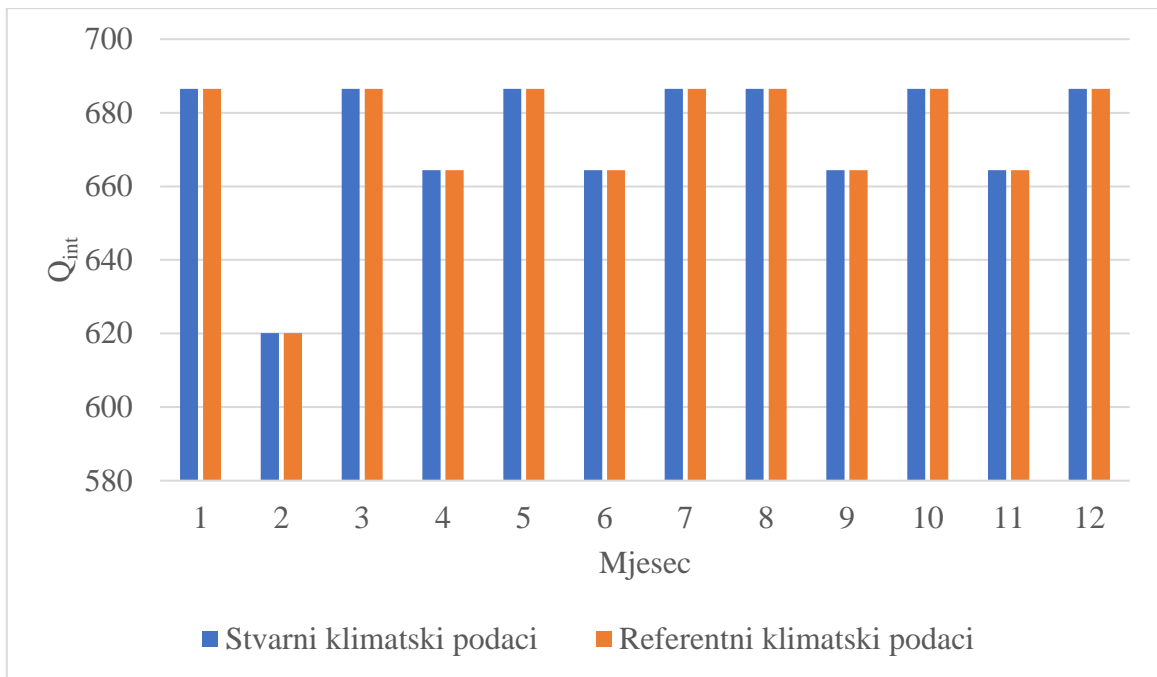
Slika 3.15. Potrebna toplinska energija za ventilaciju/klimatizaciju.



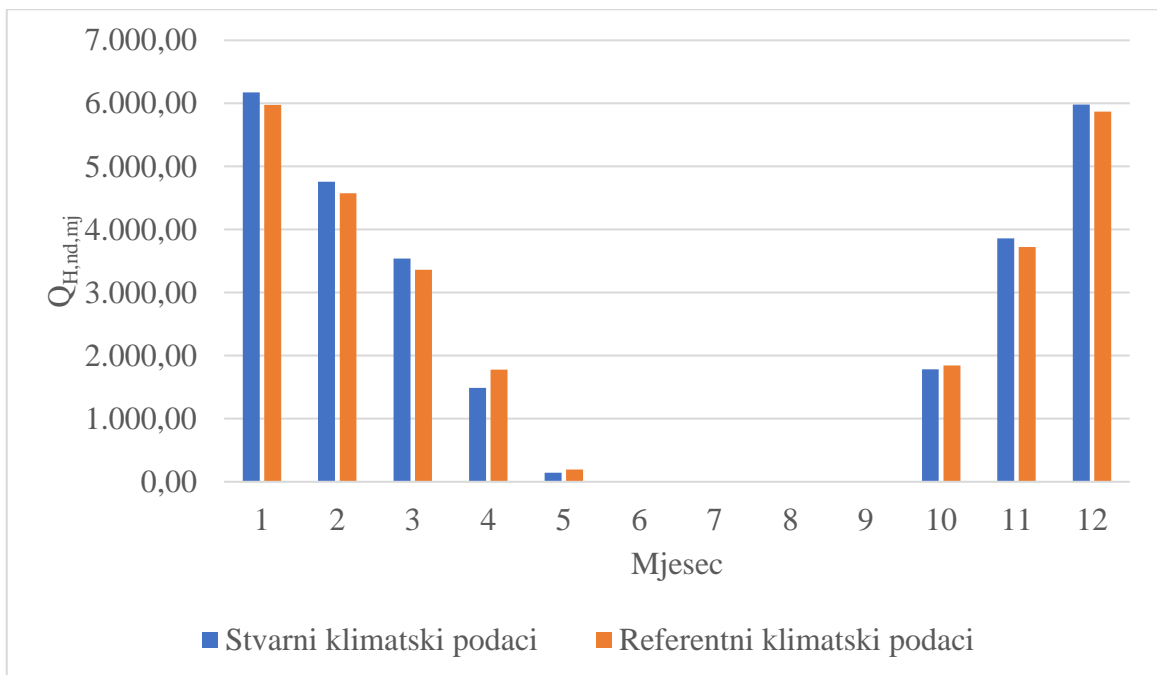
Slika 3.16. Toplinski dobitci u periodu grijanja.



Slika 3.17. Toplinski dobitci od Sunčeva zračenja.



Slika 3.18. Unutarnji toplinski dobitci zgrade.



Slika 3.19. Potrebna energija za grijanje obiteljske kuće.

Iz dobivenih podataka vidljivo je kako godišnja potreba toplinske energije za grijanje prema stvarnim klimatskim podatcima iznosi $150,28 \text{ W/m}^2\text{K}$, što je na samoj granici između energetske

razreda D i E, ali spadala bi pod energetski razred E. No zbog toga što se energetski razred određuje prema referentnim klimatskim podacima tj. za kontinentalnu Hrvatsku podacima za Zagreb ova obiteljska kuća spada u energetski razred D s godišnjom potrebom za grijanje 148,07 W/m²K. Također iz grafova je vidljiva razlika između potrebe za energijom prema klimatskim podacima u Osijeku naspram klimatskih podataka u Zagrebu po mjesecima kroz godinu. Uz godišnje potrebe energije za grijanje na energetskom certifikatu određuje se i energetski razred prema potrebnoj primarnoj energiji. U obiteljskoj kući prisutan je zidni plinski kotao koji priprema potrošnu toplu vodu i vodu za grijanje. Izračun za potrebnu primarnu energiju odnosi se upravo na gubitke energije kod tog sustava. Režim rada sustava i režim korištenja razlikuju se od korisnika do korisnika stoga stvarnu sliku utrošene energije je gotovo nemoguće dobiti. Stoga je propisan algoritam koji propisuje režim korištenja i režim rada sustava koji nastoji prikazati utrošak energije u ekonomski razumnom načinu korištenja sustava koji također ostvaruje potrebnu ugodu. S obzirom na to da za obiteljske kuće potrošnja energije za rasvjetu ne ulazi u izračun, računa se samo energija potrebna za grijanje obiteljske kuće s dodatkom energije utrošene a gubitke u radu tog sustava.

Tablica 3.11. Primarna i dostavljena energija i emisije CO₂ za referentne klimatske podatke.

Sustav	Q _{gen, in, uk} [kWh]	W _{aux, uk} [kWh]	E _{del} [kWh]	E _{prim} [kWh]	CO ₂ [t]
Kombi bojler	41.179	363	41.542	45.677	9,14
Ukupno	41.179	363	41.542	45.677	9,14

Tablica 3.12. Primarna i dostavljena energija i emisije CO₂ za stvarne klimatske podatke.

Sustav	Q _{gen, in, uk} [kWh]	W _{aux, uk} [kWh]	E _{del} [kWh]	E _{prim} [kWh]	CO ₂ [t]
Kombi bojler	41.728	368	42.096	46.286	9,27
Ukupno	41.728	368	42.096	46.286	9,27

Tablica 3.13. Dopuštene primarna i dostavljena energija te energetska razred
(referentna klimatska postaja).

E_{del}/m^2 [kWh/m ²]	E_{prim}/m^2 [kWh/m ²]	E_{prim} dozvoljeno [kWh/m ²]	Razred (prema $Q_{H, nd}$)	Razred (prema E_{prim})
225,09	247,50	135,00	D	C

Iz dobivenih podataka vidljivo je kako obiteljska kuća pripada energetska razredu C zbog relativno visoke učinkovitosti sustava za pripremu potrošne tople vode i vode za grijanje s potrebom od 247,5 kWh/m².

3.3. Prijedlog i analiza mjera za poboljšanje energetske učinkovitosti

Nakon što je određen energetska razred obiteljske kuće slijedi određivanje mjera energetske učinkovitosti te izračun uštede energije za te mjere. Na kraju računa se i isplativost tj. vremenski povrat takve investicije kako bi naručitelj energetska certifikata mogao vrlo lagano razlučiti koje mjere energetske učinkovitosti mu se isplate. Kako bi smanjili potrebu za energijom moguće je postaviti ili poboljšati toplinsku izolaciju kuće, zamijeniti uređaje s učinkovitijim te bolje raspolagati s energijom. Korištenje velikih kućanskih uređaja poput perilice rublja samo noću ili manje korištenje klima uređaja smanjit će račune, ali zbog načina izračuna energetska razreda na energetska certifikatu neće postojati razlika. Stoga prvi korak je prijedlog mjera izoliranja vanjske ovojnice obiteljske kuće. Prva predložena mjera je izolacija vanjskih zidova s 15 cm ekspaniranog polistirena (EPS).

Tablica 3.14. Prikaz strukture vanjskih zidova nakon građevinske mjere.

Vapneno-cementna žbuka	2 cm
Šuplji blokovi od gline	30 cm
Vapneno-cementna žbuka	2 cm
Polimerno-cementno lijepilo	0,3 cm
Ekspanirani polistiren (EPS)	15 cm
Polimercementna žbuka armirana staklenom mrežicom	0,5 cm
Žbuka na bazi akrilata	0,2 cm

Tom mjerom koeficijent prolaska topline U za vanjske zidove smanjuje se na $0,21 \text{ W/m}^2\text{K}$ s prethodnih $1,20 \text{ W/m}^2\text{K}$. Time se ispunjava tehnički zahtjev od $U_{\max} = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ te uvjet za ostvarivanje prava na sufinanciranje $U_{\max} = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ [21][22].

Tablica 3.15. Uštede na građevinskoj mjeri izolacije vanjskih zidova.

	Q_{hnd} [kWh]	E_{del} [kWh]	E_{prim} [kWh]
Stvarna postaja			
Staro stanje (prije mjere)	27.734,67	42.096,14	46.286,40
Novo stanje (nakon mjere)	18.639,39	29.661,04	32.608,16
Razlika [kWh]	9.095,27	12.435,10	13.678,23
Razlika [%]	32,79	29,54	29,55
Referentna postaja			
Staro stanje (prije mjere)	27.326,64	41.542,04	45.676,97
Novo stanje (nakon mjere)	18.262,81	29.149,33	32.046,61
Razlika [kWh]	9.063,83	12.392,71	13.630,36
Razlika [%]	33,16	29,83	29,84

Ukupna površina vanjskih zidova iznosi $204,18 \text{ m}^2$, prema trenutnom stanju na tržištu izolacija vanjskih zidova okvirno košta 350 kn/m^2 . Stoga bi ukupni trošak provedbe ove mjere iznosio 71.463 kn . Iz tablice je vidljivo kako bi se potrebna energija obiteljske kuće smanjila za čak 30 % izolacijom vanjskih zidova. Sljedeća građevinska mjera je izolacija stropa tj. s obzirom na to da se radi o kući s tavanskim prostorom izolacija tavanskog poda. Predlaže se postaviti 20 cm mineralne vune na tavanski pod.

Tablica 3.16. Prikaz strukture stropa prema tavanu.

Vapneno-cementna žbuka	2 cm
Šuplji blokovi od gline	16 cm
Armirani beton	6 cm
PE folija preklopljena	0,2 cm
Mineralna vuna (MW)	20 cm
Drvene ploče od usmjerenog iverja (OSB)	2,2 cm

Ukupni koeficijent prolaska topline smanjio bi se na $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ s prethodnih $1,73 \text{ W/m}^2\text{K}$. U_{\max} propisan od ministarstva iznosi $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$. Za ovu mjeru također postoji sufinanciranje u iznosu od 60 %.

Tablica 3.17. Uštede na građevinskoj mjeri izolacije stropa.

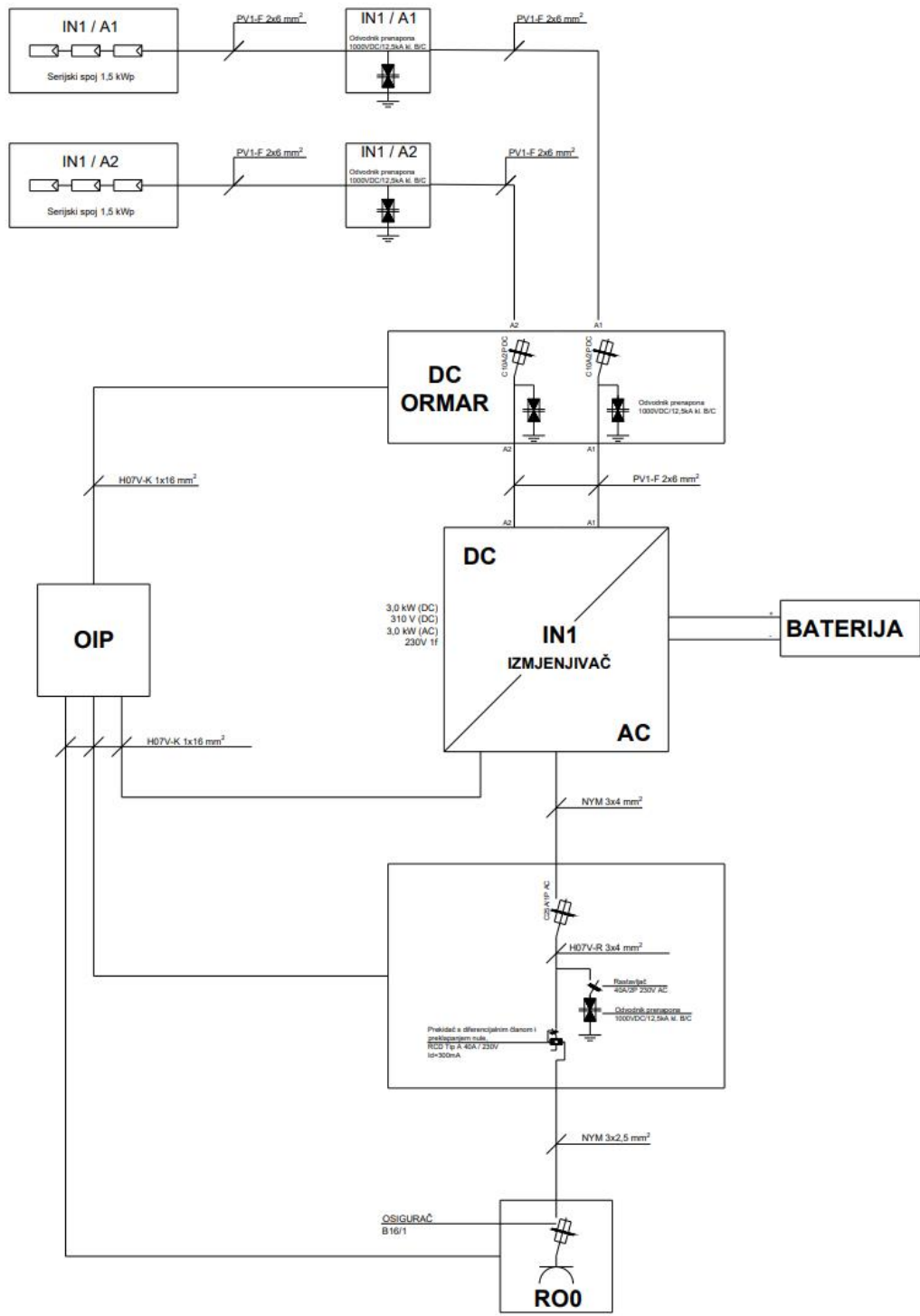
	Q _{hnd} [kWh]	E _{del} [kWh]	E _{prim} [kWh]
Stvarna postaja			
Staro stanje (prije mjere)	27.734,67	42.096,14	46.286,40
Novo stanje (nakon mjere)	21.327,16	33.316,62	36.627,46
Razlika [kWh]	6.407,51	8.779,52	9.658,94
Razlika [%]	23,10	20,85	20,86
Referentna postaja			
Staro stanje (prije mjere)	27.326,64	41.542,04	45.676,97
Novo stanje (nakon mjere)	20.934,69	32.782,44	36.041,57
Razlika [kWh]	6.391,95	8.759,60	9.635,39
Razlika [%]	23,39	21,08	21,09

Ukupna površina stropa iznosi 92,28 m², a provedba ove mjere okvirno bi iznosila samo 2000 kn. Iz tablice je vidljivo kako provedbom ove mjere možemo uštedjeti čak 20 % utrošene energije za znatno manji iznos naspram izolacije vanjskih zidova. S obzirom na to da ova kuća ima nove PVC prozore s koeficijentom prolaska topline 1,4 W/m²K, a dopušteno je 1,6 W/m²K nema potrebe za predlaganjem izmjene prozora iako oni spadaju pod vanjsku ovojniciu. Nakon građevinskih mjera preostaje izmjena postojećeg sustava za grijanje i pripremu PTV. Fasadni kombinirani bojler mogao bi se zamijeniti s novim kondenzacijskim plinskim bojlerom te bi razlika u učinkovitosti iznosila 15-20 %. No prema novom zakonu o gradnji sve nove građevine moraju biti zgrade gotovo nulte energije i imati visok udio potrošene energije pokriven iz obnovljivih izvora energije. Stoga predložena mjera za zamjenu plinskog kotla je dizalica topline tipa zrak-voda, koja je i učinkovitija od plinskog kotla te njen COP (coefficient of performance) tj. odnos uložene električne energije i energije dobivene iz okoline iznosi preko 4.

Tablica 3.18. Uštede na strojarskoj mjeri ugradnja dizalice topline.

	Q_{hd} [kWh]	E_{del} [kWh]	E_{prim} [kWh]
Stvarna postaja			
Staro stanje (prije mjere)	27.734,67	42.096,14	46.286,40
Novo stanje (nakon mjere)	27.734,67	10.643,22	17.178,16
Razlika [kWh]	0,00	31.452,92	29.108,23
Razlika [%]	0,00	74,71	62,88
Referentna postaja			
Staro stanje (prije mjere)	27.326,64	41.542,04	45.676,97
Novo stanje (nakon mjere)	27.326,64	10.513,58	16.968,92
Razlika [kWh]	0,00	31.028,46	28.708,05
Razlika [%]	0,00	74,69	62,85

Iz tablice je vidljivo kako ugradnjom dizalice topline na zatečeno stanje ne djelujemo na potrebnu energiju za grijanje, ali značajno umanjujemo potrebnu dostavljenu i primarnu energiju pri čemu je dostavljena energija smanjena za čak 74 %. Ugradnja dizalice topline može koštati od 40.000 kn pa sve do 100.000 kn ovisno o proizvođaču dizalice topline. Osim ugradnje dizalice topline za dobivanje energije iz obnovljivih izvora i ispunjavanje uvjeta za zgradu gotovo nulte energije mogu pomoći i fotonaponski sustavi. Kao mjera predložen je manji fotonaponski sustav od 3 kW. Shema spajanja ovog fotonaponskog sustava prikazana je na slici 3.20.



Slika 3.20. Shema spjanja fotonaponske elektrane snage 3 kW

Tablica 3.19. Uštede na elektro mjeri ugradnja fotonaponske elektrane.

	Q _{hnd} [kWh]	E _{del} [kWh]	E _{prim} [kWh]
Stvarna postaja			
Staro stanje (prije mjere)	27.734,67	42.096,14	46.286,40
Novo stanje (nakon mjere)	27.734,67	39.207,73	41.624,50
Razlika [kWh]	0,00	2.888,41	4.661,90
Razlika [%]	0,00	6,86	10,07
Referentna postaja			
Staro stanje (prije mjere)	27.326,64	41.542,04	45.676,97
Novo stanje (nakon mjere)	27.326,64	38.653,63	41.015,07
Razlika [kWh]	0,00	2.888,41	4.661,90
Razlika [%]	0,00	6,95	10,20

Iz tablice je vidljivo da kao i kod dizalice topline ne utječemo na potrebnu energiju za grijanje ali utječemo na potrebnu dostavljenu energiju koja je ovim sustavom umanjena za blizu 7 %. Investicija u ovakav sustav koštala bi oko 28.000 kn. Nakon što je određeno koliko iznose uštede pojedinih mjera potrebno je pogledati koliko se štedi kombinacijama mjera, zbog toga što nema smisla poboljšavati termotehničke sustava ako je izolacija na kući loša ili ne postoji kao u ovom slučaju. Stoga prvo treba odrediti koliko bi se uštedjelo obnovom vanjske ovojnice u cijelosti.

Tablica 3.20. Uštede na građevinskoj mjeri izolacije vanjskih zidova i stropa.

	Q _{hnd} [kWh]	E _{del} [kWh]	E _{prim} [kWh]
Stvarna postaja			
Staro stanje (prije mjere)	27.734,67	42.096,14	46.286,40
Novo stanje (nakon mjere)	9.950,30	17.963,80	19.749,85
Razlika [kWh]	17.784,36	24.132,34	26.536,54
Razlika [%]	64,12	57,32	57,33
Referentna postaja			
Staro stanje (prije mjere)	27.326,64	41.542,04	45.676,97
Novo stanje (nakon mjere)	9.659,69	17.564,03	19.311,49
Razlika [kWh]	17.666,95	23.978,01	26.365,48
Razlika [%]	64,65	57,72	57,72

Iz rezultata je vidljivo kako obnovom vanjske ovojnice u cijelosti ukupna ušteda iznosi više nego zbroj pojedinačnih mjera. Provedbom ove mjere ukupna godišnja potreba energije za grijanje prema referentnoj klimatskoj postaji pada na 9.659,69 kWh što je 52,34 kWh/m² čime bi ova obiteljska kuća prešla u energetske razred C, te bila vrlo blizu energetskog razreda B za koji je

potrebno manje od 50 kWh/m². Potrebna primarna energija iznosi 19.311,49 kWh tj. 104,64 kWh/m² i tako po primarnoj energiji obiteljska kuća bi postigla energetske razred B. Nakon provedbe građevinskih mjera potrebno je izračunati kako strojarske mjere utječu na potrebnu energiju.

Tablica 3.21. Uštede na kombinaciji mjera izolacije vanjske ovojnice i ugradnje dizalice topline

	Q _{hnd} [kWh]	E _{del} [kWh]	E _{prim} [kWh]
Stvarna postaja			
Staro stanje (prije mjere)	27.734,67	42.096,14	46.286,40
Novo stanje (nakon mjere)	9.950,30	4.983,62	8.043,57
Razlika [kWh]	17.784,36	37.112,52	38.242,83
Razlika [%]	64,12	88,16	82,62
Referentna postaja			
Staro stanje (prije mjere)	27.326,64	41.542,04	45.676,97
Novo stanje (nakon mjere)	9.659,69	4.891,37	7.894,67
Razlika [kWh]	17.666,95	36.650,67	37.782,30
Razlika [%]	64,65	88,22	82,71

Iz tablice je vidljivo kako ušteda ugradnjom dizalice topline je u postotnom obliku približna kao i bez izolacije, ali ukupna potrebna primarna i dostavljena energija su znatno manje. Ugradnjom dizalice topline postiže se potreba za primarnom energijom od 7.894,67 kWh što je samo 42,78 kWh/m². Tim rezultatom kuća bi po primarnoj energiji bila razred A+ te bi također ispunjavala zahtjeve zgrade gotovo nulte energije uz udio iz obnovljivih izvora energije od čak 64,55 %. No osim dizalice topline moguće je pomoću fotonapona postići zadane uvjete.

Tablica 3.22. Uštede na kombinaciji mjera izolacije vanjske ovojnice i ugradnje fotonaponske elektrane

	Q _{hnd} [kWh]	E _{del} [kWh]	E _{prim} [kWh]
Stvarna postaja			
Staro stanje (prije mjere)	27.734,67	42.096,14	46.286,40
Novo stanje (nakon mjere)	9.950,30	15.075,39	15.087,95
Razlika [kWh]	17.784,36	27.020,75	31.198,45
Razlika [%]	64,12	64,18	67,40
Referentna postaja			
Staro stanje (prije mjere)	27.326,64	41.542,04	45.676,97
Novo stanje (nakon mjere)	9.659,69	14.675,61	14.649,59
Razlika [kWh]	17.666,95	26.866,43	31.027,38
Razlika [%]	64,65	64,67	67,92

Postavljanjem fotonaponskog sustava smanjuje se potreba za primarnom energijom na 14.649,59 kWh tj. 79,38 kWh/m². S tim rezultatom obiteljska kuća spada u energetske razred A po primarnoj energiji ali također ispunjava zahtjeve zgrade gotovo nulte energije s 16,08 % udjela iz obnovljivih izvora energije. Preostaje izračunati uštedu ako kombiniramo sve mjere tj. primijenimo sve građevinske mjere te na njih dodamo dizalicu topline i fotonaponsku elektranu.

Tablica 3.23. Uštede na kombinaciji mjera izolacije vanjske ovojnice, ugradnje fotonaponske elektrane i dizalice topline

	Q _{hnd} [kWh]	E _{del} [kWh]	E _{prim} [kWh]
Stvarna postaja			
Staro stanje (prije mjere)	27.734,67	42.096,14	46.286,40
Novo stanje (nakon mjere)	9.950,30	2.095,21	3.381,66
Razlika [kWh]	17.784,36	40.000,93	42.904,73
Razlika [%]	64,12	95,02	92,69
Referentna postaja			
Staro stanje (prije mjere)	27.326,64	41.542,04	45.676,97
Novo stanje (nakon mjere)	9.659,69	2.002,95	3.232,77
Razlika [kWh]	17.666,95	39.539,09	42.444,20
Razlika [%]	64,65	95,17	92,92

Primjenom svih navedenih mjera postiže se već spomenuta potreba za energijom za grijanje od 9.659,69 kWh, a kombinacijom fotonaponske elektrane i dizalice topline potreba za isporučenom energijom se smanjuje za čak 95 %. Primarna energija iznosi 3232,77 kWh što je 17,52 kWh/m² čime je kuća energetske razred A+ i zgrada gotovo nulte energije. Kada se gleda omjer uloženog novca i uštede dobije se jednostavni period povrata investicije. Usporedba investicijskih troškova, ušteda i jednostavnog povratnog perioda vidljiva je u tablici 3.24.

Tablica 3.24. Usporedba troškova i ušteda svih mjera

	Investicija [kn]	Procijenjena ušteda [kn/god]	Procijenjena ušteda [kWh/god]	JPP [god.]
Izolacija vanjskih zidova	71.463,00	3.813,88	12.435,10	18,73
Izolacija stropa	2.000,00	2.695,04	8.779,52	0,74
Izolacija vanjske ovojnice	73.463,00	7.390,27	24.132,34	9,94
Ugradnja dizalice topline	40.000,00	2.243,39	31.452,92	17,83
Ugradnja fotonaponske elektrane	28.000,00	2.888,42	2.888,42	9,69
Izolacija vanjske ovojnice i ugradnja dizalice topline	113.463,00	7.902,99	37.112,52	14,35
Izolacija vanjske ovojnice i ugradnja fotonaponske elektrane	101.463,00	10.278,68	27.020,75	9,87
Izolacija vanjske ovojnice, ugradnja fotonaponske elektrane i dizalice topline	141.463,00	10.791,41	40.000,93	13,1

Iz tablice je vidljivo kako izoliranje stropa ima najmanji period povrata koji je manji od godinu dana. Stoga je vrlo isplativo izolirati strop pri čemu će se investicija vratiti već kroz prvu sezonu grijanja. S druge strane izolacija vanjskih zidova i ugradnja dizalice topline su sve investicije koje se isplate tek nakon 18 godina. Treba imati na umu da za svaku od ovih mjera postoji program sufinanciranja koji bi smanjio period povrata za do 60 %, čime bi povrat investicije bio ispod 10 godina. Također bitno je da kada vlasnik kuće ide u obnovu često će raditi više mjera odjednom, također vanjski zidovi su česta mjera zbog vizualnog dojma kuće. Treba i primijetiti kako povrat investicije za fotonaponsku elektranu iznosi ispod 10 godina što podrazumjeva iskorištavanje sve proizvedene električne energije što u praksi često nije slučaj zbog razlike u proizvodnji između ljetnih i zimskih mjeseci. Na kraju ukoliko bi uložili 141 tisuću kuna za provedbu energetske mjere vlasnici kuće bi ostvarili uštedu od 11 tisuća kuna godišnje. Uzimajući u obzir sufinanciranje od 60 %, za investiciju od 56.585 kn povrat investicije bio bi za samo 5 godina.

3.4. Analiza osjetljivosti izračuna energetskog razreda prema mjeri izolacije vanjskih zidova ekspaniranim polistirenom

Izolacija vanjske ovojnice jedna je od najbitnijih mjera uštede energije. Stoga je vrlo bitno odrediti koliki utjecaj ima izolacija vanjskih zidova s različitim debljinama izolacijskog materijala na energetski razred. U ovoj analizi vršit će se usporedba izolacije obiteljske kuće iz primjera s 4 različite debljine ekspaniranog polistirena od 5, 10, 15 i 20 cm. Početno stanje ne izolirane kuće

po potrebnoj specifičnoj energiji za grijanje $148,07 \text{ W/m}^2\text{K}$ što je energetske razred D dok je po potrebnoj primarnoj energiji energetske razred C s $E_{\text{prim}} = 247,50 \text{ W/m}^2\text{K}$. Pomoću već izrađenog modela obiteljske kuće u Thoriumu postavljena je izolacija vanjskih zidova od 5 cm EPS-a ukupne površine $204,18 \text{ m}^2$.

Tablica 3.25. Izolacija vanjskih zidova s 5 cm EPS.

Pokazatelj	Početno stanje	Stanje s 5 cm EPS
$Q_{\text{H,nd}}[\text{kWh/m}^2]$	148,07	112,71
Energetski razred	D	D
$E_{\text{prim}}[\text{kWh/m}^2]$	247,50	194,20
Energetski razred	C	C

Izolacija vanjskih zidova s 5 cm je vrlo česta kod obiteljskih kuća građenih krajem 20. stoljeća kada se takva izolacija smatrala adekvatnom. Izolacijom vanjskog zida s 5 cm EPS-a postiže se koeficijent toplinske provodljivosti od $0,47 \text{ W/m}^2\text{K}$ što ne zadovoljava današnje tehničke propise od $0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$. Novčana ušteda korisnika iznosila bi $2750,55 \text{ kn}$ godišnje s ovakvom izolacijom. Idući korak je izolacija s 10 cm EPS-a čime se postiže $U = 0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$ i ispunjava tehnički propis od $U_{\text{max}} = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$, ali ne i uvjet za sufinanciranje ove mjere $U_{\text{max}} = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Tablica 3.26. Izolacija vanjskih zidova s 10 cm EPS.

Pokazatelj	Početno stanje	Stanje s 10 cm EPS
$Q_{\text{H,nd}}[\text{kWh/m}^2]$	148,07	103,33
Energetski razred	D	D
$E_{\text{prim}}[\text{kWh/m}^2]$	247,50	180,19
Energetski razred	C	C

Ušteda s 10 cm toplinske izolacije raste na $3476,85 \text{ kn}$ godišnje. Iz tablice je vidljivo kako se $Q_{\text{H,nd}}$ smanjio na $103,33 \text{ kWh/m}^2$ što je vrlo blizu energetske razreda C, ali također je vidljivo kako je razlika između ušteda nakon postavljanja prvih 5 centimetara i dodatnih 5 centimetara mnogo manja. Postavljanje 15 cm EPS-a je prva debljina izolacije koja postiže toplinsku provodljivost koja zadovoljava uvjete za sufinanciranje, preciznije s 15 cm postiže se koeficijent toplinske vodljivosti od $U = 0,21 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Tablica 3.27. Izolacija vanjskih zidova s 15 cm EPS.

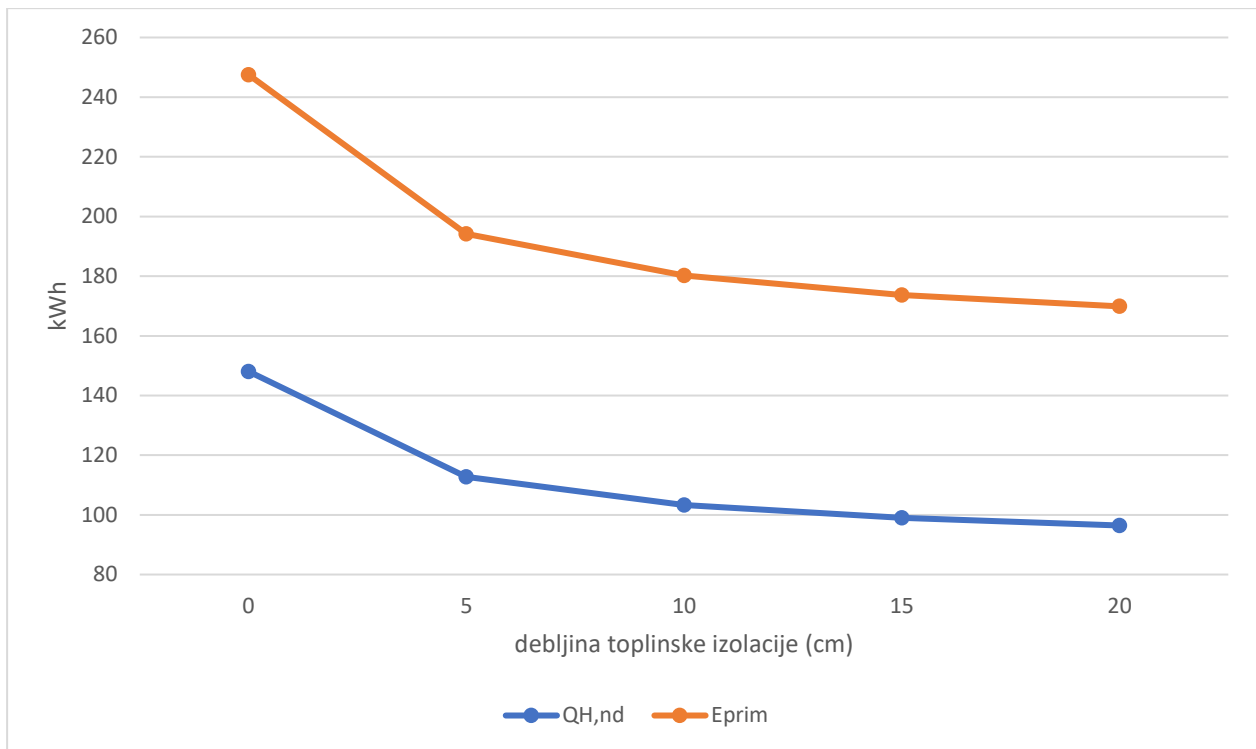
Pokazatelj	Početno stanje	Stanje s 15 cm EPS
$Q_{H,nd}[\text{kWh/m}^2]$	148,07	98,96
Energetski razred	D	C
$E_{prim}[\text{kWh/m}^2]$	247,50	173,65
Energetski razred	C	C

Iz tablice je vidljivo kako s 15 cm postiže se energetska razred C, ali razlika između $Q_{H,nd}$ za 10 i 15 cm izolacije iznosi tek nešto više od 4 kWh/m². Godišnja ušteda za korisnika iznosila bi 3813,83 kn. Preostaje izolacija vanjskih zidova s 20 cm ekspaniranog polistirena.

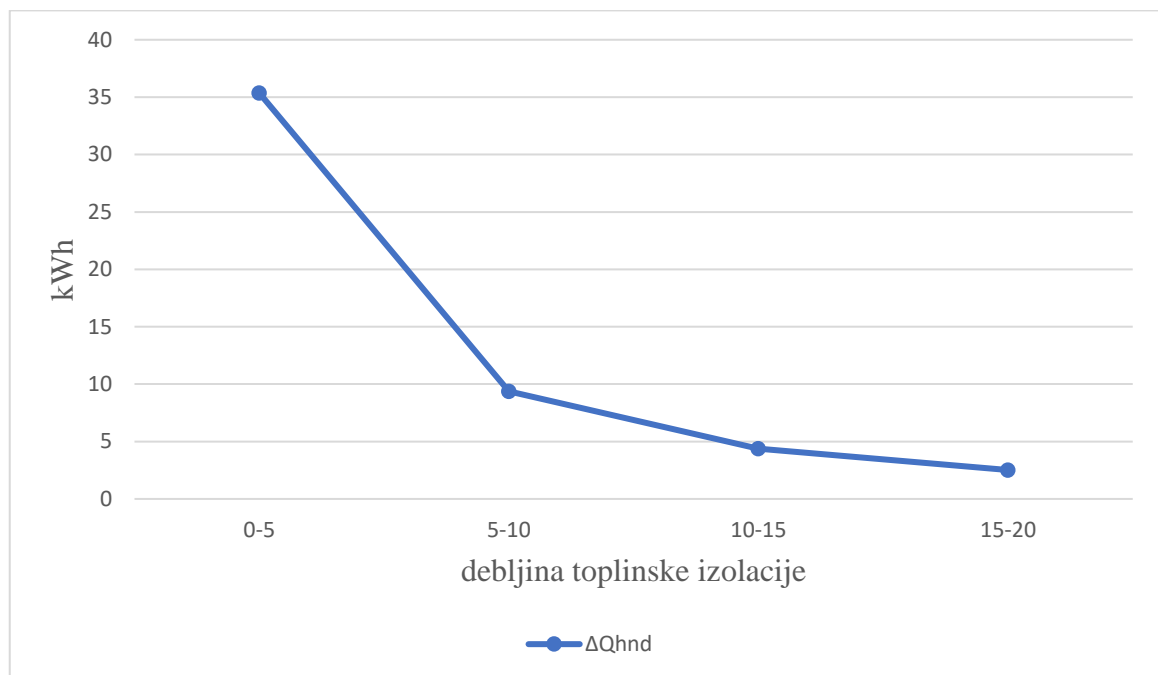
Tablica 3.28. Izolacija vanjskih zidova s 20 cm EPS.

Pokazatelj	Početno stanje	Stanje s 20 cm EPS
$Q_{H,nd}[\text{kWh/m}^2]$	148,07	96,44
Energetski razred	D	C
$E_{prim}[\text{kWh/m}^2]$	247,50	169,88
Energetski razred	C	C

Postavljanjem 20 centimetara izolacije postiže se koeficijent toplinske vodljivosti od 0,19 W/m²K, a razlika u potrošenoj energiji u odnosu na početno stanje iznosi 34,87 %. Korisnik ove obiteljske kuće ostvario bi godišnju uštedu od 4008,66 kn.



Slika 3.21. Utjecaj izolacije vanjskog zida na $Q_{H,nd}$ i E_{prim} .



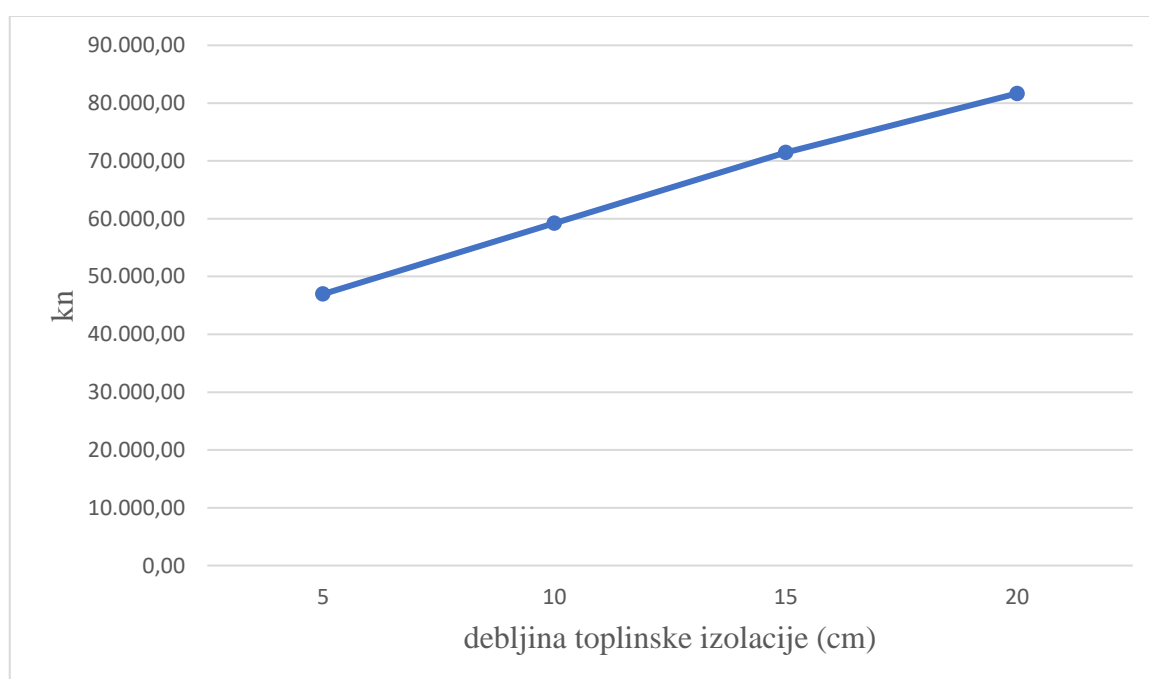
Slika 3.22. Utjecaj izolacije vanjskog zida na $Q_{H,nd}$ prikazan po Δ između debljine slojeva

Iz grafa je vidljivo kako sa sve većim povećanjem izolacije učinak izolacije na energetski razred i uštedu opada, ali nije nužno i financijski ne isplativo. Optimalna debljina izolacije ovisit će o cijeni

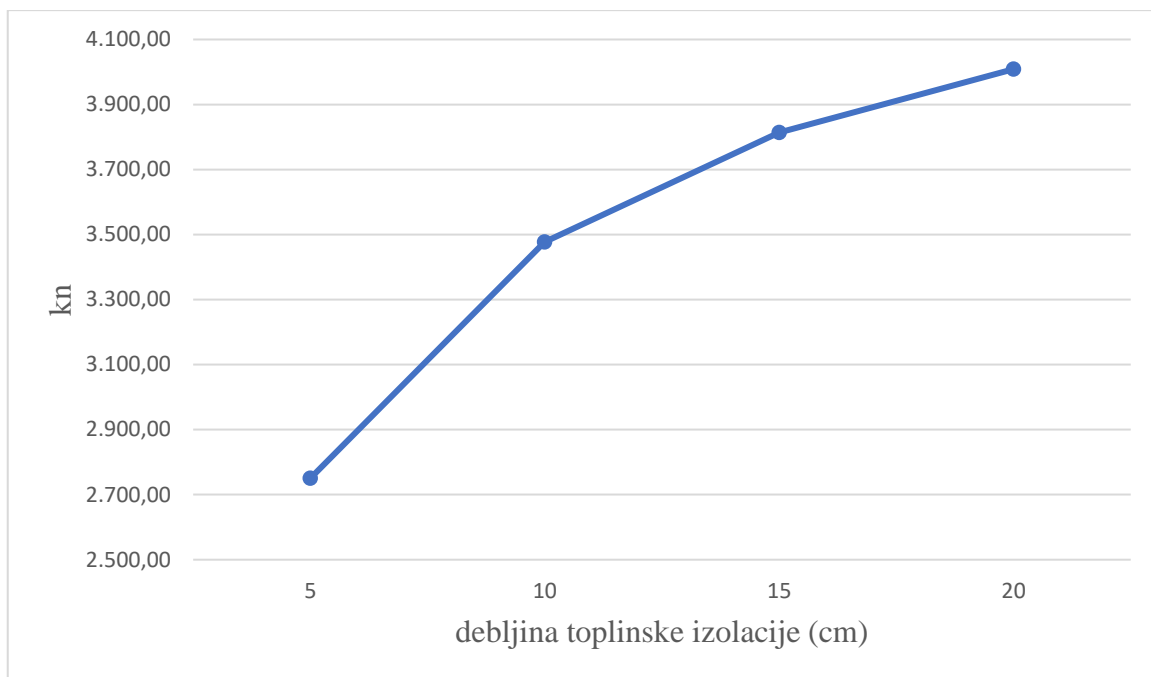
rada fasadera, izolacijskih materijala te energenata. Trošak izvođenja ovih radova prema trenutnom stanju na tržištu prikazan je u tablici 3.29.

Tablica 3.29. Financijski pokazatelji isplativosti izolacije vanjskih zidova.

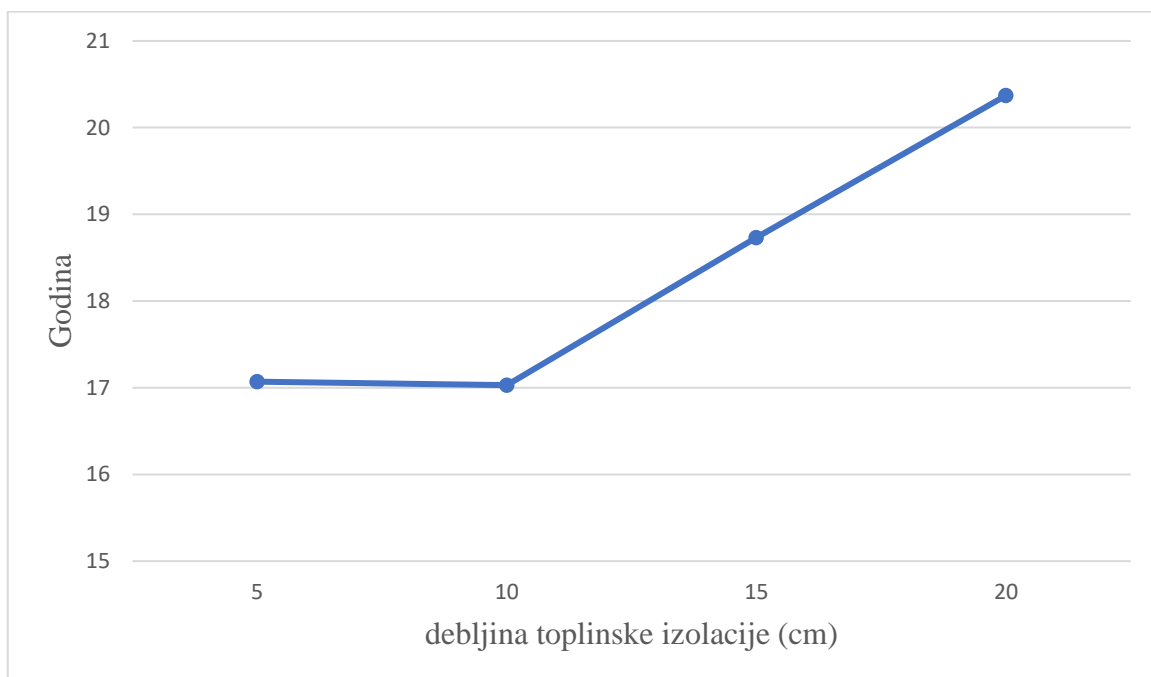
Debljina izolacije (cm)	Trošak izvođenja radova (kn)	Ušteda (kn/god)	JPP (god)
5	46.961,40	2.750,55	17,07
10	59.212,20	3.476,85	17,03
15	71.463,00	3.813,83	18,73
20	81.672,00	4.008,66	20,37



Slika 3.23. Trošak izvođenja radova izoliranja vanjskih zidova prema debljini toplinske izolacije.



Slika 3.24. Godišnja ušteda korisnika prema debljini toplinske izolacije.



Slika 3.25. Jednostavi povratni period prema debljini toplinske izolacije.

Iz slika je vidljivo kako trošak postavljanja izolacijskog materijala linearno raste s fiksnim početnim troškom dok ušteda koju postiže taj materijal ne raste linearno. To se odražava na grafu

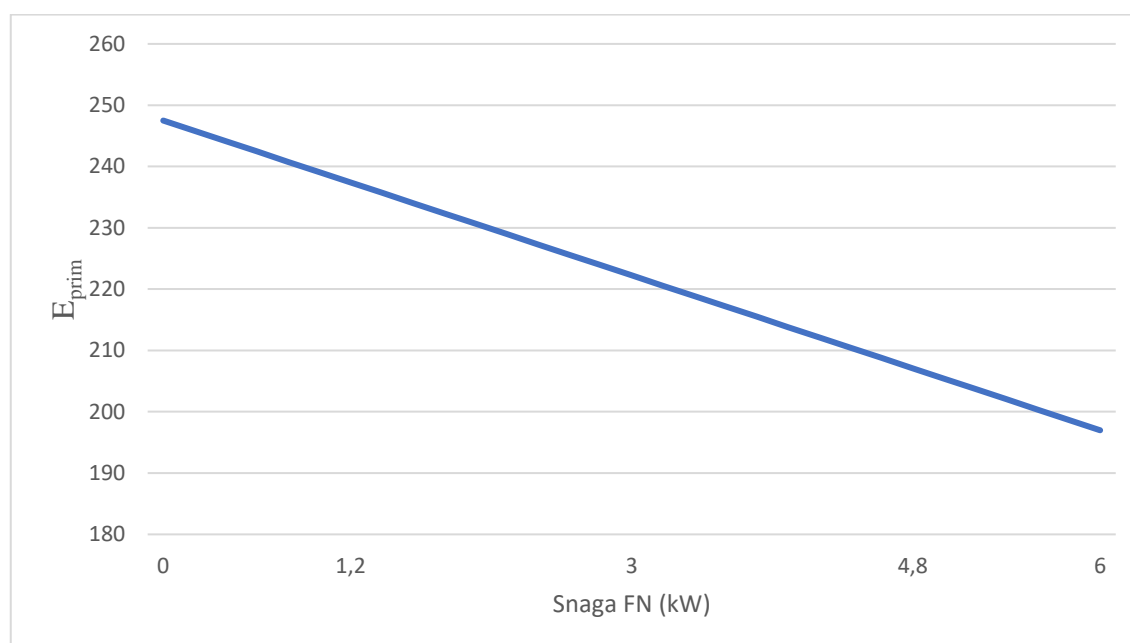
jednostavnog perioda povrata koji prikazuje kako se ne isplati postavljati manje od 10 cm toplinske izolacije. Nakon 10 cm jednostavni period povrata se povećava stoga je jasno zašto je baš ova debljina tehnički minimum.

3.5. Analiza osjetljivosti izračuna energetskeg razreda prema mjeri ugradnje fotonaponske elektrane

Obiteljska kuća iz primjera troši oko 400 kWh električne energije mjesečno. Ugradnjom fotonaponske elektrane električne snage 3 kW ljeti bi se u potpunosti pokrila potrošnja dok bi u zimskim mjesecima bilo potrebno kupovati električnu energiju. Utjecaj na primarnu energiju izračunat je pomoću Thoriuma za snage elektrane od 1,2 kW, 3 kW, 4,8 kW. S obzirom na to da fotonapon nema utjecaj na potrebnu energiju za grijanje tj. $Q_{H,nd}$ u tablici je prikazan samo utjecaj na primarnu energiju.

Tablica 3.30. Utjecaj snage fotonaponske elektrane na energetske razred.

Pokazatelj	Početno stanje	1,2 kW	3 kW	4,8 kW	6,0 kW
$E_{prim}[kWh/m^2]$	247,5	237,4	222,24	207,09	196,98
Energetski razred	C	C	C	C	C

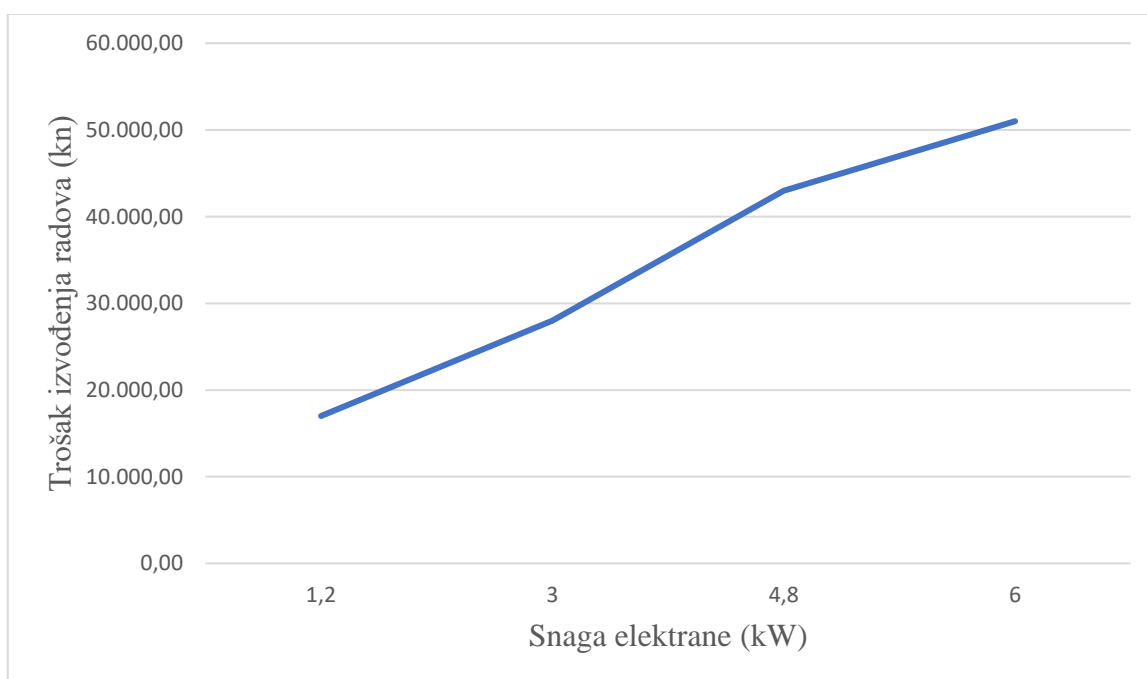


Slika 3.26. Utjecaj snage fotonaponske elektrane na E_{prim} .

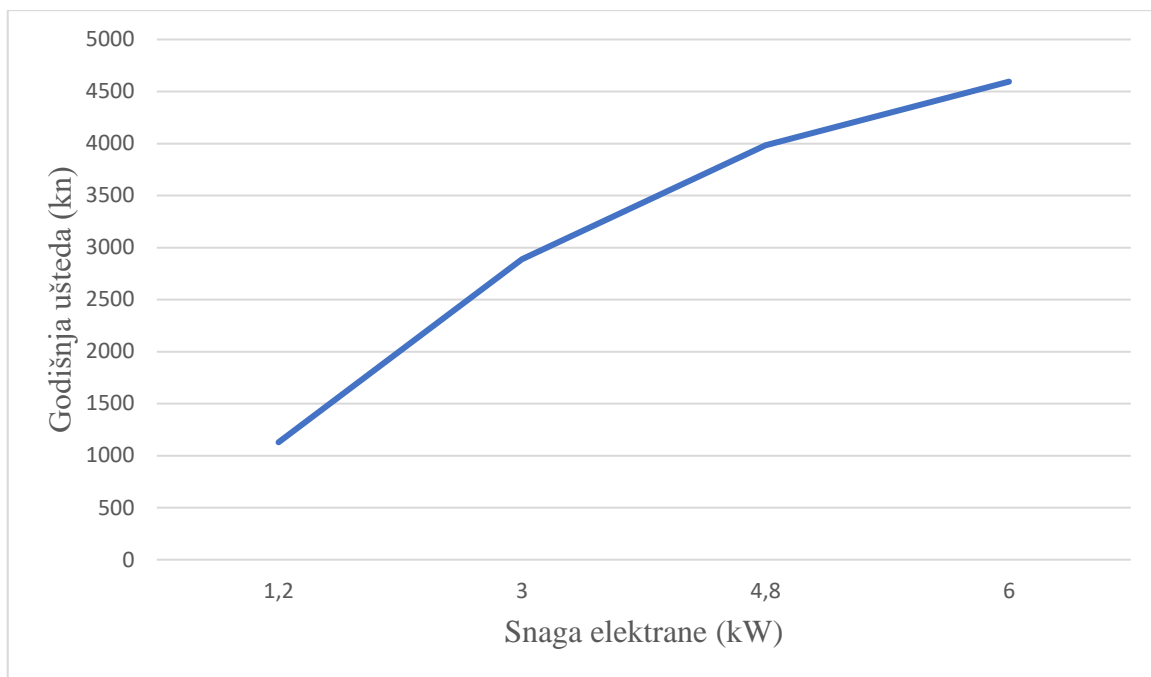
Iz grafa je vidljivo kako snaga fotonaponske elektrane linearno utječe na potrebnu primarnu energiju. Utjecaj na energetska razred je 8,42 kWh/m² po kilovatu električne snage fotonaponskih modula što je mali utjecaj na cjelokupnu primarnu energiju ove obiteljske kuće, ali bi jednak učinak se stvarao i na kući boljih energetska svojstava gdje bi ovakva ušteda činila mnogo veći udio potrebne energije. No uz utjecaj na energetska razred kao i kod vanjskih zidova kada se govori o energetska učinkovitosti bitni su i financijski pokazatelji.

Tablica 3.31. Financijski pokazatelji instalacije fotonaponske elektrane.

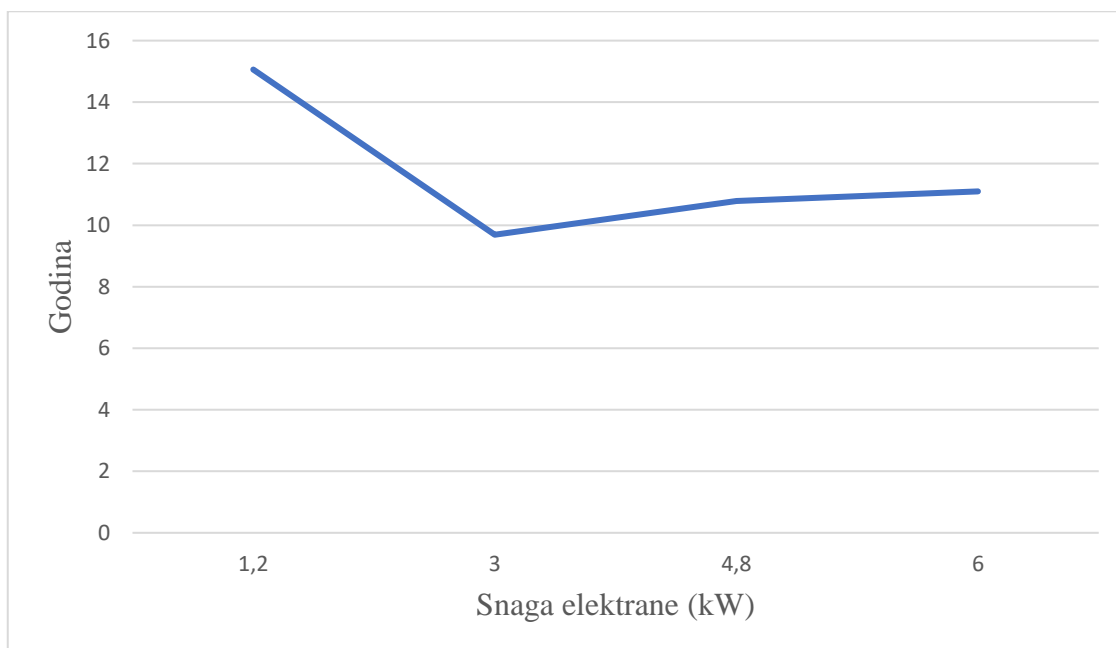
Snaga FN elektrane (kW)	Trošak izvođenja radova (kn)	Ušteda (kn/god)	JPP (god)
1,2	17.000,00	1128,53	15,06
3,0	28.000,00	2.888,42	9,69
4,8	43.000,00	3.983,68	10,79
6	51.000,00	4.594,60	11,10



Slika 3.27. Trošak ugradnje fotonaponske elektrane u ovisnosti o snazi.



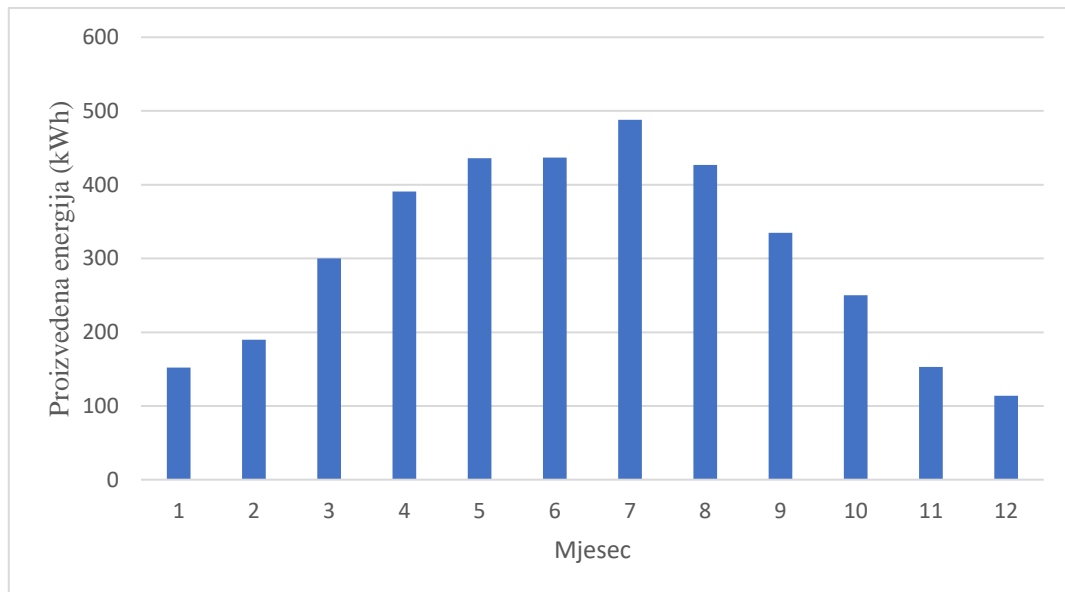
Slika 3.28. Godišnja ušteda u ovisnosti o snazi.



Slika 3.29. Jednostavni period povrata u ovisnosti o snazi.

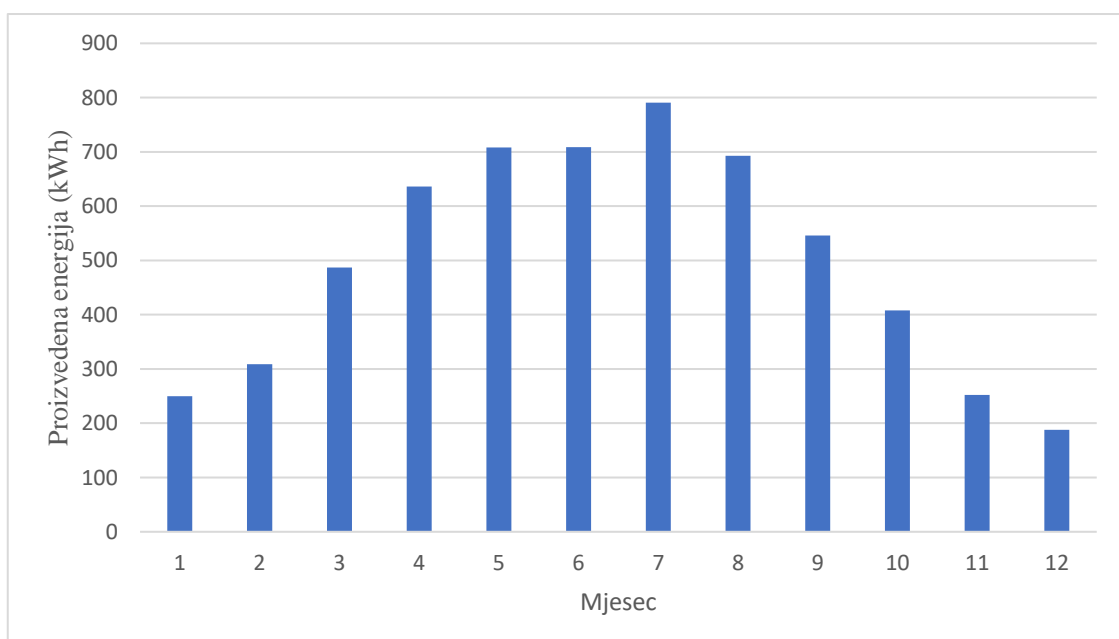
Financijska isplativost fotonaponske elektrane ovisi o postojećoj potrošnji električne energije, te iako će elektrana veće snage proizvesti više energije ako ta energija nije iskorištena u obiteljskoj kući njena vrijednost opada zbog toga što korisnik više plaća kupljen kWh električne energije od

onog kojeg prodava u mrežu. Korisnik obiteljske kuće u primjeru ima potrošnju od 400 kWh mjesečno zbog čega fotonaponska elektrana snage 3,0 kW pokazuje najbolji povratni period.



Slika 3.30. Očekivana proizvodnja fotonaponske elektrane snage 3 kW.

Tijekom ljetnih mjeseci korisnik bi imao višak električne energije koju bi morao prodavati dok u prosincu ispunjava tek četvrtinu potrebe za električnom energijom. Na slici 3.31 prikazan je utjecaj povećanja snage na 4,8 kW na proizvedenu energiju.

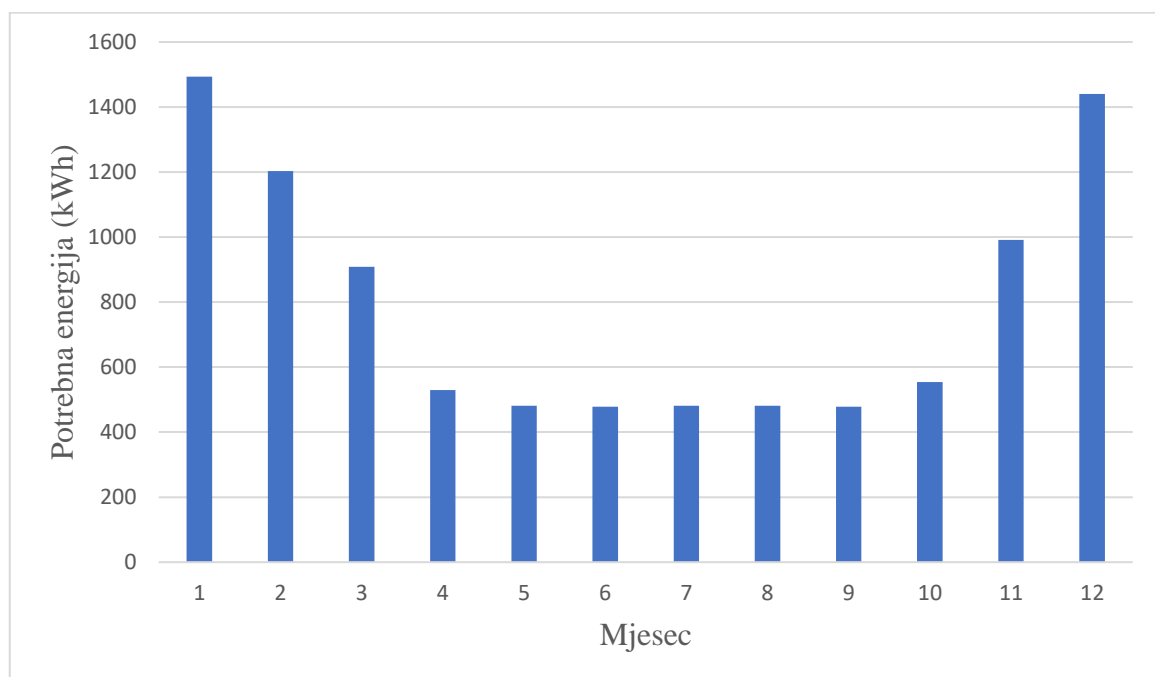


Slika 3.31. Očekivana proizvodnja fotonaponske elektrane snage 4,8 kW.

Instaliranjem fotonaponske elektrane 4,8 kW korisnik bi ispunio gotovo polovinu potrebe za električnom energijom, ali zbog toga što s 3 kW u ljetnim mjesecima ispunjava svu potrebu ne bi postojala značajna ušteda povećanjem snage iako je proizvedeno više električne energije.

3.6. Analiza osjetljivosti izračuna energetskeg razreda prema mjerama ugradnje dizalice topline i fotonaponske elektrane

Mjera ugradnje dizalice topline uvelike smanjuje potrebnu primarnu energiju, ali u zamjenu za plin povećava se potrebna električna energija. Stoga je prilikom projektiranja ako se ugrađuje i dizalica topline i fotonaponska elektrana potrebno predvidjeti povećanu potrošnju električne energije. Potrebna energija povećana je u zimskim mjesecima kada je najmanji doprinos fotonaponskih panela.

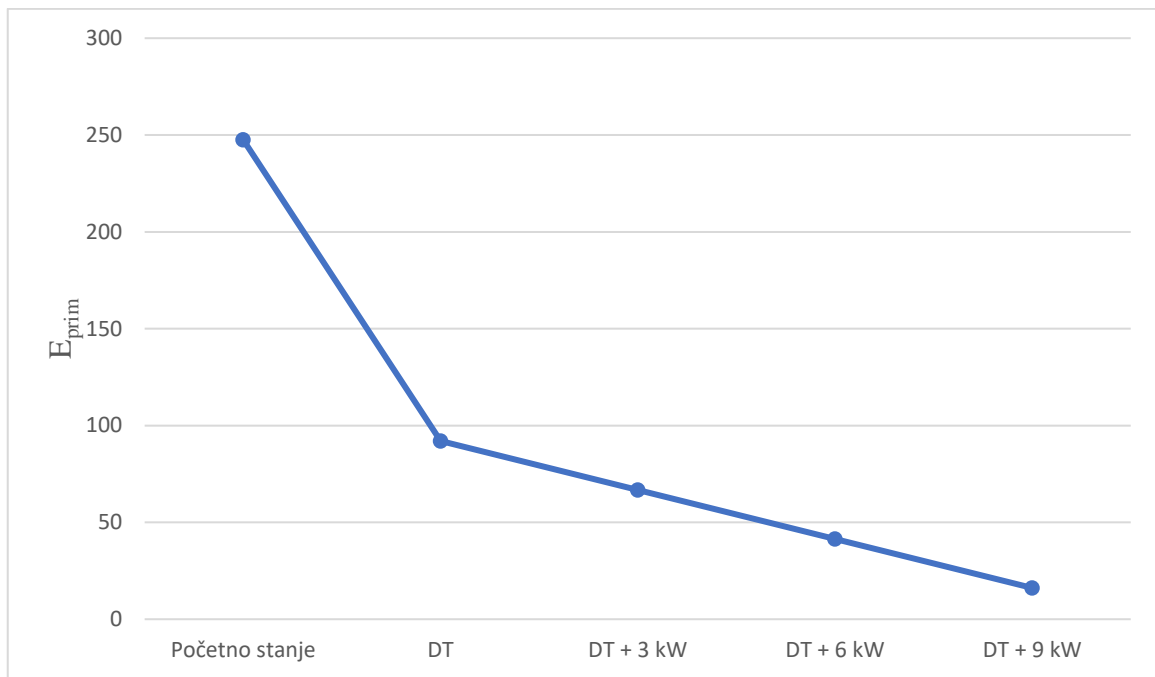


Slika 3.32. Procjenjena potrebna energija po mjesecima nakon ugradnje dizalice topline.

Kao i kod fotonapona, dizalica topline nema utjecaj na potrebnu toplinsku energiju nego samo na primarnu energiju. Zbog toga energetski razred ocijenjen prema $Q_{H,nd}$ se neće mijenjati dok će primarna energija imati značajnu promjenu.

Tablica 3.32. Utjecaj dizalice topline i fotonaponske elektrane na energetski razred.

Pokazatelj	Početno stanje	DT	DT +3 kW	DT + 4,8 kW	DT + 6 kW	DT + 9 kW
$E_{\text{prim}}[\text{kWh}/\text{m}^2]$	247,5	91,95	66,69	51,53	41,43	16,16
Energetski razred	C	B	A	A	A+	A+

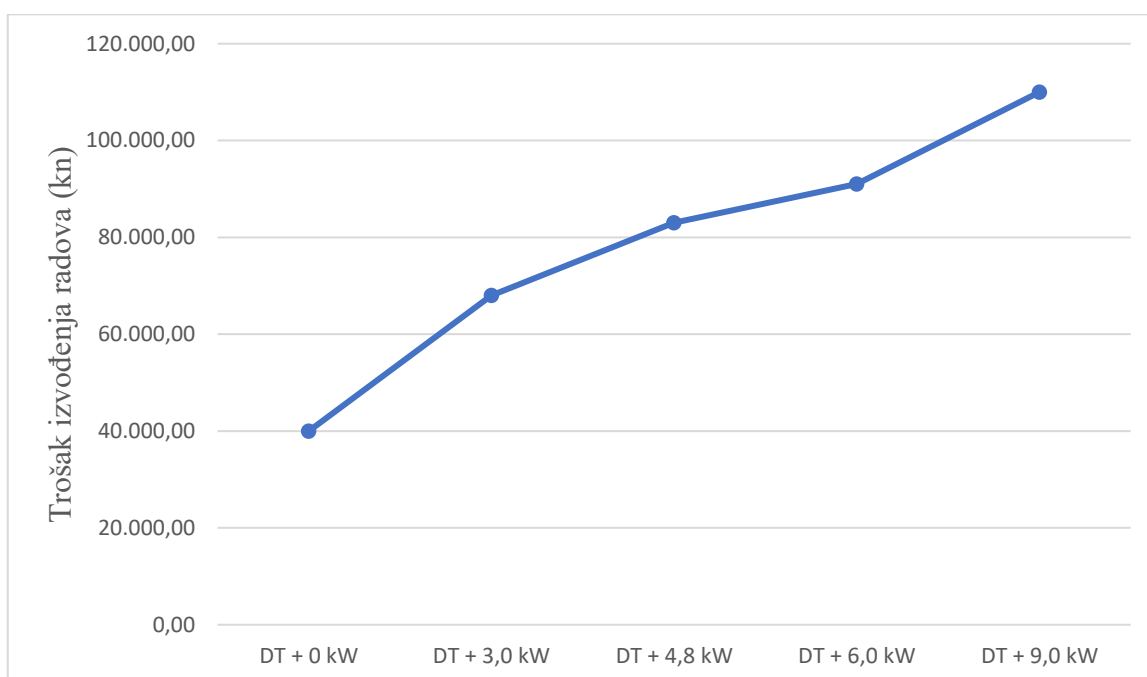


Slika 3.33. Utjecaj dizalice topline i fotonaponske elektrane na primarnu energiju.

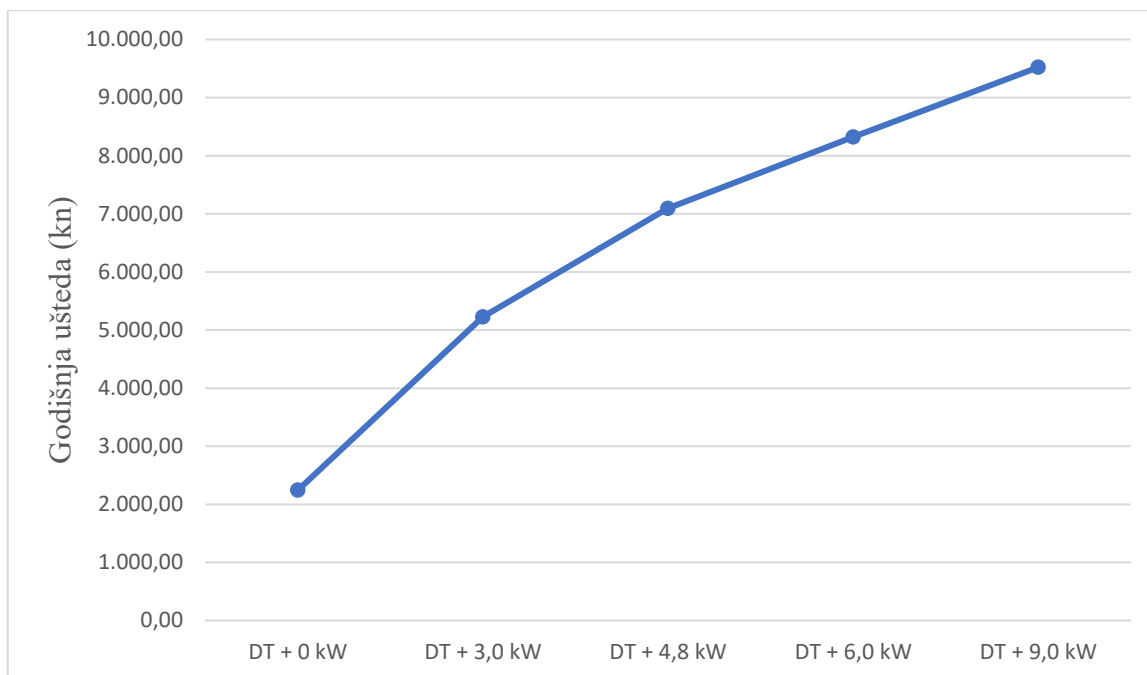
Vidljivo je kako dizalica topline ima vrlo velik utjecaj na primarnu energiju te s obzirom na malu potrebnu energiju. Fotonaponski sustav koji linearno utječe bez obzira koliko velika bila energetska potreba pri ovoj razini potrebne energije ima značajan utjecaj za razliku od primjera bez dizalice topline. Dok je samo s dizalicom topline energetski razred B, sa 6 kW postiže se energetski razred A+.

Tablica 3.33. Financijski pokazatelji ugradnje dizalice topline i fotonaponske elektrane.

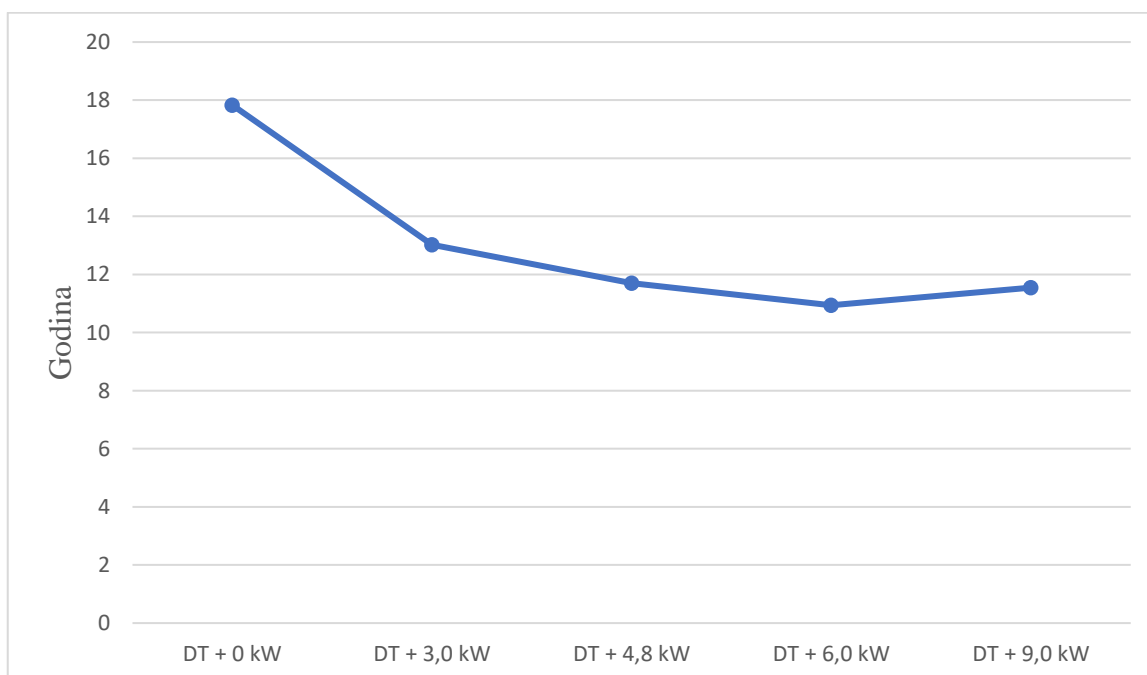
Vrsta investicije	Trošak izvođenja radova (kn)	Ušteta (kn/god)	JPP (god)
DT + 0 kW	40.000,00	2.243,39	17,83
DT + 3,0 kW	68.000,00	5.223,33	13,02
DT + 4,8 kW	83.000,00	7.092,58	11,70
DT + 6,0 kW	91.000,00	8.321,71	10,94
DT + 9,0 kW	110.000,00	9.520,85	11,55



Slika 3.34. Trošak ugradnje dizalice topline i FN elektrane u ovisnosti o snazi FN.



Slika 3.35. Godišnja ušteda s dizalicom topline i FN elektranom u ovisnosti o snazi FN.



Slika 3.36. Jednostavi period povrata s dizalicom topline i FN elektranom u ovisnosti o snazi FN.

Iz rezultata je vidljivo kako se najisplativija snaga fotonaponske elektrane povećala s 3 na 6 kW zbog dodatne potrošnje električne energije. Iako se energetska razred poboljšava ugradnjom fotonaponske elektrane snage 9 kW financijski se ne isplati vlasniku kuće jer željeni učinak postiže već kod 6 kW, a pri tome je i obiteljska kuća energetska razred A+.

4. ZAKLJUČAK

Naglim povećanjem populacije na Zemlji nastala je i naglo povećana potrošnja energije, kako bi potrošnja energije ostala održiva potrebno je učinkovito raspolagati s njom. Potreba za učinkovitim gospodarenjem energijom dovela je do upotrebe energetske certifikata kao jasnih pokazatelja gospodarenje energijom u zgradama. Energetski certifikati jasno prikazuju specifičnu potrebnu godišnju energiju za određenu zgradu te daju korisniku savjet kako uštedjeti energiju a pri tome i novac. Provedbom energetskog pregleda i izradom energetskog certifikata uz pomoć programske podrške Thorium A+ izračunata je potrebna energija za grijanje obiteljske kuće u okolici Osijeka. Kuća je katnica s podrumom i provjetravanim tavanom, vanjski zidovi niti strop nisu izolirani. Na kući su postavljeni novi PVC prozori, a za grijanje i pripremu potrošne tople vode koristi se zidni kombinirani plinski kotao. Dobiveni je energetski razred D, a za primarnu energiju dobiven je energetski razred C. Predložene i analizirane su mjere energetske učinkovitosti: izolacija vanjskih zidova s 15 cm ekspaniranog polistirena, izolacija poda tavana s 20 cm mineralne vune, ugradnja dizalice topline i ugradnja fotonaponskog sustava. Izolacija vanjskih zidova ima najveći utjecaj na potrebnu energiju za grijanje dok na potrebnu primarnu energiju najveći utjecaj ima ugradnja dizalice topline. No provedba tih mjera je financijski manje isplativa od drugih. Izolacija poda tavana ima najbrži povrat investicije koji iznosi manje od godinu dana. Izolacijom cjelokupne vanjske ovojnice postigao bi se energetski razred C. Kod primarne energije izolacija vanjske ovojnice poboljšala bi energetski razred na B, a s dizalicom topline postignut bi bio najviši razred tj. A+. Ugradnja fotonaponske elektrane od 3 kW nema veliki utjecaj na primarnu energiju, ali omogućava obiteljskoj kući da uz izolaciju vanjske ovojnice ispuni zahtjeve za zgradu gotovo nulte energije. Za izvođenje svih predloženih mjera potrebno je 141.463 kn, a godišnja ušteda je 10.791,41 kn te bi se bez sufinanciranja takva investicija isplatila za 13 godina. Provedbom svih mjera ušteda potrebne primarne energije iznosila bi čak 95 % što prikazuje ogroman potencijal u smanjenju potrošnje energije i emisije štetnih plinova na razini Republike Hrvatske i globalno. Kada se analizira utjecaj debljine vanjske ovojnice na energetski razred, rezultati pokazuju kako utjecaj prvih 5 centimetara je najznačajniji te uvelike opada sa svakim idućim centimetrom izolacije. Također financijska analiza pokazuje kako se ne isplati postavljati manje od 10 cm toplinske izolacije zbog kraćeg perioda povrata investicije. Fotonaponska elektrana utječe isključivo na primarnu energiju te ima linearan utjecaj u ovisnosti o snazi. Fotonaponski paneli imati će veći utjecaj na energetski razred zgrade što je manja primarna energija. Dizalica topline ima značajan utjecaj na energetski razred zgrade te uz ugradnju fotonaponskih panela doprinosi tome da zgrada gotovo nema potrebe za uvozom energije.

LITERATURA

- [1] Eurostat, Energy consumption in households, https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_consumption_in_households, pristupljeno 14.7.2021.
- [2] Narodne novine, Zakon o energetskej učinkovitosti NN 127/2014, 2014. godina
- [3] FZOEU, Energetska učinkovitost u zgradarstvu, <https://www.fzoeu.hr/hr/enu-u-zgradarstvu/7571>, pristupljeno 27.8.2021.
- [4] FZOEU, Energetska obnova obiteljskih kuća, <https://www.fzoeu.hr/hr/energetska-obnova-obiteljskih-kuca-7679/7679>, pristupljeno 27.8.2021.
- [5] Ministarstvo prostornog uređenja, graditeljstva i državne imovine, Smjernice za zgrade gotovo nulte energije, <https://mgipu.gov.hr/vijesti/smjernice-za-zgrade-gotovo-nulte-energije-nzeb/10503>, pristupljeno 14.7.2021.
- [6] FZOEU, Energetska učinkovitost, <https://www.fzoeu.hr/hr/energetska-ucinkovitost/1343>, pristupljeno 14.7.2021.
- [7] European Standards, norma EN 16247-1:2012 Energy Audits, 2012. godina
- [8] European Standards, norma EN 16247-2:2014 Buildings, 2014. godina
- [9] European Standards, norma EN 16247-3:2014 Processes, 2014. godina
- [10] European Standards, norma EN 16247-4:2014 Transport, 2014. godina
- [11] European Standards, norma EN 16247-5:2015 Competence of energy auditors, 2015. godina
- [12] Ministarstvo prostornog uređenja, graditeljstva i državne imovine, Metodologija provođenja energetskeg pregleda zgrada, izdanje 2009. godina
- [13] Ministarstvo prostornog uređenja, graditeljstva i državne imovine, Metodologija provođenja energetskeg pregleda zgrada, izdanje 2014. godina
- [14] Ministarstvo prostornog uređenja, graditeljstva i državne imovine, Metodologija provođenja energetskeg pregleda zgrada, izdanje 2017. godina
- [15] Ministarstvo prostornog uređenja, graditeljstva i državne imovine, Metodologija provođenja energetskeg pregleda zgrada, izdanje 2021. godina

[16] Narodne novine, Pravilnik o energetsom pregledu zgrade i energetsom certificiranju, NN 88/2017, 2017. godina

[17] Zoran Morvaj; Boris Sučić; Vlasta Zanki; Goran Čačić, Priručnik za provedbu energetskih pregleda zgrada, Zagreb, 2010.

[18] Narodne novine, Pravilnik o osobama ovlaštenim za energetska certificiranje, energetski pregled zgrada i redoviti pregled sustava grijanja i sustava hlađenja ili klimatizacije u zgradi, NN 73/2015, 2015. godina

[19] Narodne novine, preuzeta fotografija s web stranice, https://narodne-novine.nn.hr/files/_web/sluzbeni-dio/2017/129870/images/3465.jpg, pristupljeno 27.8.2021.

[20] Fakultet strojarstva i brodogradnje, V. Soldo; S. Novak; I. Horvat, Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790, Zagreb, godina 2017.

[21] Narodne novine, Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti na zgradama, NN 128/2015, 2015. godina

[22] FZOEU, Javni poziv za sufinanciranje energetske obnove obiteljskih kuća, https://www.fzoeu.hr/docs/javni_poziv_za_sufinanciranje_energetske_obnove_obiteljskih_kuca_v3.pdf, pristupljeno 8.9.2021.

SAŽETAK

U radu je napravljen pregled zakona i pravilnika o energetske certifikaciji i energetske pregledu u zgradarstvu. Praktični dio rada opisuje detaljni postupak energetske pregleda koji uključuje: određivanje građevinskih svojstava obiteljske kuće, pregled cjelokupne vanjske stolarije, analizu svih električnih trošila i pregled strojarskih sustava prisutnih u kući. Prikazan je postupak izrade energetske certifikata uz programsku podršku Thorium A+ gdje je izračunata specifična godišnja potreba energije za grijanje i potrebna specifična godišnja primarna energija pomoću algoritma prema normi HRN EN ISO 13790. Energetski pregled i energetski certifikat izrađeni su na stvarnom primjeru obiteljske kuće u okolici Osijeka. Napravljena je analiza osjetljivosti energetske razreda prema debljini ekspaniranog polistirena, za debljine od 5 do 20 cm. Također je izvršena analiza utjecaja na energetski razred za sustave fotonaponskih elektrana snage od 1,2 do 6 kW te utjecaj dizalice topline u kombinaciji s fotonaponskim elektranama snage od 3 do 9 kW. Predložene su mjere energetske učinkovitosti za obiteljsku kuću i napravljena je financijska analiza svih predloženih mjera.

Ključne riječi: energetska učinkovitost, energetski pregled, energetski razred, mjere energetske učinkovitosti, energetski certifikat

ABSTRACT

The paper reviews the laws and regulations on energy certification and energy audit in buildings. The practical part of the paper describes a detailed energy inspection procedure which includes: determining the construction properties of the family house, inspection of the entire exterior carpentry, analysis of all electrical appliances and inspection of mechanical systems present in the house. The procedure of making an energy certificate with Thorium A + software is presented, where the specific annual energy demand for heating and the required specific annual primary energy are calculated using an algorithm according to HRN EN ISO 13790. Energy. The energy audit and energy certificate were made on a real example of a family house in the vicinity of Osijek. An analysis of the sensitivity of the energy class to the thickness of expanded polystyrene was made, for thicknesses from 5 to 20 cm. The analysis of the impact on the energy class for the systems of photovoltaic power plants from 1.2 to 6 kW and the impact of the heat pump in combination with photovoltaic power plants from 3 to 9 kW was also performed. Energy efficiency measures for a family house have been proposed and a financial analysis of all proposed measures has been made.

Key words: energy efficiency, energy review, energy class, energy efficiency measures, energy certificate

ŽIVOTOPIS

Borna Srb je rođen 11.03.1996. u Osijeku, završava osnovu školu „Dobriša Cesarić“ u Osijeku te upisuje gimnaziju Gaudeamus u Osijeku. Nastavlja se školovati na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku gdje upisuje smjer elektrotehnika na preddiplomskom studiju. Nakon završenog preddiplomskog studija 2019. godine, na istom fakultetu upisuje diplomski studij elektroenergetike, izborni blok – održiva elektroenergetika. Tijekom školovanja bavio se veslanjem te osvojio brojne medalje među kojima i naslov državnog prvaka 2010. i 2013. godine.