

# Pametna energetska samodostatna stambena zgrada

---

Stipaničić, Fran

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:573117>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-14**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Sveučilišni diplomski studij strojarstva

Diplomski rad

**PAMETNA ENERGETSKI SAMODOSTATNA STAMBENA  
ZGRADA**

Rijeka, studeni 2023.

Fran Stipaničić

0069078339

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Sveučilišni diplomski studij strojarstva

Diplomski rad

**PAMETNA ENERGETSKI SAMODOSTATNA STAMBENA  
ZGRADA**

Mentor: prof. dr. sc. Igor Wolf

Rijeka, studeni 2023.

Fran Stipaničić

0069078339

Rijeka, 16. ožujka 2022.

Zavod: **Zavod za termodinamiku i energetiku**  
Predmet: **Obnovljivi izvori energije**  
Grana: **2.11.02 procesno energetska strojarstvo**

## ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnik: **Fran Stipaničić (0069078339)**  
Studij: **Diplomski sveučilišni studij strojarstva**  
Modul: **Procesno i energetska strojarstvo**

Zadatak: **Pametna energetski samodostatna stambena zgrada / Smart Energy  
Self-Sufficient Residential Building**

### Opis zadatka:

U radu je potrebno projektirati energetski sustav za opskrbu stambene zgrade u Rijeci toplinskom energijom za grijanje, hlađenje i pripremu potrošne tople vode, te električnom energijom za rasvjetu, napajanje električnih trošila i električnih vozila. Arhitektonske podloge zgrade sastavni su dio ovoga zadatka. Na temelju tehno-ekonomske analize, potrebno je odabrati generatore toplinske i električne energije te odgovarajuće sustave pohrane energije, s ciljem postizanja što više razine energetske samodostatnosti zgrade, iskorištavajući lokalno dostupne obnovljive izvore energije i udruživanje u energetske zajednice. Strojarski dio usvojenoga energetskeg sustava razraditi u obliku glavnoga projekta, s proračunima, odabirom opreme, nacrtima i troškovnikom.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

Zadatak uručen pristupniku: 21. ožujka 2022.

Mentor:



Izv. prof. dr. sc. Igor Wolf

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:



Prof. dr. sc. Kristian Lenić

SVEUČILIŠTE U RIJECI

**TEHNIČKI FAKULTET**

Sveučilišni diplomski studij strojarstva

### **IZJAVA**

Sukladno članku 9. Pravilnika o diplomskom radu, diplomskom ispitu i završetku diplomskih sveučilišnih studija Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, iz lipnja 2011. godine, ja, Fran Stipaničić, student sveučilišnog diplomskog studija strojarstva, izjavljujem da sam samostalno izradio diplomski rad na temu „Pametna energetski samodostatna stambena zgrada“, pod vodstvom mentora prof. dr. sc. Igora Wolfa.

Rijeka, Studeni 2023.

---

Fran Stipaničić

0069078339

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se prof. dr. sc. Igoru Wolfu na uloženom trudu, strpljenju te na mnogim korisnim savjetima koji su bili prijeko potrebni za izradu ovoga rada.

Posebno se zahvaljujem svojoj obitelji, prijateljima i Marti koji su mi pružili veliku potporu te me podupirali tijekom cijelog studija.

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. PAMETNI ENERGETSKI SUSTAVI U SEKTORU ZGRADARSTVA .....	2
2.1. Energetske zajednice .....	2
2.2. Zeleni plan.....	4
2.3. Tržište Europske unije.....	7
2.4. Elektroenergetski sustavi budućnosti .....	8
2.5. Geometrija zgrada .....	11
2.6. Zgrade gotovo nulte potrošnje energije (GOEZ) .....	13
2.7. Općenito o pametnim zgradama.....	15
3. PROJEKT ENERGETSKI SAMODOSTATNE ZGRADE .....	20
3.1. Proračun toplinskih gubitaka i opterećenja .....	23
3.1.1. Proračun toplinskih gubitaka prema normi HRN EN 12831 .....	26
3.1.2. Proračun toplinskog opterećenja prema normi VDI 2078 .....	30
3.2. Podno grijanje .....	34
3.3. Dizalica topline .....	38
3.3.1. Dizalice topline za centralni sustav .....	38
3.3.2. Dizalica topline za etažni sustav .....	42
3.4. Spremnik PTV.....	45
3.5. Ventilokonvektori.....	49
3.6. Klima uređaji.....	50
3.7. Tehno-ekonomska analiza centralnog i etažnog sustava.....	52
3.7.1. Proračun godišnje energetske potrošnje .....	52
3.3.2. Ekonomska analiza sustava .....	54
4. ENERGETSKA SAMODOSTATNOST .....	57
4.1. Godišnji troškovi električne energije .....	57
4.2. Proračun fotonaponske elektrane .....	59

4.2.1. Troškovi i uštede .....	69
4.3. Pametni uređaji.....	71
5. ZAKLJUČAK .....	72
LITERATURA.....	73
POPIS SLIKA .....	74
POPIS TABLICA.....	76
SAŽETAK.....	78
ABSTRACT .....	79
POPIS PRILOGA.....	80



## 1. UVOD

Pametne energetske samodostatne stambene zgrade su tako projektirane da proizvode dovoljno energije za svoje potrebe, a samodostatnost se postiže smanjenjem potrošnje energije što je više moguće te korištenjem obnovljivih izvora energije koji su najčešće dostupni na lokacijama na kojima se grade zgrade. To su inovativna rješenja s ciljem smanjenja korištenja klasičnih energenata u domaćinstvu. Ove zgrade koriste napredne tehnologije za kontrolu i praćenje potrošnje energije, kao što su senzori i automatizirani sistemi za grijanje, ventilaciju i klimatizaciju. Osim toga, ove zgrade su opremljene i sa energetske efikasnim uređajima i sistemima koji doprinose smanjenju potrošnje energije. Prednosti takvih zgrada su mnogobrojne te je jedna od prednosti smanjenje potrošnje energije i troškova za stanare. Osim toga, one eliminiraju ovisnost o fosilnim gorivima te su također neovisne o svim geopolitičkim zbivanjima, potencijalnim energetske krizama i slično. Uz ovakav pristup gradnji, moguće je realizirati ciljeve EU-a vezane za zaštitu okoliša koji glase da do 2030. godine valja smanjiti emisije za 55% (paket mjera *Fit for 55*), a do 2050. godine EU bi trebao biti emisijski neutralan. Također, ove zgrade omogućavaju veću fleksibilnost u korištenju energije, jer stanari mogu sami upravljati potrošnjom energije u realnom vremenu. U današnjem svijetu, u kojem smo svjesni sve veće potrebe za održivim razvojem i očuvanjem okoliša, izgradnja pametnih i energetske samodostatnih zgrada postaje sve aktualnija. Tako nastaju inovativna rješenja koja omogućuju smanjenje negativnih utjecaja na okoliš, a ujedno osiguravaju povoljno životno okruženje.

U diplomskom radu bit će prikazane tehnologije koje se koriste u pametnim zgradama i načini osiguravanja energetske samodostatnosti. Cilj diplomskog rada je prikazati i analizirati korisnost i učinkovitost takve građevine, kako s ekološkog, tako i s ekonomskog stajališta, te naglasiti njenu važnost za budućnost održivog razvoja.

## 2. PAMETNI ENERGETSKI SUSTAVI U SEKTORU ZGRADARSTVA

Kako bi pametne zgrade povećale razinu energetske učinkovitosti, povezujemo ih u energetske zajednice s ciljem dijeljenja generirane energije među članovima zajednice. Cilj osnivanja energetske zajednice je postizanje energetske neovisnosti, smanjenje cijena energenata te veća učinkovitost korištenja generirane energije zbog dijeljenja i slično.

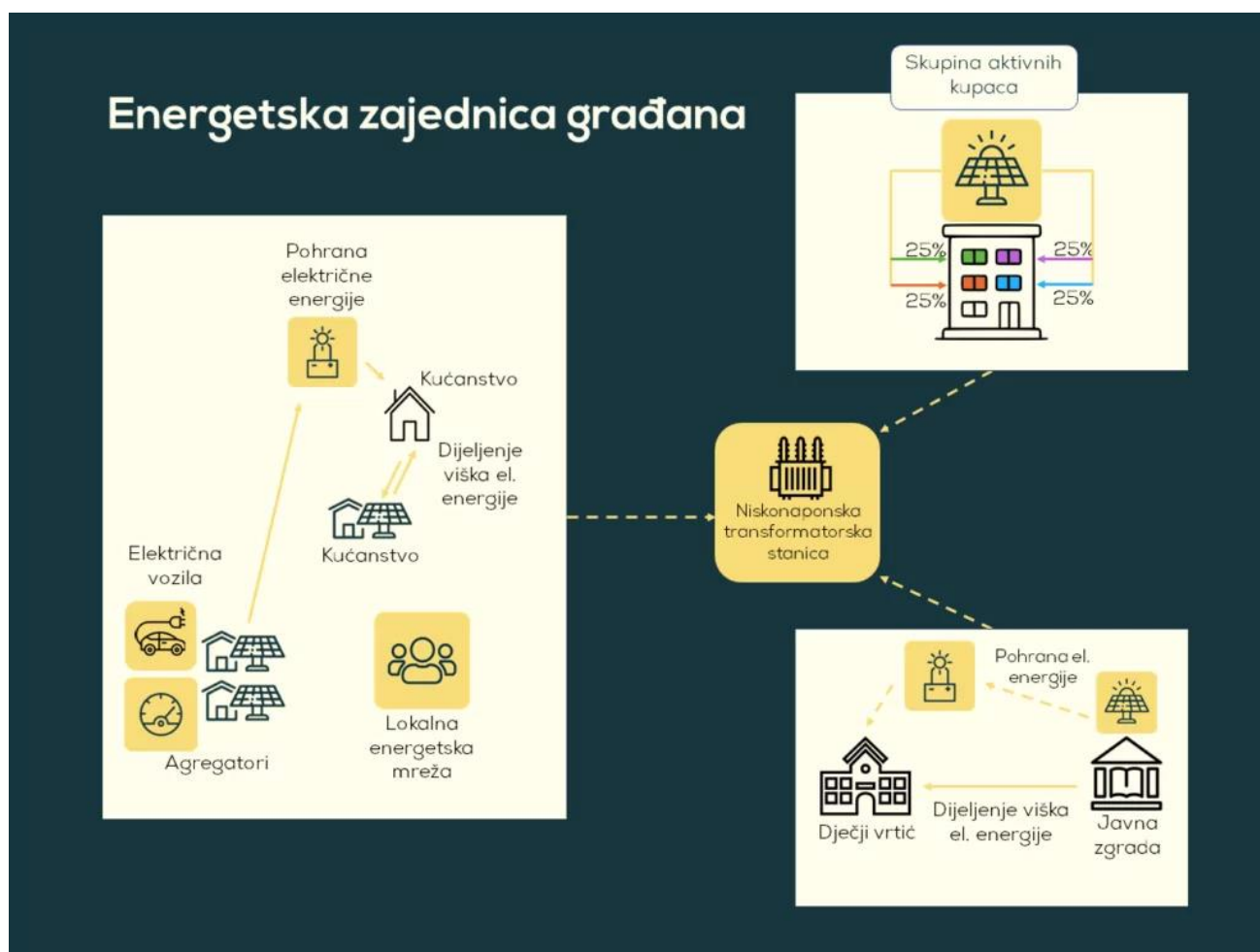
### 2.1. Energetske zajednice

Prema zakonima Republike Hrvatske [8], energetska zajednica je pravna osoba utemeljena na dobrovoljnom i javnom sudjelovanju, efektivno kontrolirana od strane članova ili dioničara fizičkih osoba, lokalnih tijela (uključujući općine) ili malih poduzeća. Glavna svrha energetske zajednice jest osigurati ekološku, gospodarsku ili društvenu korist svojim članovima ili vlasnicima dionica ili regiji u kojoj posluje, a ne generirati ekonomsku dobit te može sudjelovati u gotovo svim aktivnostima vezanim uz proizvodnju i korištenje električne energije. One omogućuju građanima da kolektivno organiziraju svoje sudjelovanje u energetske sustavu. Ovi koncepti utiru put novim energetske inicijativama čiji je cilj povećanje decentralizirane proizvodnje i potrošnje obnovljive energije na mjestu proizvodnje, a posebno osnaživanje drugih manjih igrača na energetske tržištu.

Stoga energetske zajednice čine:

1. subjekti koji obavljaju energetske djelatnosti (proizvodnja, distribucija, opskrba, potrošnja, dijeljenje, skladištenje el. energije, pružanje energetske usluga itd.)
2. nekomercijalni akteri na tržištu.
3. organizatori zajedničkih akcija građana kako bi omogućili utjecaj na energetske sustav.
4. akteri koji zajednički odabiru novog opskrbljivača (eng. *collective switching campaigns*), kolektivno ulažu u solarne elektrane, u vlasništvu su tvrtke za opskrbu energijom, distribucijske mreže itd.

Uvođenjem građanskih energetske zajednice (Slika 2.1.) omogućiti će se stvaranje zajednica u mjestima visoke gustoće naseljenosti, gdje su potrošači zainteresirani za korištenje električne energije iz obnovljivih izvora, ali nemaju prostor i mogućnost postavljanja vlastitih proizvodnih pogona, kao i dovoljno ili višak prostora za instaliranje proizvodnih pogona, tvornica i potrošača s dovoljnim priključkom za napajanje, ali niskom potrošnjom energije. Osnivanje energetske zajednice građana omogućiti će potrošačima koji nemaju prostor za izgradnju korištenje viškova energije proizvedenih u tvornicama drugih članica EZG-a, čime će se maksimalno iskoristiti proizvedeni višak energije. Energetske zajednice bi donijele veliki doprinos na trenutačnu klimatsku krizu te smanjenje emisije stakleničkih plinova.



Slika 2.1. Primjer energetske zajednice [8]

## 2.2. Zeleni plan

Zbog smanjenja emisija stakleničkih plinova, Europska komisija je usvojila Zeleni plan (*eng. green deal*) koji je odgovor na trenutnu klimatsku krizu, uz koji bi EU do 2050. godine trebala postati klimatski neutralna. Europski parlament je 24. lipnja 2021. prihvatio Europsku klimatsku uredbu kojom se zakonski obvezuje na smanjenje emisija stakleničkih plinova za 55% do 2030. godine i postizanje klimatske neutralnosti do 2050. godine. Ova odluka dovodi EU korak bliže cilju neutralnosti emisija do 2050. godine i potvrđuje svoje vodstvo u svjetskom odgovoru na klimatske promjene. To bi olakšalo primjenu ciljeva u zakonodavstvu, s prednostima kao što su čišći zrak, voda i tlo, smanjeni računi za energiju, renoviranje domova, bolji javni prijevoz i više stanica za punjenje električnih vozila, manje otpada, zdravija hrana te bolje zdravlje za ove i buduće generacije. Stvaranje mogućnosti u područjima u kojima Europa želi postaviti globalne standarde također će pomoći gospodarstvu. U budućnosti se očekuju nove mogućnosti zapošljavanja u područjima obnovljivih izvora energije te energetske učinkovite zgrade.

Zelenim planom je prihvaćena inicijativa „Spremni za 55 %“ (*engl. Fit for 55*) kojoj je cilj smanjenje emisija u EU-i za najmanje 55 % do 2030. godine. Paket ima za cilj pružiti koherentan i uravnotežen okvir za postizanje klimatskih ciljeva EU-a putem:

1. osiguravanja poštene i socijalno pravedne tranzicije
2. održati i ojačati inovativnost i konkurentnost industrije EU-a uz osiguranje jednakih uvjeta za sve u odnosu na gospodarske subjekte iz trećih zemalja
3. podupire poziciju EU-a kao globalnog lidera u borbi protiv klimatskih promjena.

Na sektor zgradarstva u EU-u otpada 40 % potrošnje konačne energije, dok je 36 % emisija stakleničkih plinova povezano s energijom. U tu svrhu je donesena nova direktiva o energetske svojstvima zgrade [9], čijom revizijom se uspostavljaju novi i ambiciozniji standardi energetske učinkovitosti za nove i obnovljene zgrade u EU-u. Tako bi ova inicijativa trebala potaknuti sve vlasnike nekretnina na energetske obnovu svoje zgrade ili druge stambene jedinice, čime bi do 2050. godine sve zgrade u EU-u trebale imati nulte emisije. U ovom sektoru postoji puno prostora za napredak, pošto je 75 % postojećih zgrada energetske neučinkovite te će energetska obnova velikih razmjera biti neizbježna.

Prethodno spomenuta direktiva o energetske svojstvima zgrade nam kazuje kako solarni uređaji doprinose proizvodnji zelene energije te će se tako morati ugraditi na:

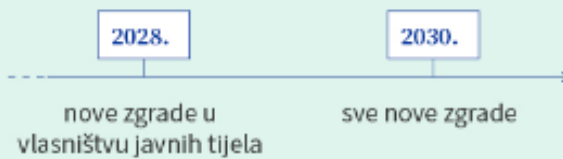
1. sve nove javne i nestambene zgrade (korisna podna površina > 250 m<sup>2</sup>) do 2027. godine
2. sve postojeće javne i nestambene zgrade koje se sveobuhvatno obnavljaju (korisna podna površina > 400 m<sup>2</sup>) do 2028. godine
3. sve nove stambene zgrade do 2030. godine.

Također će se inzistirati na boljoj infrastrukturi za bicikle i električne automobile, što znači više mjesta za punjenje, ugrađeni kabeli za veći broj mjesta za punjenje u budućnosti te više parkirnih mjesta za bicikle. Poticaji za provedbu ove inicijative jesu financijska pomoć, smanjenje poreza te administrativna potpora. Sve potrebne promjene u sektoru zgradarstva prikazane su na *Slici 2.2.*

## Novogradnja:



Nultu stopu emisija morat će imati:



Energetski certifikati:

od 2030. bit će obvezni za sve nove zgrade

## Postojeće zgrade:

### → nestambene zgrade:

države članice uspostavit će **minimalne standarde energetske učinkovitosti** = najveća količina energije koju zgrade mogu godišnje iskoristiti po m<sup>2</sup> (na osnovi cjelokupnog fonda zgrada iz sljeđenja 2020.)

sve nestambene zgrade u cjelini trebat će biti ispod te vrijednosti do:

2030.

prag od 15 %

2034.

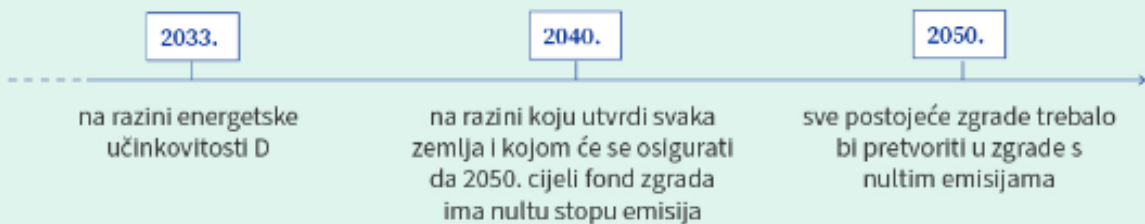
prag od 25 %

2 praga

koji odgovaraju udjelu nacionalnog fonda zgrada iznad tih pragova

### → stambene zgrade:

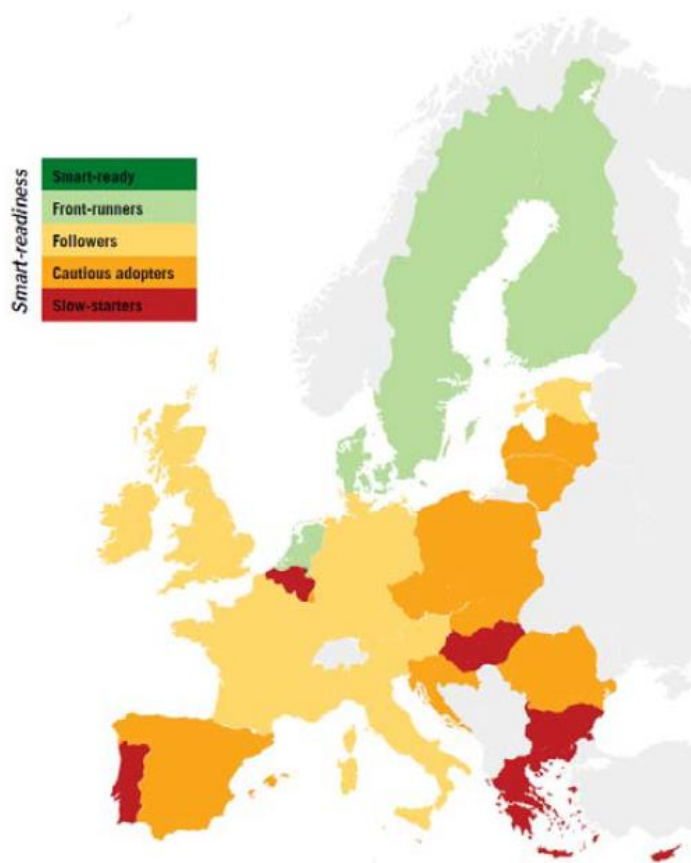
prosječno korištenje primarne energije trebat će biti barem na sljedećim razinama:



Slika 2.2. Promjene u sektoru zgradarstva [9]

### 2.3. Tržište Europske unije

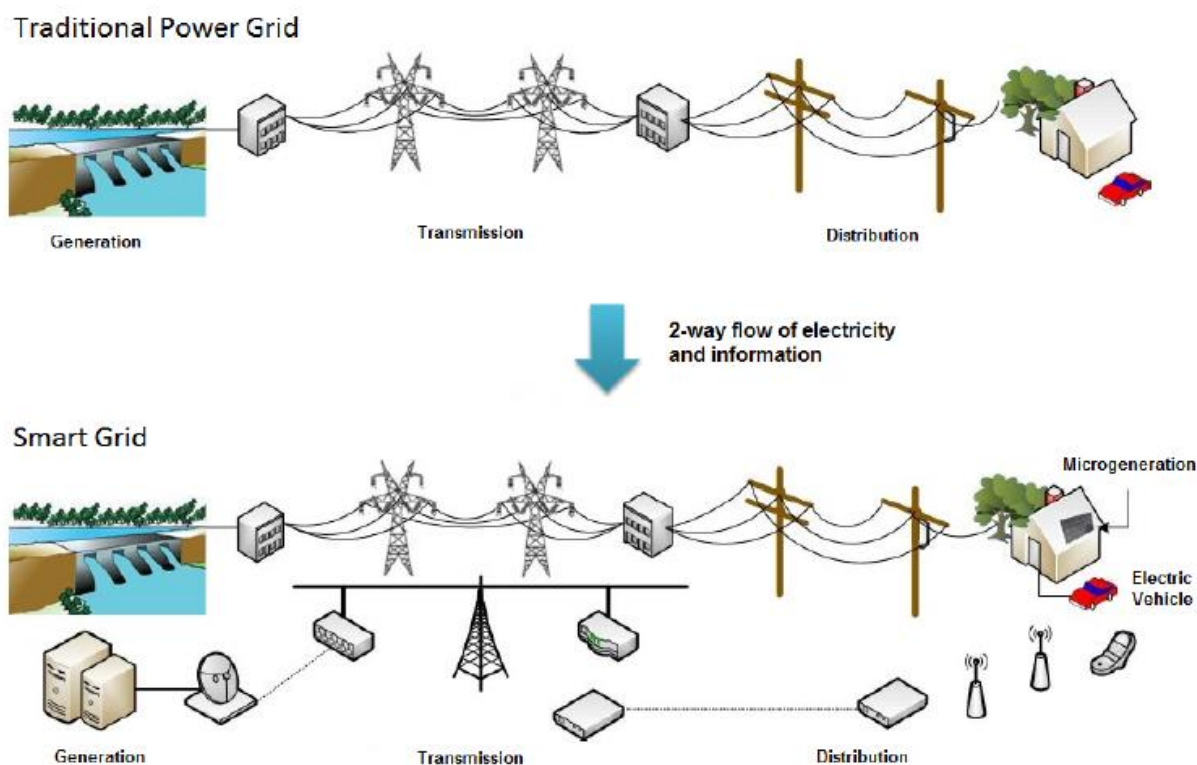
Uređaji unutar pametne kuće ovisni su o vanjskim uvjetima kao što su pristup brzom internetu, kao i brz odaziv preko pametne mreže. Europski institut za performanse zgrada je napravio izvješće [4] koje govori o tome je li Europa spremna na revoluciju po pitanju pametnih zgrada. U tom je izvješću napravljena analiza koja razmatra različite aspekte koji se smatraju ključnim kako bi zgrade bile pametne i dio globalnog, dinamičnog i participativnog energetskeg sustava. Analiziraju se pokazatelji poput izvedbe zgrade, implementacije pametnih brojila, dinamičnog tržišta, širokopojsnog pristupa, dostupnosti upravljanja potrošnjom ili pristupa obnovljivoj energiji. Rezultati istraživanja su prikazana na *Slici 2.3.* te nam kazuju kako su neke članice (Švedska, Finska, Danska i Nizozemska) na pravom putu, dok je kod preostalih članica Europske unije potrebno još dosta razvoja pametnog okruženja u građevinskom sektoru, kako u privatnom, tako i u javnom. Hrvatski energetskeg sektor je koncentriran na samo jedno poduzeće (Hrvatska elektroprivreda) te je posljedica toga spor napredak liberalizacije.



*Slika 2.3. Spremnost članica EU-a na implementaciju pametnih kuća [4]*

## 2.4. Elektroenergetski sustavi budućnosti

Elektroenergetski sustav budućnosti će uključivati napredne sustave nadzora i upravljanja koji će poboljšati rad i pouzdanost sustava. Jedan od tih sustava budućnosti jest pametna mreža, tj. sustav isporuke električne energije poboljšan komunikacijskim uređajima i informacijskim tehnologijama kako bi se omogućio učinkovitiji i pouzdaniji rad mreže uz poboljšanu korisničku uslugu i čišći okoliš. Pametna mreža podrazumijeva ugradnju elektroničke opreme, komunikacijskih sustava i računalnih alata kako bi se poboljšala izvedba električne mreže u pogledu učinkovitosti, kvalitete i ekoloških pitanja. Evolucija koju pruža integracija elemenata elektroenergetske mreže kroz infrastrukturu pametne mreže može se vidjeti na *Slici 2.4.*, s naglaskom na ugradnju elektroničke opreme za mjerenje i komunikaciju svih korisnika energetskeg lanca, čime dobivamo dvosmjerni protok električne energije i informacija. [3]



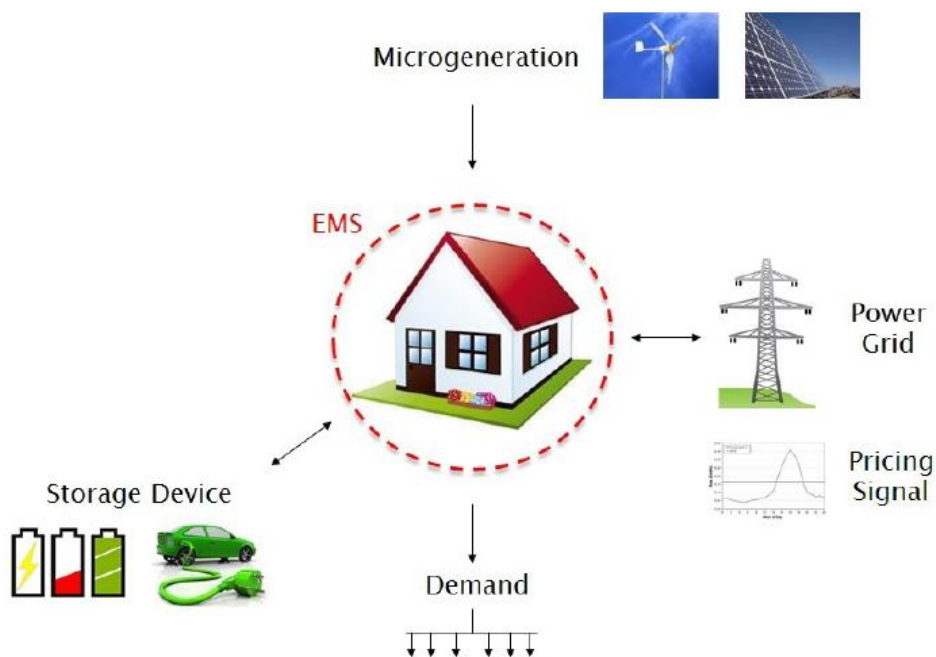
Slika 2.4. Evolucija elektroenergetskih mreža [3]



Koncept pametne mreže se temelji na sljedećim stavkama:

1. distribuirana proizvodnja i integracija obnovljivih izvora energije - generacija električne energije koju pružaju krajnji korisnici i integracija povremene proizvodnje velikih razmjera iz vjetra i sunca.
2. pohrana energije
3. upravljanje opterećenjem - potrošnja energije potrošača se mora uskladiti s raspoloživom energijom, odnosno, opterećenje sustava se smanjuje na način da se potrošače potiče da troše manje energije u periodima kada je sustav opskrbe opterećeniji (primjerice zbog potreba industrije) te da glavčinu svoje potrošnje prebace u periode kada energije ima dovoljno
4. električna vozila – smanjenje emisije stakleničkih plinova širenjem električnog voznog parka
5. transparentnost sustava - upravljanje mrežom kao nacionalnim sustavom u stvarnom vremenu
6. *cyber* sigurnost i fizička sigurnost - osiguranje fizičke infrastrukture, dvosmjerna komunikacija i razmjena podataka. [3]

Pametna mreža predstavlja važnu promjenu u polju energije, jer će sada potrošači izravno pridonijeti ubacivanju energije u mrežu, što ima važne tehničke i ekonomske posljedice. Implementacija tih novih funkcionalnosti omogućuje razvoj pametne kuće koji je potpuno integriran u buduću električnu mrežu. Pametne kuće primaju električnu energiju iz mreže te iz svog mikrogeneracijskog sustava kao što je prikazano na *Slici 2.5*. Generirana energija obično zadovolji potrebe kućanstva, no također se može prodati ili skladištiti za buduće upotrebe.



Slika 2.5. Shema pametne kuće [3]

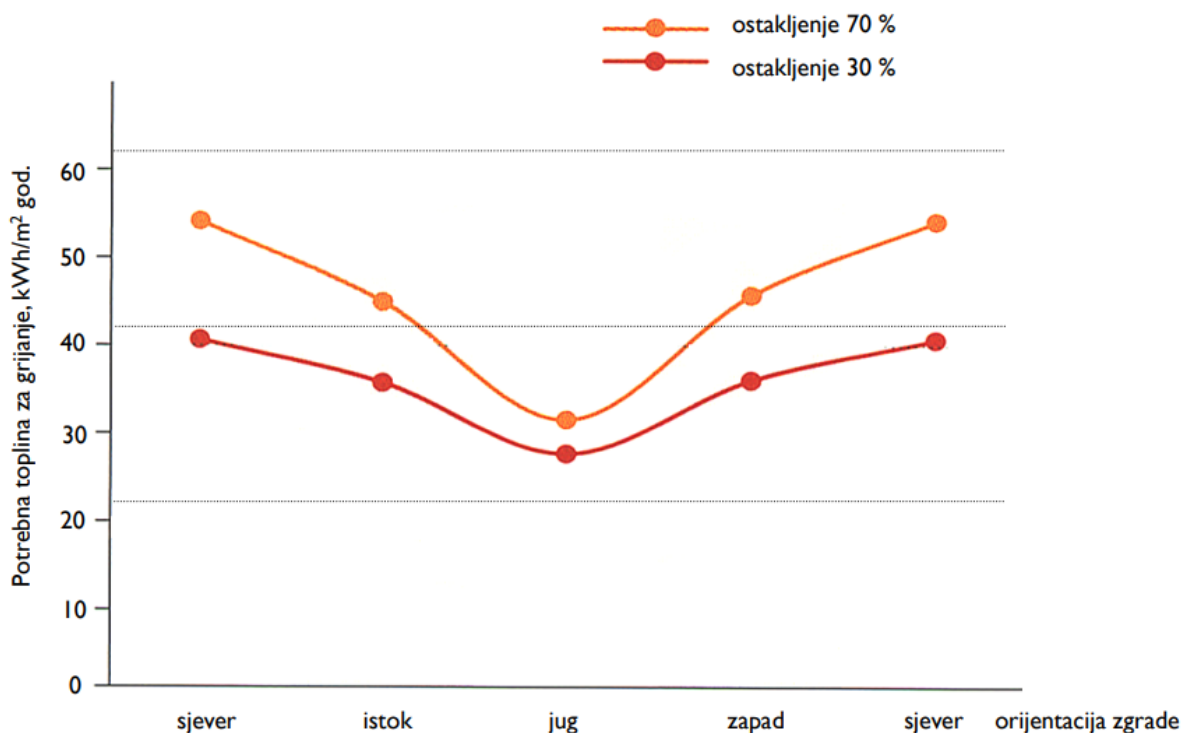
Pametne kuće slijede logiku pametnih mreža te možemo reći da se logika pametnih mreža temelji na pet osnovnih zakona:

1. mikrogeneracija – generacija električne energije putem alternativnih izvora, kao što su vjetar i sunce
2. pohrana energije – korištenje naprava kao što su punjive baterije ili električna vozila kada god je to moguće
3. kontrola potražnje - automatiziranje korištenja kućanskih aparata, s ciljem smanjenja računa za električnu struju
4. dvosmjerni protok energije - korištenjem pametnog brojila, pametna kuća može prosljediti energiju u električnu mrežu
5. diferencirana tarifa - cijena električne energije je različita za svako doba dana i prati zahtjev potrošnje, tako potiče potrošača da izbjegava najskuplje periode električne energije.

Pametna kuća opisuje se kao potrošač koji je u stanju generirati i pohraniti vlastitu energiju. Osim toga, može koristiti električnu energiju iz električne mreže ili, kada proizvodnja električne energije premaši potrošnju energije u određenom razdoblju, potrošač može prodati višak na tržištu energije, profitirajući od toga.

## 2.5. Geometrija zgrada

Položaj zgrade bi trebao biti planiran na način, da zgrada bude izložena Sunčevu zračenju, a istodobno zaštićena od jakih vjetrova. Važno je poznavati učestalost smjera vjetra radi optimiranja položaja otvora za usisavanje i izbacivanje zraka iz ventilacijskih i klimatizacijskih sustava. Tijekom zime nam je Sunčevo zračenje bitno kako bismo iskoristili energiju koja se apsorbira u zgradi, dok nam je tijekom ljeta cilj što više smanjiti toplinsko opterećenje zgrade, što je moguće učiniti sadnjom listopadnih stabala na južnom dijelu kuće te uređajima za zaštitu od insolacije. Iz tog razloga je poželjno južnu površinu što više ostakliti, a zatvoriti prema sjeveru. Grupiranje prostorija prilikom projektiranja jest također od iznimne važnosti, a to se radi na način da se grupiraju prostorije slične funkcije i unutarnje temperature. Zato se prostorije niže temperature smještaju na sjevernu stranu stambenog objekta, dok se prostorije koje se griju na višu temperaturu smještaju na južnu stranu. Tako se smanjuju transmisijski toplinski gubici i omogućuje iskorištavanje Sunčeve energije za dogrijavanje prostora uz južnu fasadu što je vidljivo na *Slici 2.6.*



Slika 2.6. Utjecaj orijentacije na potrošnju energije za grijanje prostora [5]

Geometrija zgrade ima također velik utjecaj na potrošnju energije u zgradi. Potrebno je voditi računa o tome da će za zgradu većeg oplošja, a istog volumena, trebati više materijala toplinske izolacije nego kod zgrade manjeg oplošja te će tako troškovi izgradnje biti znatno veći. Samim time geometrija ima utjecaj na sljedeće stvari: ugodnost u prostoru, količinu dnevnog svjetla, duljinu i položaj otvora za instalacije, duljinu razvoda energetske medija, aerodinamičku razdiobu tlaka po površini zgrade, mogućnost prirodnog provjetravanja i sl. Zbog toga uvodimo značajku faktora oblika zgrade  $f_0$  koju računamo prema izrazu (2.1):

$$f_0 = \frac{A}{V_e} \quad (2.1)$$

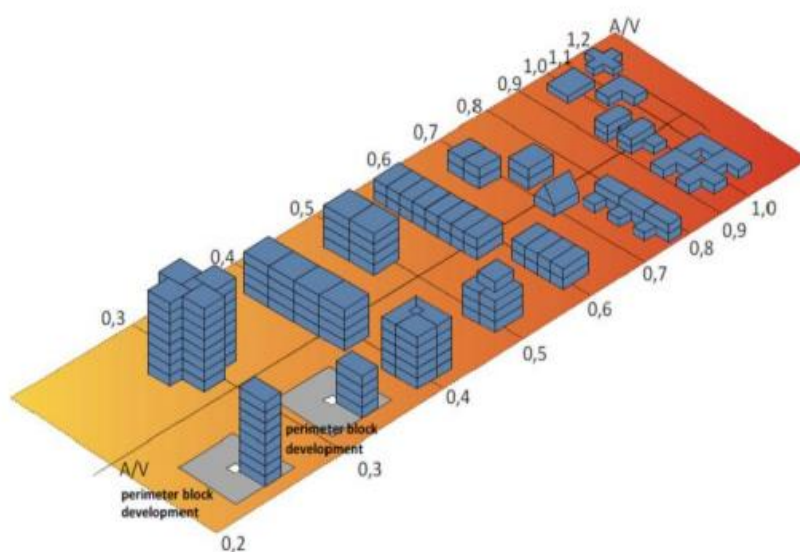
Gdje je:

$f_0$  faktor oblika zgrade, 1/m

$A$  oplošje grijanog dijela zgrade, m<sup>2</sup>

$V_e$  obujam grijanog dijela zgrade, m<sup>3</sup>.

Oplošje grijanog dijela zgrade  $A$  jest ukupna ploština građevnih dijelova koji razdvajaju grijani dio zgrade od vanjskog prostora, tla ili negrijanih dijelova zgrade (ovojnica grijanog dijela zgrade), uređena prema HRN EN ISO 13789:2008, dodatak B, za slučaj vanjskih dimenzija građevnih dijelova. Zgrade različitih faktora oblika prikazani su na *Slici 2.7*.



*Slika 2.7. Primjeri različitih geometrija zgrade i pripadajućih faktora oblika [7]*

## 2.6. Zgrade gotovo nulte potrošnje energije (G0EZ)

Zgrade gotovo nulte potrošnje energije (G0EZ) su zgrade s vrlo visokim energetske karakteristikama. Ovu gotovo nultu ili vrlo nisku količinu energije treba u velikoj mjeri pokriti obnovljivim izvorima energije – uključujući one proizvedene u zgradama ili u njihovoj blizini. U Hrvatskoj bi najmanje 30% godišnje isporučene energije trebalo dolaziti iz obnovljivih izvora. Za izgradnju i projektiranje postoji sedam osnovnih koraka (prikazano na *Slici 2.8.*), koji koriste uobičajeno dostupne građevinske materijale i opremu, kao i strategije projektiranja i gradnje koje je moguće lako primijeniti.



*Slika 2.8. Sedam koraka za izvedbu G0EZ [19]*

U *Tablici 2.1.* su prikazane najveće dopuštene vrijednosti za nove zgrade i G0EZ grijane i/ili hladene na temperaturu 18 °C ili više, dok su u *Tablici 2.2.* prikazani energetske razredi s podatkom o specifičnoj godišnjoj primarnoj energiji  $E_{prim}$ , izraženoj u kWh/m<sup>2</sup>a. Kontinentalna Hrvatska je označena kraticom *K*, dok je primorska Hrvatska označena kraticom *P*. G0EZ mora zadovoljavati uvjete za A+ energetske razred.

Tablica 2.1. Najveće dopuštene vrijednosti za nove zgrade i G0EZ [19]

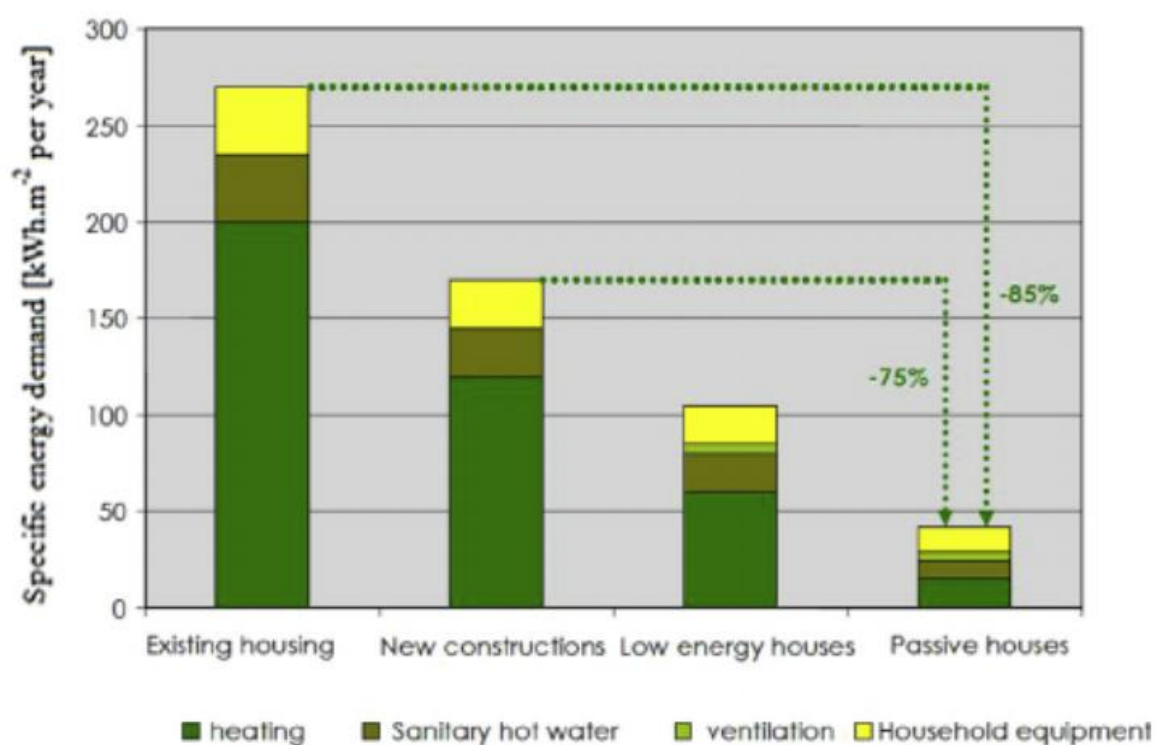
ZAHITJEVI ZA NOVE ZGRADE I G0EZ	$Q_{H,nd}^+ [kWh/(m^2 \cdot a)]$						$E_{prim} [kWh/(m^2 \cdot a)]$			
	NOVA ZGRADA I G0EZ						NOVA		G0EZ	
	kontinent, $\theta_{mm} \leq 3 \text{ }^\circ\text{C}$			primorje, $\theta_{mm} > 3 \text{ }^\circ\text{C}$			kont $\theta_m \leq 3 \text{ }^\circ\text{C}$	prim $\theta_{mm} > 3 \text{ }^\circ\text{C}$	kont $\theta_{mm} \leq 3 \text{ }^\circ\text{C}$	prim $\theta_{mm} > 3 \text{ }^\circ\text{C}$
VRSTA ZGRADE	$f_0 \leq 0,20$	$0,20 < f_0 < 1,05$	$f_0 \geq 1,05$	$f_0 \leq 0,20$	$0,20 < f_0 < 1,05$	$f_0 \geq 1,05$				
Višestambena	40,50	$32,39 + 40,58 \cdot f_0$	75,00	24,84	$19,86 + 24,89 \cdot f_0$	45,99	120	90	80	50
Obiteljska kuća	40,50	$32,39 + 40,58 \cdot f_0$	75,00	24,84	$17,16 + 38,42 \cdot f_0$	57,50	115	70	45	35
Uredska	16,94	$8,82 + 40,58 \cdot f_0$	51,43	16,19	$11,21 + 24,89 \cdot f_0$	37,34	70	70	35	25
Obrazovna	11,98	$3,86 + 40,58 \cdot f_0$	46,48	9,95	$4,97 + 24,91 \cdot f_0$	31,13	65	60	55	55
Bolnica	18,72	$10,61 + 40,58 \cdot f_0$	53,21	46,44	$41,46 + 24,89 \cdot f_0$	67,60	300	300	250	250
Hotel i restoran	35,48	$27,37 + 40,58 \cdot f_0$	69,98	11,50	$6,52 + 24,89 \cdot f_0$	32,65	130	80	90	70
Sportska dvorana	96,39	$88,28 + 40,58 \cdot f_0$	130,89	37,64	$32,66 + 24,91 \cdot f_0$	58,82	400	170	210	150
Trgovina	48,91	$40,79 + 40,58 \cdot f_0$	83,40	13,90	$8,92 + 24,91 \cdot f_0$	35,08	450	280	170	150
Ostale nestambene	40,50	$32,39 + 40,58 \cdot f_0$	75,00	24,84	$19,86 + 24,89 \cdot f_0$	45,99	150	100	/	/

Tablica 2.2. Energetski razredi za različite objekte [19]

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

## 2.7. Općenito o pametnim zgradama

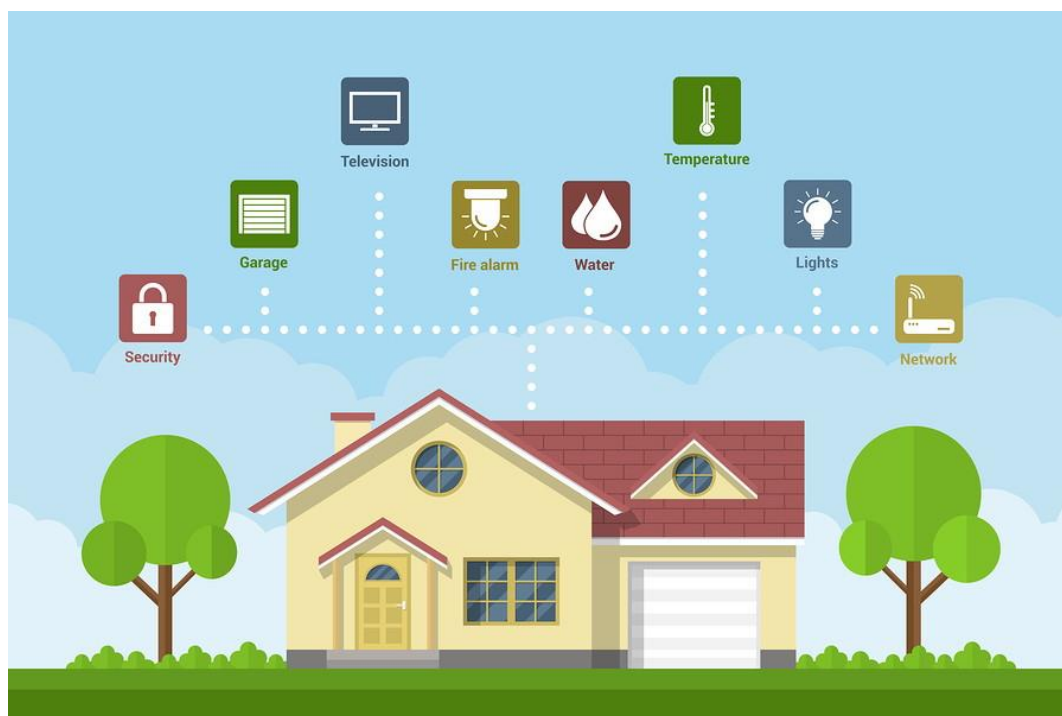
U današnjem svijetu sve više raste potreba za energijom, što uz konvencionalne energente znači veće zagađenje okoliša, prvenstveno zraka i vode. To je zapravo realna prijetnja opstanku ljudi na zemlji. Da bi se taj problem riješio, razvija se sve stroža pravna regulativa. Glavni cilj ovih regulativa jest ušteda energije, koja je prikazana na *Slici 2.9*. To se odnosi i na područje stanogradnje. Danas već postoje brojne tehnologije koje mogu ostvariti znatne pomake u smanjenju emisija stakleničkih plinova te ostvariti neovisnost o fosilnim gorivima.



*Slika 2.9. Specifična godišnja potrošnja energije za različite stambene objekte [2]*

Glavni princip pametnih zgrada temelji se na povećanju energetske učinkovitosti, putem korištenja pametnih sustava koji upravljaju termotehničkim i elektrotehničkim instalacijama i njihovim komponentama. Prema tome glavne značajke su energetska učinkovitost načina rada termotehničkih sustava, fleksibilnost energetske mreže, u odnosu na sustave spojene samo na energetska mreža te aktivan odnos zgrade prema svojim korisnicima. Aktivan odnos zgrade i korisnika znači da korisnik ima pristup svim uređajima i podacima u bilo koje vrijeme, na bilo kojem mjestu. U stambenim jedinicama, termin „pаметan“ se obično koristi za opisivanje doma s uređajima koji

međusobno komuniciraju te ih korisnik može daljinski kontrolirati, dakle, svi uređaji u zgradi (prikazani na *Slici 2.10.*), kao što su termostati, osvjetljenje, sigurnosni sistemi, uređaji za upravljanjem energijom i sl. mogu biti povezani u jedinstvenu mrežu koja omogućava daljinsko upravljanje i praćenje. Ovi sustavi nam omogućuju da potrošnju energije prilagodimo stvarnim potrebama, odnosno, da podignemo razinu ugodnosti boravka u prostoru uz minimalnu potrošnju energije.



*Slika 2.10. Uređaji pametne kuće [3]*

Stanari mogu kontrolirati temperaturu, prilagoditi osvjetljenje putem pametnih telefona ili drugih uređaja. Ova povezanost također omogućuje razmjenu informacija između uređaja, što omogućava postizanje optimalne učinkovitosti sistema. Kako tehnologija napreduje, tako pada cijena raznih bitnih uređaja koji su neophodni u projektiranju pametnih zgrada kao što su senzori, softveri te umjetna inteligencija. Ona osobito pokazuje veliki potencijal, kako u svakodnevnom ljudskom životu, tako i u zgradarstvu. Primarni cilj pametnih stambenih jedinica jest povećati udobnost, uštedu energije te sigurnost stanovnika. Ipak, dugoročno usvajanje i komercijalizacija pametnih domova nailazi na probleme po pitanju pouzdanosti, troškova implementacije, standardizacije i sigurnosti. Standardizacija pametnih kuća rezultirati će smanjenjem troškova implementacije. Strojno učenje se temelji na prikupljanju, pohrani i obradi podataka, pri čemu se koriste odgovarajući algoritmi koji traže funkcijsku povezanost između skupova ulaznih podataka. Svi ti



podaci dobiveni su mjerenjima pomoću raznih osjetnika. Neki podaci koriste se kao polazni, a drugi kao njihova posljedica. Energetski troškovi mogu biti smanjeni implementacijom senzora pokreta, odsjaja te osvjetljenja, koji neprestano komuniciraju sa sustavom koji potom postaje svjestan korisničkih zahtjeva. Primjerice senzori pokreta prate prisutnost korisnika prostora, i kada u prostoriji nema nikoga isključuju rasvjetna tijela ili smanjuju broj uključenih rasvjetnih tijela, isključuju ogrjevnna ili rashladna tijela ili ih prebacuju u štedni režim rada (niže temperature grijanja i više temperature hlađenja), smanjuju brzinu vrtnje ventilatora, itd. Pametna kuća može pružiti beskrajna sigurnosna rješenja, ovisno o korisničkim zahtjevima. Uobičajena rješenja upozoravaju korisnike na uljeze te kvalitetu zraka u stambenom prostoru pomoću osjetnika koncentracije CO<sub>2</sub>, pametnih brava te pasivnih infracrvenih senzora (PIR) povezanih pametnim kontrolnim sustavom. [2]

Arhitektura pametnih kuća se sastoji od četiri modula, kao što je prikazano na *Slici 2.11.*:

1. Središnja upravljačka jedinica (engl. *Central Management Unit*)
2. Korisničko sučelje (engl. *User Interface*)
3. Sučelje kućne opreme i uređaja (engl. *Home Equipment and Appliances Interface*)
4. Vanjsko komunikacijsko sučelje (engl. *External Communication Interface*)



*Slika 2.11. Arhitektura pametne kuće [2]*

Središnja upravljačka jedinica se sastoji od komponenata prikazanih na *Slici 2.12.*, odnosno:

1. Operativnog sustava (engl. *Operating System*)
2. Baze podataka (engl. *Database*)
3. Umjetne inteligencije (engl. *Artificial Intelligence*)
4. Aplikacijskih usluga (engl. *Application Services*)



*Slika 2.12. Sastav središnje upravljačke jedinice [2]*

Prikupljanje podataka je temelj uspješne implementacije svake pametne kuće te se to obično izvodi putem bežičnih senzorskih mreža (eng. *Wireless sensor networks*). S napretkom u tehnologiji mikro elektromehaničkih sustava, bežičnoj komunikaciji te digitalnoj elektronici, dizajn i razvoj jeftinih višenamjenskih senzorskih čvorova koji mogu komunicirati i bez žičane veze na kratkim udaljenostima postali su izvedivi. Općenito, bežične senzorske mreže se mogu sastojati od različitih vrsta senzora kao što su seizmički, magnetski, toplinski, vizualni, infracrveni, akustični i radarski. Ovi senzori su prostorno raspoređeni za praćenje fizikalnih ili okolišnih uvjeta koji mogu uključivati temperaturu, vlažnost, tlak, brzinu strujanja, smjer kretanja, svjetlo, sastav tla, razinu buke, prisutnost ili odsutnost određenih vrsta predmeta te mehaničko opterećenje samog objekta. Unatoč tome, čak i uz pouzdano prikupljanje podataka, ostaju pitanja pouzdanosti te autonomije pametnih kuća, na koja trenutna istraživanja u ovom području žele odgovoriti. Neki od modela su temeljeni na algoritmima strojnog učenja, koji su proučavali rutine ljudskog ponašanja te su na taj način predviđali buduće stanje u kući. Ova rješenja su predviđena za stalne stanare te će biti učinkovita nakon nekog perioda, dok to nije slučaj za komercijalne čiji se korisnici učestalo mijenjaju.

Prednosti pametnih kuća:

1. jednostavnost – dodiranjem gumba na kontroleru ili korištenjem glasovnih naredbi, možemo postići željeni scenarij kao npr. prigušenje svjetla, uključivanje elektroničkih uređaja te zadavanje temperature. Pomoću kamera i skupova podataka dom se može nadzirati daljinskim putem, npr. kako bi se osiguralo da korisnici kuće nisu ostavili uključen plin. Ukoliko jesu, aktuator može zatvoriti plin prije nego dosegne razinu opasnosti. Kućna automatizacija je alat kojim pojedinac može automatski rasporediti zadatke kao što su zalijevanje travnjaka, uključivanje perilice posuđa i rublja, aktiviranje sigurnosnih sustava itd. Time uklanjamo potrebu za redovitim obavljanjem različitih kućanskih poslova.

2. sigurnost – pametne kuće sadrže sigurnosne sustave s kamerama, sensorima pokreta te s vezom prema lokalnoj policijskoj stanici ili privatnoj zaštitarskoj tvrtki. Pametne kuće također mogu koristiti kartice s ključevima ili identifikaciju otiskom prsta umjesto uobičajenih brava, što uljezima otežava provalu.

3. štednja energije – pametne kuće nude poboljšanu energetske učinkovitost. Svjetla se mogu automatski isključiti kada u prostoriji nema prisutnosti osoba, a kod režima grijanja, termostat se može postaviti tako da dopusti pad temperature tijekom dana, no potom će temperaturu vratiti na ugodniju razinu netom prije dolaska stanara u kuću. Pametna kuća može pružiti detaljne podatke o distribuiranoj potrošnji energije u stvarnom vremenu. Ove informacije omogućuju korisnicima da uštede troškove električne energije, vode i prirodnog plina, a također mogu smanjiti opterećenje prirodnih resursa.

4. rješavanje kućnih problema – pametna kuća opremljena sa svrsishodnim sensorima, može učinkovito nadzirati strukturu kuće. Npr., senzori protoka na cijevima mogu pratiti tlak vode i plina. Ove solucije mogu pojednostaviti probleme gubitka tlaka. Objekti se također mogu nadzirati, a kvarovi predvidjeti preventivnim održavanjem. Uz mrežu bežičnih senzora i aktuatora (eng. *Wireless Sensor and Actuator Networks*), električna mreža u kući se može kontrolirati pametnim upravljačem, što je važno u slučaju požara izazvanih kvarom električnih instalacija. [2]

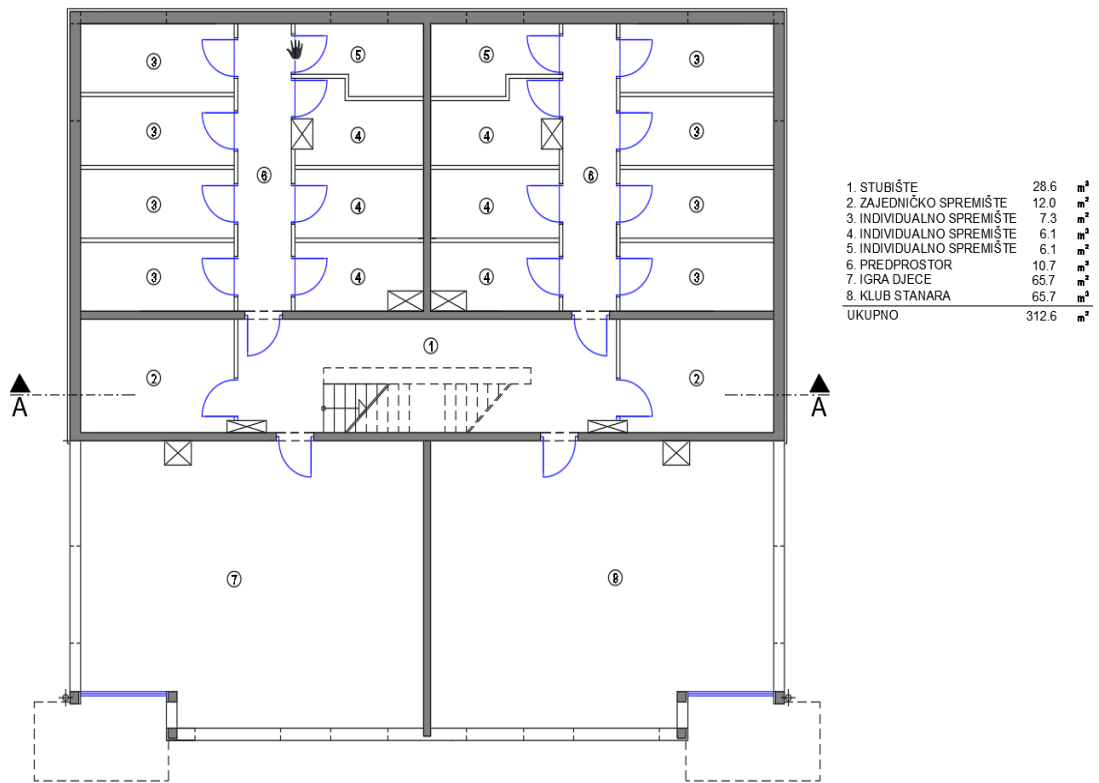
### 3. PROJEKT ENERGETSKI SAMODOSTATNE ZGRADE

Zadatak ovog diplomskog rada je projektirati pametnu energetske samodostatnu stambenu zgradu što nižih ukupnih troškova. Implementacijom pametnih uređaja te članstvom u energetske zajednicama, dobivamo status pametne zgrade te podižemo razinu samodostatnosti kao što je opisano u prethodnom poglavlju. U ovom poglavlju računati ćemo sve potrebne parametre kako bismo odabrali najbolje rješenje za opskrbu zgrade termotehničkom opremom. U obzir će se uzeti dvije izvedbe termotehničkog sustava a to su:

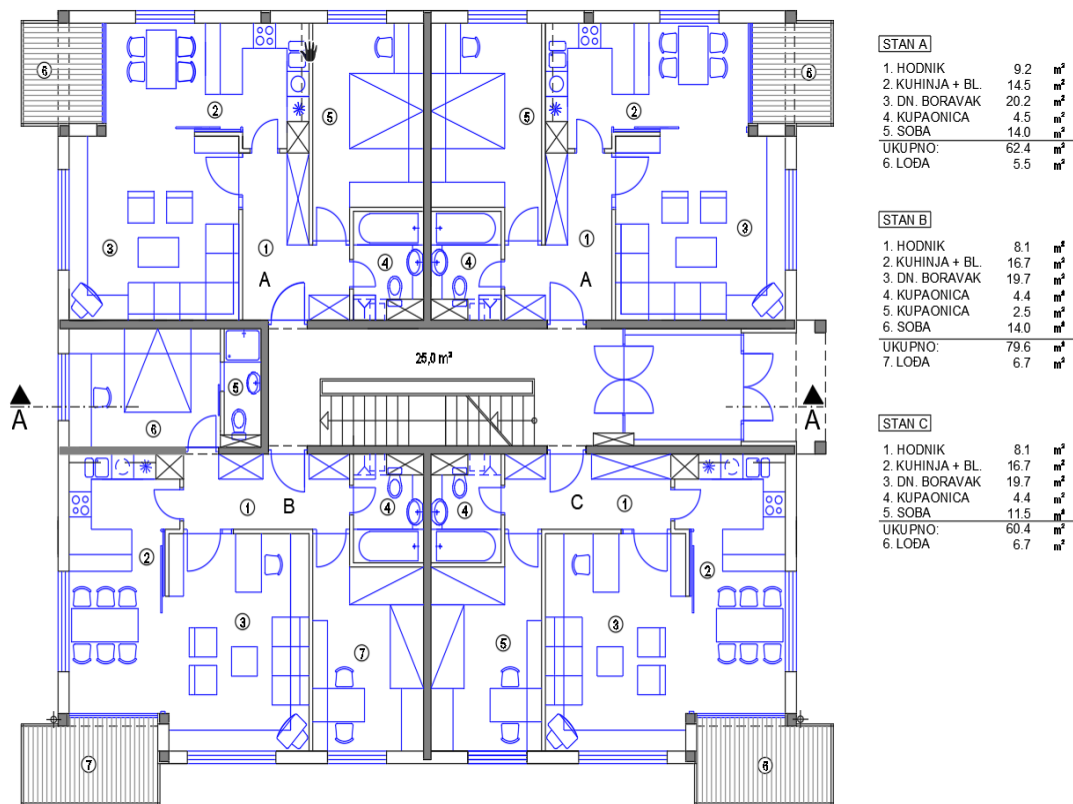
1. opcija centralnog sustava – grijanje se vrši putem podnog grijanja, generator topline je jedna dizalica koja ujedno i priprema PTV, dok se hlađenje vrši putem ventilokonvektora koji su također spojeni na istu dizalicu topline
2. opcija etažnog sustava – svaki stan koristi zasebnu dizalicu topline s integriranim spremnikom PTV-a te se grijanje vrši putem podnog grijanja, dok se hlađenje vrši putem klima uređaja.

Na osnovu tehno-ekonomske analize, odabrati će se najpovoljniji sustav.

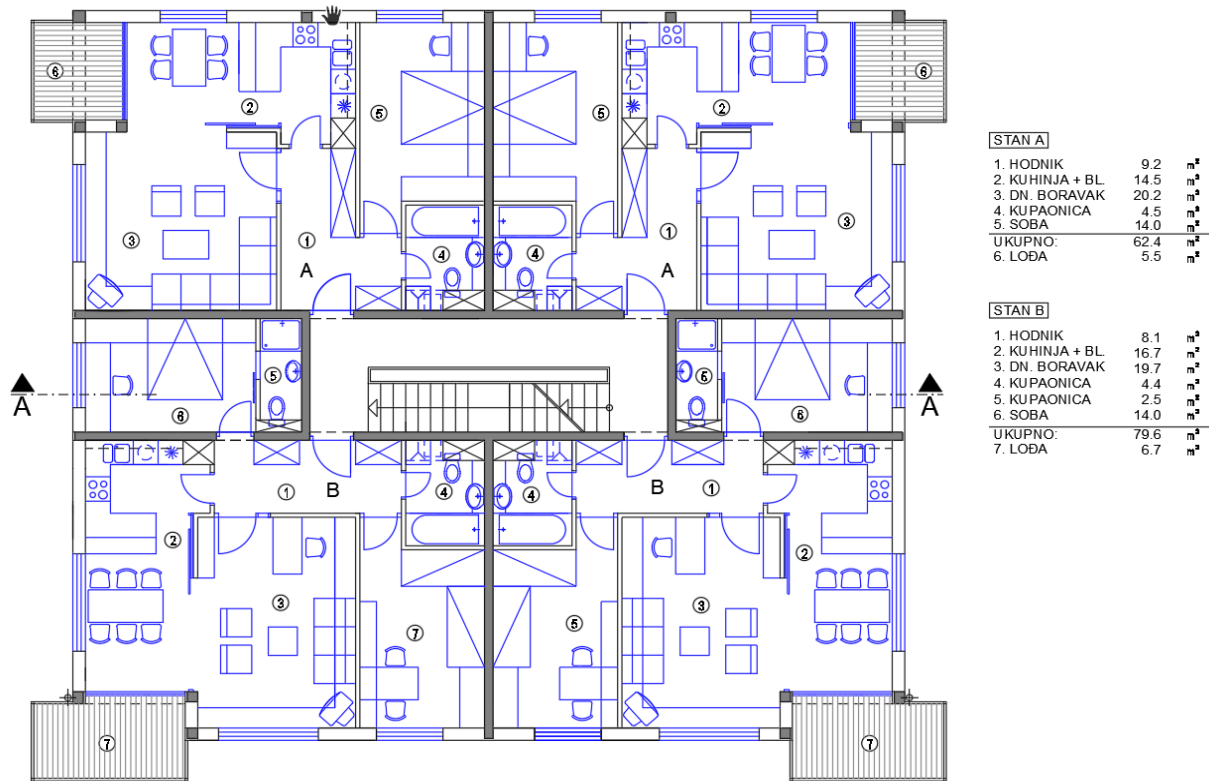
Pri projektiranju termotehničkih sustava zgrade, od iznimne važnosti je uzeti u obzir geografsku lokaciju, odnosno, klimatske podatke vezane za tu lokaciju, orijentaciju pojedinih stanova te poziciju prostorija u samoj zgradi. Za izgradnju zgrade korišteni su moderni materijali s visokoenergetskim svojstvima, s naglaskom na visoke vrijednosti specifičnog toplinskog kapaciteta, odgovarajućim vrijednostima toplinske vodljivosti te sa sposobnošću akumuliranja topline. Glavni cilj projektiranja termotehničkih sustava jest stvoriti ugodno mjesto za boravak stanara. Projektni dio diplomskog rada baziran je na stambenoj zgradi u Rijeci. Zgrada se sastoji od osam stambenih jedinica, od kojih su četiri u prizemlju, a četiri na katu ukupne površine 548,8 m<sup>2</sup> te suterena površine 312,6 m<sup>2</sup>. U zgradi postoje tri veličine stana: jedan od 60,4 m<sup>2</sup>, tri od 79,6 m<sup>2</sup> te četiri od 62,4 m<sup>2</sup>. Tlocrti stambene zgrade su prikazani na *Slikama 3.1., 3.2. i 3.3.*



Slika 3.1. Tlocrt suterena



Slika 3.2. Tlocrt prizemlja



Slika 3.3. Tlocrt kata

### 3.1. Proračun toplinskih gubitaka i opterećenja

Kako bismo pravilno odabrali elemente termotehničkog sustava, potrebno je provesti proračun toplinskih gubitaka te toplinskog opterećenja. Ulazni podaci koji su potrebni za proračun su meteorološki podaci, unutarnje projektne temperature zraka te relativna vlažnost, dimenzije objekta te njegovih otvora i fizikalna svojstva objekta. Za ove proračune korišten je programski paket *IntegraCAD 2005*.

Kako bismo mogli izračunati toplinske gubitke i opterećenje, potrebno je napraviti proračun koeficijenta prolaza topline za ravnu stijenku koji se računa prema izrazu (3.1):

$$U = \frac{1}{R_u + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + R_v} \quad (3.1)$$

Gdje je:

$U$  koeficijent prolaza topline, W/(m<sup>2</sup>K)

$R_u$  otpor prijelazu topline konvekcijom između zraka u prostoriji i unutarnje površine promatrane stijenke, (m<sup>2</sup>K)/W

$\delta_i$  debljina pojedinog sloja građevnog dijela, m

$\lambda_i$  toplinska vodljivost pojedinog sloja građevnog dijela, W/(mK)

$R_v$  otpor prijelazu topline konvekcijom između vanjske površine promatrane stijenke i vanjskog zraka, (m<sup>2</sup>K)/W.

Kako je zgrada izgrađena od različitih građevnih dijelova, tako je i koeficijent prolaza topline različit za svaki građevni dio. U *Tablici 3.1.* prikazan je sastav te ukupni koeficijent prolaza topline vanjskih zidova, u *Tablici 3.2.* sastav te ukupni koeficijent prolaza topline zidova prema negrijanom stubištu, u *Tablici 3.3.* sastav te ukupni koeficijent prolaza topline zidova između stanova, u *Tablici 3.4.* sastav te ukupni koeficijent prolaza topline poda na tlu, u *Tablici 3.5.* sastav te ukupni koeficijent prolaza topline međukatne konstrukcije, u *Tablici 3.6.* sastav te ukupni koeficijent prolaza topline stropa iznad negrijanog podruma te u *Tablici 3.7.* sastav te ukupni koeficijent prolaza topline krova.

Tablica 3.1. Ukupni koeficijent prolaza topline vanjskih zidova

#	Materijal	Debljina sloja $\delta$ , cm	Toplinski otpor R, (m <sup>2</sup> K)/W
1	Vapneno-cementna žbuka	2	0,02
2	Šuplji blokovi od gline	30	0,714
3	Polimerno-cementno ljepilo	1	0,012
4	Toplinska izolacija	8	2,286
5	Impregnacijski predpremaz	/	/
6	Silikatna žbuka	0,2	0,002
Koeficijent prolaza topline		0,31 W/(m <sup>2</sup> K)	

Tablica 3.2. Ukupni koeficijent prolaza topline zidova prema negrijanom stubištu

#	Materijal	Debljina sloja $\delta$ , cm	Toplinski otpor R, (m <sup>2</sup> K)/W
1	Gipskartonske ploče	1,25	0,05
2	Parna brana	0,02	/
3	Toplinsko-zvučna izolacija	6	1,579
4	Armirani beton	25	0,096
5	Vapneno-cementna žbuka	1,5	0,015
Koeficijent prolaza topline		0,50 W/(m <sup>2</sup> K)	

Tablica 3.3. Ukupni koeficijent prolaza topline zidova između stanova

#	Materijal	Debljina sloja $\delta$ , cm	Toplinski otpor R, (m <sup>2</sup> K)/W
1	Gipskartonske ploče	1,25	0,046
2	Toplinsko-zvučna izolacija	5	1,351
3	Armirani beton	20	0,077
4	Vapneno-cementna žbuka	2	0,02
Koeficijent prolaza topline		0,57 W/(m <sup>2</sup> K)	



Tablica 3.4. Ukupni koeficijent prolaza topline poda na tlu

#	Materijal	Debljina sloja $\delta$ , cm	Toplinski otpor R, (m <sup>2</sup> K)/W
1	Meko drvo (crnogorica)	2,2	0,169
2	Cementni estrih	6	0,038
3	Bitumenska traka	1	0,043
4	Armirani beton	10	0,038
5	Ekstrudirana polistirenska pjena (XPS)	8	2,222
6	Geotekstil 150 g/m <sup>2</sup>	0,02	/
7	Pijesak	30	/
Koeficijent prolaza topline		0,37 W/(m <sup>2</sup> K)	

Tablica 3.5. Ukupni koeficijent prolaza topline međukatne konstrukcije

#	Materijal	Debljina sloja $\delta$ , cm	Toplinski otpor R, (m <sup>2</sup> K)/W
1	Meko drvo (crnogorica)	2,2	0,169
2	Cementni estrih	5	0,031
3	Parna brana	0,04	/
4	Toplinsko-zvučna izolacija	5	1,389
5	Armirani beton	20	0,77
Koeficijent prolaza topline		0,52 W/(m <sup>2</sup> K)	

Tablica 3.6. Ukupni koeficijent prolaza topline stropa iznad negrijanog podruma

#	Materijal	Debljina sloja $\delta$ , cm	Toplinski otpor R, (m <sup>2</sup> K)/W
1	Meko drvo (crnogorica)	2,2	0,169
2	Cementni estrih	6	0,038
3	Parna brana	0,035	/
4	Toplinsko-zvučna izolacija	5	1,389
5	Armirani beton	16	0,062
6	Polimerno-cementno ljepilo	0,1	0,007
7	Lamela za kontaktne fasade	6	1,5
Koeficijent prolaza topline		0,29 W/(m <sup>2</sup> K)	

Tablica 3.7. Ukupni koeficijent prolaza topline krova

#	Materijal	Debljina sloja $\delta$ , cm	Toplinski otpor R, ( $m^2K$ )/W
1	Armirani beton	15	0,058
2	Bitumenska ljepenka	0,6	0,026
3	Aluminijska folija 0,05 mm	0,001	/
4	Geotekstil 500 g/m <sup>2</sup>	0,02	/
5	Ekstrudirana polistirenska pjena (XPS)	20	5,556
6	Plastična drenaža	0,02	/
7	GreenRoof kamena vuna	4	/
8	Sedum mix	5	/
Koeficijent prolaza topline		0,24 W/( $m^2K$ )	

Osim građevnih dijelova, na proračun toplinskih gubitaka i opterećenja utječu i otvori, odnosno prozori i vrata. Na zgradi se nalaze prozori s PVC okvirima, s trostrukim izolirajućim staklom s dva međusloja zraka/plina s koeficijentom toplinske provodljivosti ostakljenja 0,8 W/( $m^2K$ ) te koeficijentom toplinske provodljivosti otvora od 1,1 W/( $m^2K$ ). Ovakvi prozori dolaze u dvije dimenzije, 2400x1400 mm te 1600x1400 mm. Na zgradi se također nalaze i balkonska vrata s PVC okvirom, s dvostrukim izolirajućim staklom s jednim međuslojem zraka/plina s koeficijentom toplinske provodljivosti ostakljenja 0,9 W/( $m^2K$ ) te koeficijentom toplinske provodljivosti otvora od 1,1 W/( $m^2K$ ). Balkonska vrata su dimenzija 2400x2200 mm. Udio ostakljenja kod svih otvora iznosi 80 %.

### 3.1.1. Proračun toplinskih gubitaka prema normi HRN EN 12831

Cilj ovog proračuna jest odrediti ukupan toplinski učin potreban za održavanje projektnih temperatura grijanih prostorija pri najnižoj vanjskoj projektnoj temperaturi, koja za Rijeku, prema normi HRN EN 12831 iznosi -8 °C. Metoda ovog proračuna se bazira na pretpostavci da su raspodjele temperatura zraka u prostorijama i temperature vanjskog zraka jednolike. Projektne temperature prostorija se definiraju ovisno o namjeni prostorije ili prema zahtjevu investitora. Projektne temperature prostorija prikazane su u *Tablici 3.8*. Ukupni toplinski gubici se sastoje od transmisijskih i ventilacijskih gubitaka. Transmisijski gubici topline su gubici koji nastaju uslijed toplinskih tokova kroz otvore i zidove zbog razlika u temperaturi fluida između stijenke.

Ventilacijski gubici su gubici koji nastaju kao posljedica izmjene topline uzrokovane prirodnom ili prisilnom ventilacijom prostora, odnosno, infiltracijom zraka kroz fuge prozora i vrata. Potrebno je izračunati toplinske gubitke za svaku grijanu prostoriju te ukupne gubitke dobivamo zbrajanjem svih gubitaka. Toplinski gubici se računaju prema formuli (3.2):

$$\phi_i = \phi_{T,i} + \phi_{V,i} \quad (3.2)$$

Gdje je:

$\phi_i$     ukupni toplinski gubici i-tog grijanog prostora, W

$\phi_{T,i}$     transmisijski gubici i-tog grijanog prostora, W

$\phi_{V,i}$     ventilacijski gubici i-tog grijanog prostora, W.

*Tablica 3.8. Projektne temperature prostorija*

Prostorija	Projektna temperatura prostorije, °C
Hodnik	20
Kuhinja + blagovaona	22
Dnevni boravak	22
Spavaća soba	22
Klub stanara	22
Dječja igraonica	22
Kupaonica	24

Ukupni toplinski gubici za prizemlje, prvi kat i drugi kat prikazani su u *Tablicama 3.9., 3.10. i 3.11.* Stanovi su označeni tako da Stan 1 ima sjeverozapadnu, Stan 2 sjeveroistočnu, Stan 3 jugoistočnu te Stan 4 jugozapadnu orijentaciju.

*Tablica 3.9. Ukupni toplinski gubici u prizemlju*

Prostorija	Projektna temperatura °C	A, m <sup>2</sup>	$\phi_T$ , W	$\phi_V$ , W	$\phi$ , W
Klub stanara	22	65,7	4148	938	5086
Igraonica	22	65,7	4148	938	5086
<b>Ukupni toplinski gubici u prizemlju</b>			8296	1876	10172

Tablica 3.10. Ukupni toplinski gubici prvog kata

Prostorija	Projektna temperatura °C	A, m <sup>2</sup>	$\phi_T$ , W	$\phi_V$ , W	$\phi$ , W
<b>Stan 1</b>					
Hodnik	20	9,2	255	122	377
Kuhinja + blagovaona	22	14,5	522	207	729
Dnevni boravak	22	20,2	494	288	782
Kupaonica	24	4,5	203	205	408
Spavaća soba	22	14	357	199	556
Ukupno		62,4	1831	1021	2852
<b>Stan 2</b>					
Hodnik	20	9,2	255	122	377
Kuhinja + blagovaona	22	14,5	522	207	729
Dnevni boravak	22	20,2	494	288	782
Kupaonica	24	4,5	203	205	408
Spavaća soba	22	14	357	199	556
Ukupno		62,4	1831	1021	2852
<b>Stan 3</b>					
Hodnik	20	8,1	150	107	257
Kuhinja + blagovaona	22	16,7	556	238	794
Dnevni boravak	22	19,7	394	281	675
Kupaonica	24	4,4	254	201	455
Spavaća soba	22	11,5	284	164	448
Ukupno		60,4	1638	991	2629
<b>Stan 4</b>					
Hodnik	20	8,1	112	107	219
Kuhinja + blagovaona	22	16,7	557	238	795
Dnevni boravak	22	19,7	394	281	675
Kupaonica	24	4,4	247	201	448
Kupaonica	24	2,5	155	114	269
Spavaća soba	22	14	315	199	514
Spavaća soba	22	11,5	284	164	448
Ukupno		76,9	2064	1304	3368
<b>Ukupni toplinski gubici prvog kata</b>			7364	4337	11701

Tablica 3.11. Ukupni toplinski gubici drugog kata

Prostorija	Projektna temperatura °C	A, m <sup>2</sup>	$\phi_T$ , W	$\phi_V$ , W	$\phi$ , W
Stan 1					
Hodnik	20	9,2	283	122	405
Kuhinja + blagovaona	22	14,5	817	207	1024
Dnevni boravak	22	20,2	553	288	841
Kupaonica	24	4,5	216	205	421
Spavaća soba	22	14	398	199	597
Ukupno		62,4	2267	1021	3288
Stan 2					
Hodnik	20	9,2	283	122	405
Kuhinja + blagovaona	22	14,5	817	207	1024
Dnevni boravak	22	20,2	553	288	841
Kupaonica	24	4,5	216	205	421
Spavaća soba	22	14	398	199	597
Ukupno		62,4	2267	1021	3288
Stan 3					
Hodnik	20	8,1	155	107	262
Kuhinja + blagovaona	22	16,7	635	238	873
Dnevni boravak	22	19,7	487	281	768
Kupaonica	24	4,4	266	201	467
Kupaonica	24	2,5	162	114	276
Spavaća soba	22	14	356	199	555
Spavaća soba	22	11,5	339	164	503
Ukupno		76,9	2400	1304	3704
Stan 4					
Hodnik	20	8,1	155	107	262
Kuhinja + blagovaona	22	16,7	635	238	873
Dnevni boravak	22	19,7	487	281	768
Kupaonica	24	4,4	266	201	467
Kupaonica	24	2,5	162	114	276
Spavaća soba	22	14	356	199	555
Spavaća soba	22	11,5	339	164	503
Ukupno		76,9	2400	1304	3704
<b>Ukupni toplinski gubici drugog kata</b>			9334	4650	13984

Time smo dobili ukupne toplinske gubitke u zgradi koji iznosi 35857 W te će to biti mjerodavna vrijednost za odabir termotehničkih elemenata za sustav grijanja.

### 3.1.2. Proračun toplinskog opterećenja prema normi VDI 2078

Kako bismo adekvatno odabrali opremu kojom ćemo hladiti stambene prostore, potrebno je provesti proračun toplinskog opterećenja, odnosno, potrebno je izračunati potreban rashladni učin s kojim ćemo održati unutarnje projektne temperature prilikom najtoplijih dana u godini. Toplinsko opterećenje predstavlja toplinski tok koji je potrebno odvesti iz prostorija u kojima boravimo, kako bi temperatura te relativna vlažnost zraka u tom prostoru bila ugodna za boravak u istome. Ukupno toplinsko opterećenje prostorije zbroj je vanjskoga i unutarnjega toplinskog opterećenja, kao što je prikazano u formuli (3.3):

$$\phi_{UK} = \phi_{UN} + \phi_{VAN} \quad (3.3)$$

Gdje je:

$\phi_{UK}$  ukupno toplinsko opterećenje, W

$\phi_{UN}$  unutarnje toplinsko opterećenje, W

$\phi_{VAN}$  vanjsko toplinsko opterećenje, W.

Toplinsko opterećenje uslijed izvora topline u samoj prostoriji računamo putem formule (3.4):

$$\phi_{UN} = \phi_{OS} + \phi_{RAS} + \phi_{SUO} + \phi_{PROL} + \phi_{OST} \quad (3.4)$$

Gdje je:

$\phi_{OS}$  toplina koju odaju osobe, W

$\phi_{RAS}$  toplina koju odaju rasvjetna tijela, W

$\phi_{SUO}$  toplina koju odaju strojevi, uređaji i ostala oprema, W

$\phi_{PROL}$  toplina koju odaju predmeti i tvari prilikom prenošenja kroz prostoriju, W

$\phi_{OST}$  toplina koju odaju ostali izvori (razni procesi, biljke, životinje i sl.), W.

Toplinsko opterećenje prostorije uslijed izvora topline izvan prostorije računamo putem formule (3.5):

$$\phi_{VAN} = \phi_{V.ZID} + \phi_{KROV} + \phi_{PROZ.K} + \phi_{PROZ.Z} + \phi_{VENT} + \phi_{U.ZID} \quad (3.5)$$

Gdje je:

- $\phi_{V.ZID}$  toplina dovedena iz okoliša kroz vanjske zidove ili krov, W
- $\phi_{KROV}$  toplina dovedena iz okoliša kroz prozore, W
- $\phi_{PROZ.K}$  toplina dovedena iz okoliša zračenjem kroz ostakljene površine, W
- $\phi_{PROZ.Z}$  toplina dovedena iz okoliša zračenjem kroz ostakljene površine, W
- $\phi_{VENT}$  toplina dovedena iz okoliša prirodnom ventilacijom (kroz zazore), W
- $\phi_{U.ZID}$  toplina dovedena iz susjednih prostora kroz unutarnje zidove, vrata, pod ili strop, W.

Proračun je rađen na temelju četvrte klimatske zone, u kojoj se, prema programskom paketu *IntegraCAD 2005*, nalazi i Rijeka. Točnije na najtopliji dan u godini, a to je 23. srpnja te su dnevne temperature prikazane u *Tablici 3.12.*, preuzete iz programskog paketa *IntegraCAD 2005*. Predviđeno je hlađenje kuhinje te blagovaone, dnevnog boravka te spavaćih soba. Unutarnja projektna temperatura je jednaka za sve prostorije te iznosi 26 °C.

*Tablica 3.12. Prikaz dnevnih temperatura za 23. srpnja*

Sat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Temperatura, °C	18,2	17,5	16,6	16,2	15,9	17,3	20,1	22	24	25,9	27,4	28,8
Sat	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Temperatura, °C	30	30,9	31,6	32	31,7	31,1	29,8	27,9	25,9	24,7	23,1	21,9

Za svaku prostoriju je određen broj osoba koji istovremeno boravi u toj prostoriji, instalirana snaga rasvjetnih tijela te električnih uređaja. Spavaća soba je predviđena za dvije osobe, dok su za dnevni boravak i kuhinju s blagovaonom predviđene četiri osobe. Za instaliranu snagu rasvjetnih tijela uzeta je vrijednost od 10 W/m<sup>2</sup>, dok smo za instaliranu snagu električnih uređaja uzeli u obzir perilicu suđa, kuhinjsku napu i hladnjak u kuhinji, TV u dnevnom boravku te TV u spavaćoj sobi. Rezultati proračuna po etažama prikazani su u *Tablicama 3.13., 3.14. i 3.15.*

*Tablica 3.13. Ukupno toplinsko opterećenje u prizemlju*

Prostorija	$\phi_{UK}$ , W
Klub stanara	3532
Igraonica	4942
<b>Ukupno toplinsko opterećenje u prizemlju</b>	<b>8474</b>

*Tablica 3.14. Ukupno toplinsko opterećenje na 1. katu*

Prostorija	$\phi_{UK}$ , W
Stan 1	
Hodnik	188
Kuhinja + blagovaona	1900
Dnevni boravak	853
Spavaća soba	753
Ukupno	3694
Stan 2	
Hodnik	188
Kuhinja + blagovaona	1915
Dnevni boravak	871
Spavaća soba	753
Ukupno	3727
Stan 3	
Hodnik	178
Kuhinja + blagovaona	1776
Dnevni boravak	1557
Spavaća soba	952
Ukupno	4463
Stan 4	
Hodnik	178
Kuhinja + blagovaona	2421
Dnevni boravak	1285
Spavaća soba	927
Spavaća soba	952
Ukupno	5763
<b>Ukupno toplinsko opterećenje na 1. katu</b>	<b>18007</b>



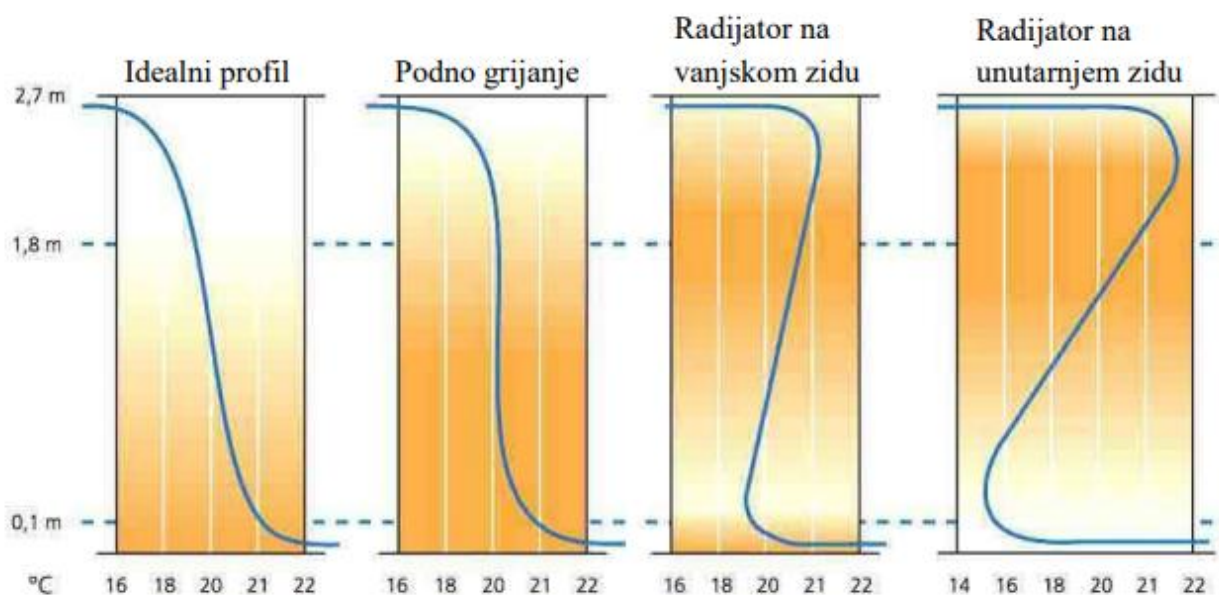
Tablica 3.15. Ukupno toplinsko opterećenje na 2. katu

Prostorija	$\phi_{UK}$ , W
Stan 1	
Hodnik	188
Kuhinja + blagovaona	1900
Dnevni boravak	853
Spavaća soba	753
Ukupno	3694
Stan 2	
Hodnik	188
Kuhinja + blagovaona	1915
Dnevni boravak	871
Spavaća soba	753
Ukupno	3727
Stan 3	
Hodnik	178
Kuhinja + blagovaona	1776
Dnevni boravak	1285
Spavaća soba	497
Spavaća soba	842
Ukupno	4578
Stan 4	
Hodnik	178
Kuhinja + blagovaona	1234
Dnevni boravak	1285
Spavaća soba	497
Spavaća soba	952
Ukupno	4146
<b>Ukupno toplinsko opterećenje na 2. katu</b>	<b>16145</b>

Ukupno toplinsko opterećenje iznosi 42626 W te na temelju tog iznosa biramo odgovarajuću opremu za rashladni sustav.

### 3.2. Podno grijanje

Za rješenje problema toplinskih gubitaka možemo odabrati različite sustave. Cilj diplomskog rada je odabrati najpovoljniji sustav u smislu energetske i ekonomske troškova, međutim, i najugodniji sustav ukoliko je to moguće u okvirima troškova. Neka od realnih rješenja sustava su: podno grijanje, ventilokonvektori, norveški radijatori, dok visoko temperaturni radijatori nisu opcija zbog nemogućnosti ugradnje kotlova na drvo, plin ili neko drugo gorivo, pošto tom izvedbom nismo u stanju zgradu napraviti energetske samodostatnom. Kao najbolje rješenje pokazuje se podno grijanje, zbog toga što se toplina distribuira po prostoriji najbliže idealnom slučaju (Slika 3.4.), dok za radijatorski slučaj grijanja to nije slučaj. Također, neke od prednosti u odnosu na druga ogrjevna tijela su: niži energetske troškovi, ne zauzimanje prostora.



Slika 3.4. Usporedba distribucije topline za različita ogrjevna tijela [10]

Podno grijanje je oblik grijanja gdje se grijanje prostora provodi preko površine poda te postaje sve popularnije u novogradnjama jer nema grijaćih elemenata poput radijatora ili ventilokonvektora koji zauzimaju prostor. Budući da zauzimaju veliku površinu za izmjenu topline s prostorijom, temperature grijanja mogu biti znatno niže nego kod radijatorskog grijanja. Sustav toplovodnog podnog grijanja je dvocijevni sustav grijanja za dovod i povrat vode. Temperatura vode u sustavu je oko 40/35 °C, skoro upola niže nego što je slučaj kod radijatora. Velika prednost

ovakvog sustava je ta što se toplina u prostoriji raspoređuje ravnomjerno, što uvelike utječe na ugodnost boravka u istoj. Stupanj učinkovitosti i troškova cijelog kruga ovisi o ispravnom odabiru koraka između položenih cijevi toplih podova, međutim, u praksi, ako se planira ekonomično grijati pod, koristi se korak od 150 mm. Postavljanje cijevi se može izvesti kao zavojnica, dvostruka zavojnica te uzorak puža. Postoje samo dvije metode polaganja cijevi za uređenje toplog poda. U prvoj se metodi koriste gotovi materijali za podlogu: izolacija-polistiren i ploče modularnog ili stalaknog tipa. Ne postoje vlažni radovi koji zahtijevaju dugo vrijeme sušenja, pa je polaganje brzo te se ova metoda naziva suha izvedba. Kod druge opcije, mreža grijanja je ogradena estrihom. Ovisno o debljini betona, izračunava se vrijeme do potpunog sušenja. To je način koji troši najviše vremena i financijski je skup, a ta se metoda naziva mokra izvedba. Primjer instalacije podnog grijanja prikazan je na *Slici 3.5*.



*Slika 3.5. Instalacija podnog grijanja s razvodnim ormarićem [10]*

Dimenzioniranje podnog sustava grijanja je napravljeno pomoću programskog paketa *Europlan* proizvođača Harreither. Temperaturni režim u polazu iznosi 35 °C te 30 °C u povratu. Pošto

imamo tri skupine stanova, te dvije identične prostorije u prizemlju, proračun smo radili za svaku grupu stanova posebno, a potom pomnožili učine s brojem stanova u toj skupini. Protok vode u sustavu iznosi 6245 l/h, dok ukupni učin sustava iznosi 36,357 kW. Pošto se cjevovodi ne postavljaju ispod namještaja koji leži na podu, tako u nekim slučajevima dostupna površina postavljanja cjevovoda iznosi manje nego površina prostorije. Kako bismo nadoknadili toplinske gubitke prostorije, u tom slučaju je cjevovode potrebno postaviti s manjim međusobnim razmakom. Gustoća polaganja cijevi te broj krugova po pojedinim grupama stanova prikazani su u *Tablicama 3.16., 3.17., 3.18. i 3.19.*

*Tablica 3.16. Gustoća polaganja cijevi u 1. skupini stanova*

Prostorija	Krugovi grijanja	Rubna zona			Zona boravka		Spojni cjevovod, m <sup>2</sup>
		Način polaganja	Širina, cm	A, m <sup>2</sup>	Način polaganja	A, m <sup>2</sup>	
Hodnik	1	/	/	/	EV35	7,4	1,8
Kuhinja + blagovaona	1	EV10	110	6,3	EV20	3,9	/
Dnevni boravak	1	EV15	60	1,9	EV25	18,3	/
Kupaonica	1	/	/	/	EV5	3	/
Spavaća soba	1	EV15	60	1,1	EV25	12,9	/

*Tablica 3.17. Gustoća polaganja cijevi u 2. skupini stanova*

Prostorija	Krugovi grijanja	Rubna zona			Zona boravka		Spojni cjevovod, m <sup>2</sup>
		Način polaganja	Širina, cm	A, m <sup>2</sup>	Način polaganja	A, m <sup>2</sup>	
Hodnik	1	/	/		EV35	4,8	3,3
Kuhinja + blagovaona	1	EV15	60	4,6	EV25	7,8	/
Dnevni boravak	1	EV15	120	1,7	EV35	18	/
Kupaonica	1	/	/	/	EV5	1,5	/
Kupaonica	1	/	/	/	EV5	1,7	/
Spavaća soba	1	EV15	60	1	EV30	12,6	0,5
Spavaća soba	1	EV15	60	1,1	EV30	10,4	/

Tablica 3.18. Gustoća polaganja cijevi u 3. skupini stanova

Prostorija	Krugovi grijanja	Rubna zona			Zona boravka		Spojni cjevovod, m <sup>2</sup>
		Način polaganja	Širina, cm	A, m <sup>2</sup>	Način polaganja	A, m <sup>2</sup>	
Hodnik	1	/	/	/	EV35	6,6	1,5
Kuhinja + blagovaona	1	EV10	55	4,1	EV20	8,3	/
Dnevni boravak	1	EV15	120	1,7	EV30	18	/
Kupaonica	1	/	/	/	EV5	2,9	/
Spavaća soba	1	EV15	60	1,1	EV25	10,4	/

Tablica 3.19. Gustoća polaganja cijevi u prizemlju

Prostorija	Krugovi grijanja	Rubna zona			Zona boravka		Spojni cjevovod, m <sup>2</sup>
		Način polaganja	Širina, cm	A, m <sup>2</sup>	Način polaganja	A, m <sup>2</sup>	
Klub stanara	7	/	/	/	EV5	65,7	/
Igraonica	7	/	/	/	EV5	65,7	/

### 3.3. Dizalica topline

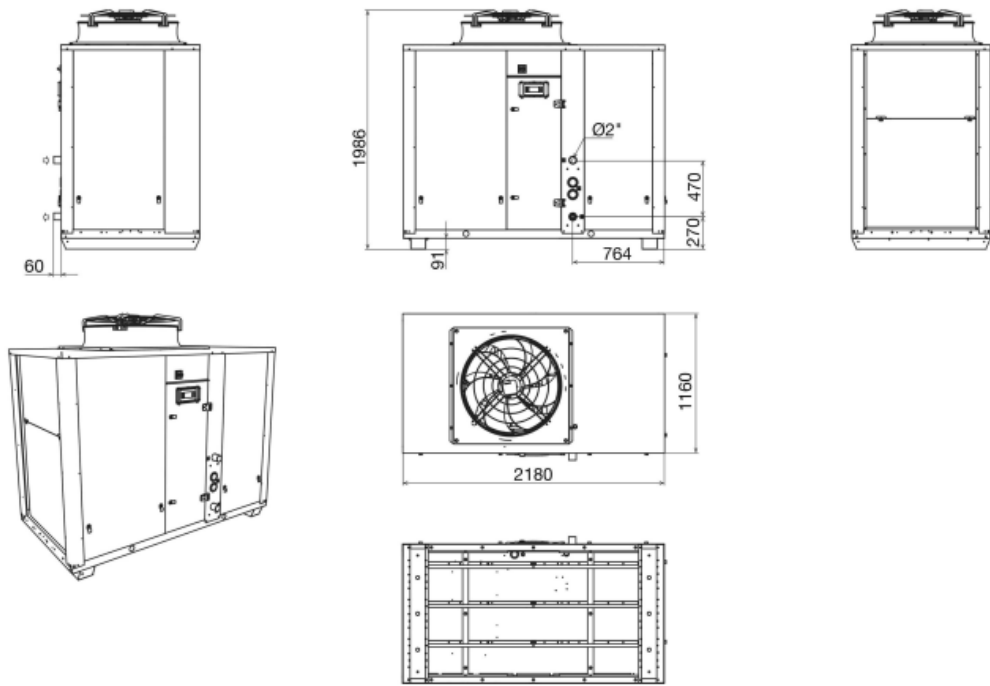
Dizalica topline je uređaj koji vanjskim radom prenosi energiju ili toplinu iz spremnika topline niže temperature u spremnik topline više temperature, kako bi se toplina spremnika više temperature mogla iskoristiti. Izvor topline je prostor ili medij niže temperature koji oduzima toplinu, dok toplinski ponor predstavlja prostor ili medij više temperature koji prima toplinu. Većina energije potrebne za rad dizalice topline mora biti osigurana iz obnovljivih izvora energije da bi se postigla određena razina učinkovitosti i da bi se dizalica topline smatrala uređajem za obnovljive izvore energije. Kompresor tada treba generirati samo manji dio ukupne energije. Izvori topline čija se energija koristi za pogon dizalice topline su: zrak, površinske i podzemne vode, tlo, sunčeva energija i otpadna toplina.

Ovisno o izvoru topline, dizalice topline dijele se u tri kategorije:

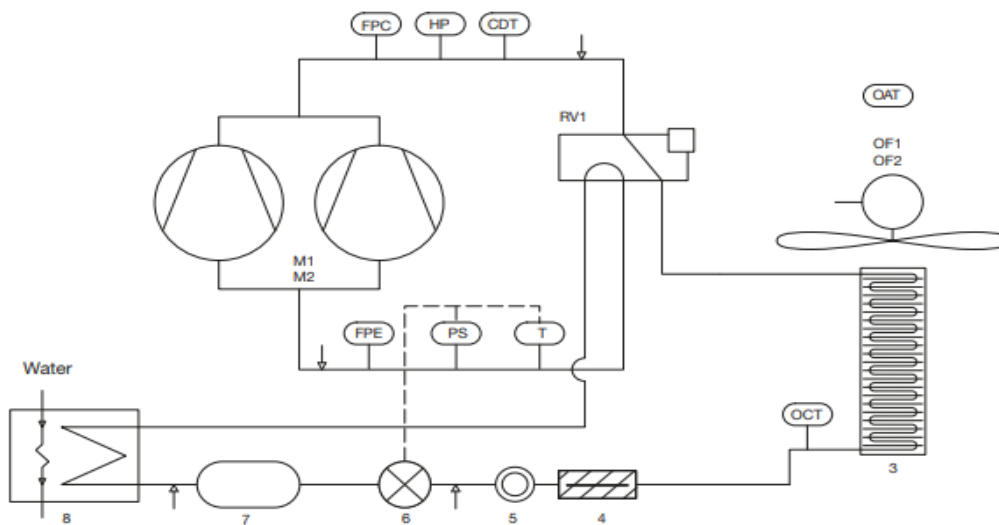
1. Generator topline tlo-voda - izvor topline je duboki ili plitki sloj tla, a ponor topline je voda
2. Toplinska pumpa voda-voda - izvor topline je podzemna, površinska ili otpadna voda i radiator
3. Dizalica topline zrak-voda ili zrak-zrak - izvor topline je okolni zrak ili otpadni zrak, odvod može biti voda i zrak

#### 3.3.1. Dizalice topline za centralni sustav

U slučaju centralnog grijanja i hlađenja zgrade odabrana je dizalica topline zrak-voda Panasonic U-065CW čiji su nacrti detaljno prikazani na *Slici 3.6*. Ova dizalica topline je birana tako da zadovolji toplinske gubitke od 35857 W pri vanjskoj projektnoj temperaturi od  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , odnosno, toplinsko opterećenje 42626 W pri vanjskoj projektnoj temperaturi od  $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Opskrbljena je s dva hermetički zatvorena spiralna kompresora, koja su postavljena u tandemu što omogućuje prilagodbu opterećenja tijekom rada. Mali dizajn ju čini vrlo prikladnom za rukovanje te jednostavnom za instalaciju. Sustav je dizajniran s visokim SEER (engl. *Seasonal Energy Efficiency Ratio*) i SCOP (engl. *Seasonal Coefficient of Performance*). Rad u načinu grijanja je moguć do vanjske temperature od  $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$  i maksimalne izlazne temperature vode od  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Dizalica ima integriranu pumpu i ekspanzijsku posudu. Na *Slici 3.7* je prikazana shema dizalice topline sa svim ugrađenim elementima. Na *Slikama 3.8* i *3.9* su prikazani dijagrami izlazne temperature vode u odnosu na vanjski zrak prilikom grijanja i hlađenja.



Slika 3.6. Nacrti dizalice topline [11]

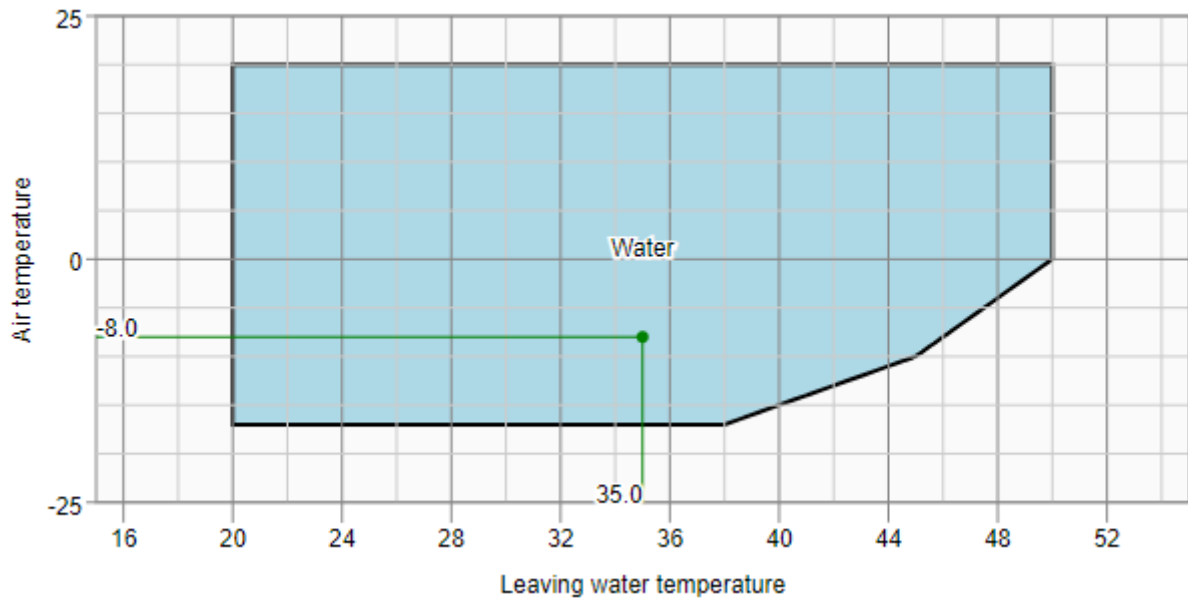


Components	
M1/M2	Tandem scroll compressors
RV1	Cycle reversing valve
OF1/OF2	Outdoor fan motor
3	Air cooled condenser
4	Filter drier
5	Sight glass
6	Thermostatic expansion valve
7	Liquid receiver
8	Plate heat exchanger
↓	Pressure tapping point 5/16"

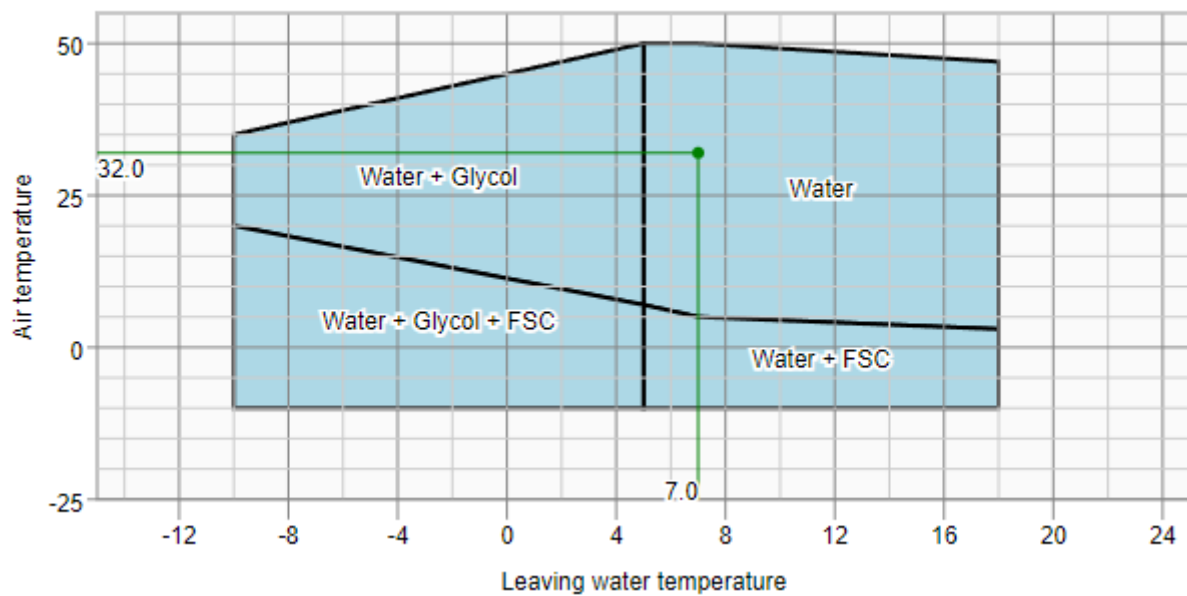
Safety/control devices	
FCP	High pressure transducer
HP	High pressure switch
CDT	Discharge temperature sensor
FPE	Low pressure transducer
PS	Expansion valve pressure tap
T	Expansion valve bulb
OAT	Outdoor air temperature sensor
OCT	Condenser outlet temperature sensor
OCT1	Models 65 to 125
OCT2	Models 65 to 125

Slika 3.7. Shema dizalice topline [11]

Na Slikama 3.8. i 3.9. su prikazani dijagrami izlazne temperature vode u odnosu na vanjski zrak prilikom grijanja i hlađenja, dok su svi podaci dizalice topline, prikazani u *Tablici 3.20*.



Slika 3.8. Dijagram izlazne temperature vode u odnosu na vanjski zrak kod grijanja [11]



Slika 3.9. Dijagram izlazne temperature vode u odnosu na vanjski zrak kod hlađenja [11]



Tablica 3.20. Tehnički podaci dizalice topline [11]

Operating conditions	Cooling	Heating	
Dry bulb outdoor air temperature	32,0	-8,00	°C
Return fluid temperature	12,0	30,0	°C
Leaving fluid temperature	7,00	35,0	°C
Fluid	Water		
Altitude	0		m
Fouling factor	0,044		

Performance	Cooling	Heating	
Capacity	47,1	40,9	kW
Integrated capacity (including defrost cycles)	-	37,2	kW
Power input	15,5	12,9	kW
Full load efficiency (EER/COP)	3,04	3,17	
Integrated full load efficiency (including defrost cycles)	-	2,88	
Energy efficiency class (EER/SCOP)	C	A+	
$\eta_{sc}/\eta_{sh}$	165	132	
Seasonal efficiency (SEER/SCOP)*	4,20	3,38	
Seasonal efficiency (ESEER)	3,87	-	

\* SEER : According to commission regulation (EU) N° 2281/2016 for comfort chillers

SCOP : According to commission regulation (EU) N° 813/2013 for low temperature heat pumps

N (°)	PL (%)	TIN (°C)	TOUT (°C)	OAT (°C)	Cc (kW)	Cpi (kW)	EER
1	100	12,0	7,00	35,0	44,3	15,9	2,78
2	75	$\chi^{***}$	7,00	30,0	34,6	11,2	3,09
3	50	$\chi^{***}$	7,00	25,0	24,9	6,28	3,96
4	25	$\chi^{***}$	7,00	20,0	13,9	3,17	4,39

General data	Value	
Power supply (V/Ph/Hz)	400/3+N/50	
Capacity steps (%)	0/50/100	
Startup current	134	A
Maximum running current	41,0	A
Maximum input power	18,8	kW
Number of refrigerating circuits	1	
Refrigerant	R410A	
Refrigerant charge for the unit	14,00	kg

### 3.3.2. Dizalica topline za etažni sustav

Za sustav etažnog grijanja odabrana je dizalica topline Panasonic Aquarea KIT-ADC09L3E5. Neke od karakteristika ove dizalice topline su:

1. male dimenzije unutarnje jedinice, točnije 598 x 600 mm.
2. koristi rashladno sredstvo R32 te je ocijenjena ocjenom A+++ za razred energetske učinkovitosti
3. sadrži spremnik za vodu od nehrđajućeg čelika – 185 l
4. radi na temperaturama i do -20 °C
5. *cloud* upravljanje i servisiranje s CZ-TAW1
6. ugrađeni magnetni filtar za vodu i mjerac protoka za automatski ventil za ispušni zrak.

Na *Slici 3.10.* su prikazane unutarnja i vanjska jedinica navedene dizalice, dok su tehnički podaci prikazani u *Tablicama 3.21.* i *3.22.*



*Slika 3.10. Unutarnja i vanjska jedinica dizalice topline Panasonic Aquarea KIT-ADC09L3E5 [11]*

Tablica 3.21. Prvi dio tehničkih specifikacija dizalice topline Panasonic Aquarea KIT-ADC09L3E5 [11]

Aquarea High Performance All in One Compact generacije J, jednofazna · R32		Jednofazno (napajanje unutarnje jedinice)	
		9 kW	
Kit		KIT-ADC09J3E5C-1	
Heating capacity (A +7°C, W 35°C)	kW	9,00	
COP (A +7°C, W 35°C)		4,48	
Heating capacity (A +7°C, W 55°C)	kW	8,95	
COP (A +7°C, W 55°C)		2,78	
Heating capacity (A +2°C, W 35°C)	kW	7,00	
COP (A +2°C, W 35°C)		3,40	
Heating capacity (A +2°C, W 55°C)	kW	6,30	
COP (A +2°C, W 55°C)		2,16	
Heating capacity (A -7°C, W 35°C)	kW	6,12	
COP (A -7°C, W 35°C)		2,78	
Heating capacity (A -7°C, W 55°C)	kW	5,90	
COP (A -7°C, W 55°C)		1,93	
Cooling capacity (A 35°C, W 7°C)	kW	8,20	
EER (A 35°C, W 7°C)		2,72	
Cooling capacity (A 35°C, W 18°C)	kW	9,00	
EER (A 35°C, W 18°C)		4,18	
Heating average climate. Seasonal energy efficiency (W 35°C / W 55°C)	ηs %	193 / 130	
Heating average climate. Seasonal energy efficiency (W 35°C / W 55°C)	SCOP	4,90 / 3,32	
Heating average climate. Energy class (W 35°C / W 55°C) (1)	A+++ to D	A+++ / A++	
Heating warm climate. Seasonal energy efficiency (W 35°C / W 55°C)	ηs %	227 / 160	
Heating warm climate. Seasonal energy efficiency (W 35°C / W 55°C)	SCOP	5,75 / 4,07	
Heating warm climate. Energy class (W 35°C / W 55°C) (1)	A+++ to D	A+++ / A+++	
Heating cold climate. Seasonal energy efficiency (W 35°C / W 55°C)	ηs %	164 / 116	
Heating cold climate. Seasonal energy efficiency (W 35°C / W 55°C)	SCOP	4,18 / 2,98	
Heating cold climate. Energy class (W 35°C / W 55°C) (1)	A+++ to D	A++ / A+	
Indoor unit		WH-ADC0309J3E5C	
Indoor sound pressure (Heat)	dB(A)	28	
Indoor sound pressure (Cool)	dB(A)	28	
Indoor dimension (Height)	mm	1650	
Indoor dimension (Width)	mm	598	
Indoor dimension (Depth)	mm	600	

Tablica 3.22. Drugi dio tehničkih specifikacija dizalice topline Panasonic Aquarea KIT-ADC09L3E5 [11]

<b>Aquarea High Performance All in One Compact generacije J, jednofazna · R32</b>		<b>Jednofazno (napajanje unutarnje jedinice)</b>
		<b>9 kW</b>
Indoor net weight	kg	—
Water pipe connector	Inch	R 1¼
A class pump (Number of speeds)		Variable Speed
A class pump (Input power Min)	W	30
A class pump (Input power Max)	W	120
Heating water flow ( $\Delta T=5$ K, 35°C)	L/min	25,80
Capacity of integrated electric heater	kW	3,00
Indoor recommended fuse	A	25 / 16
Recommended cable size, supply 1	mm <sup>2</sup>	3 x 2,5
Recommended cable size, supply 2	mm <sup>2</sup>	3 x 1,5
Water volume	L	185
Maximum water temperature	°C	65
Material inside tank		Stainless steel
Tapping profile according EN16147		L
DHW tank ERP average climate efficiency rating (2)	A+ to F	A+
DHW tank ERP warm climate efficiency rating (2)	A+ to F	A+
DHW tank ERP cold climate efficiency rating (2)	A+ to F	A
DHW tank ERP average climate $\eta$	$\eta_{wh}$ %	120
DHW tank ERP average climate SCOP		3,00
DHW tank ERP warm climate $\eta$	$\eta_{wh}$ %	140
DHW tank ERP warm climate SCOP		3,50
DHW tank ERP cold climate $\eta$	$\eta_{wh}$ %	99
DHW tank ERP cold climate SCOP		2,47
Outdoor unit		WH-UD09JE5-1
Outdoor sound power part load (Heat) (3)	dB(A)	59
Outdoor sound power full load (Heat)	dB(A)	69
Outdoor sound power full load (Cool)	dB(A)	69
Outdoor dimension (Height)	mm	795
Outdoor dimension (Width)	mm	875
Outdoor dimension (Depth)	mm	320
Outdoor net weight	kg	61
Refrigerant (R32) / CO2 Eq.	kg / T	1,27 / 0,857
Pipe diameter (Liquid)	Inch (mm)	1/4 (6,35)
Pipe diameter (Gas)	Inch (mm)	5/8 (15,88)
Pipe length range	m	3 – 50
Elevation difference (in/out)	m	30
Pipe length for additional gas	m	10
Additional gas amount	g/m	25
Operation range (Outdoor ambient)	°C	-20 – +35

### 3.4. Spremnik PTV

Svaki sustav tople vode za kućanstvo sastoji se od istih osnovnih dijelova, odnosno generatora topline, cijevi te trošila. Maksimalna temperatura PTV-a na mjestu potrošnje je 45 °C, kako bi se izbjegli dodatni energetske troškovi zagrijavanja vode te također pojave korozije i kamenca koji su uvjetovani tvrdoćom vode, međutim, temperatura spremnika mora biti 60 °C zbog uništavanja bakterije Legionelle.

Proračun sustava za pripremu potrošne tople vode proveden je prema Viessmannovim uputama [1] za projektiranje spremnika potrošne tople vode. [12] Prije svega je bitno definirati za koliko ljudi je stambena jedinica namijenjena, popisati sva trošila te njihov zahtjev količine potrošnje po korištenju, kao i gubitak topline. Za dimenzioniranje instalacija sa zagrijavanjem pitke vode potrebno je uzeti u obzir dva načela: Iz higijenskih razloga volumen instalacije sa zagrijavanjem pitke vode potrebno je dimenzionirati tako da je što manji, međutim, udobnosti radi on ipak mora biti velik, onoliko koliko je to potrebno. U praksi se u tu svrhu primjenjuju različiti pristupi: Za stambene zgrade dimenzioniranje se često vrši prema normi DIN 4708, Dio 2. Pritom se određuje karakteristična znamenka potrebe  $N$  uzimajući u obzir sanitarnu opremu pojedinih stanova/stambenih jedinica, broj stanara/broj korisnika i faktora istodobnosti potrošnje. Kao što smo već naveli, zgrada se sastoji od četiri stana od pet prostorija (skupina 1), te od tri stana od šest prostorija (skupina 2). Skupina 3 po broju prostorija jednaka je skupini 1, pa ćemo u proračunu taj stan poistovjetiti s prvom skupinom stanova. Kako bismo izračunali potreban volumen spremnika, prvo je potrebno izračunati potrebnu toplinu za zagrijavanje pitke vode koje se računa na način da pomnožimo broj trošila s potrošenom toplinom tog trošila te potom potrošne topline svih trošila zbrojimo kao što smo prikazali u *Tablici 3.23*.

*Tablica 3.23. Potrošnja topline po trošilima*

Vrsta stana	Potrošno mjesto	n	$Q_{h,max}$ , kWh	$n \times Q_{h,max}$ , kWh
5-soban stan	Velika kada	5	8,72	43,6
6-soban stan	Velika kada	3	8,72	26,16
	Kabina za tuširanje	3	3,66	10,98
<b><math>\Sigma (n \times Q_{h,max}) = 80,74 \text{ kWh}</math></b>				

Nakon što smo izračunali potrošnju topline po potrošnom mjestu, računamo potreban volumen spremnika  $V$  prema formuli (3.6):

$$V = \frac{800 \cdot \Sigma n \cdot Q_{h.max} \cdot \varphi_n \cdot \varphi_2 \cdot Z_A}{(Z_A + Z_B) \cdot (\vartheta_{spr} - \vartheta_{hv}) \cdot a} \quad (3.6)$$

Gdje je:

$V$	volumen spremnika PTV-a, l
$n$	broj prostorija s istim zahtjevom potrošnje, /
$Q_{h.max}$	zahtjev potrošnje po potrošnom mjestu, kWh
$\varphi_n$	faktor istovremenosti koji ovisi o broju prostorija $n$ , /
$\varphi_2$	faktor načina života, /
$Z_A$	vrijeme koje stoji na raspolaganju za zagrijavanje vode, h
$Z_B$	trajanje najveće potrebe za toplom vodom, h
$\vartheta_{spr}$	akumulacijska temperatura vode u spremniku, °C
$\vartheta_{hv}$	ulazna temperatura vode iz vodovoda u spremnik, °C
$a$	faktor kojim se uzima u obzir stanje napunjenosti spremnika, /.

Uvrštavanjem parametara iz *Tablice 3.34.* u formulu (3.6) dobivamo potreban volumen spremnika od 1119,94 l. Pošto je spremnik potrebno odabrati iz kataloga standardiziranih veličina proizvođača, odabiremo spremnik Bosch AH 1500 UNO Acu Heat, zapremnine 1500 l koji je prikazan na *Slici 3.11.*, dok su tehničke karakteristike prikazane u *Tablici 3.25.* U spremnik ćemo također ugraditi elektrogrijač za dogrijavanje sa termostatom, 12 kW, 440V, 6/4".

Tablica 3.24. Parametri proračuna za volumen spremnika PTV-a

$Z_a, \text{ h}$	2
$Z_b, \text{ h}$	2
$\vartheta_{spr}, \text{ }^\circ\text{C}$	60
$\vartheta_{hv}, \text{ }^\circ\text{C}$	13,5
$a, /$	0,8
$\varphi_n, /$	1
$\varphi_2, /$	1,2



Slika 3.11. Spremnik Bosch AH 1500 UNO Acu Heat [13]

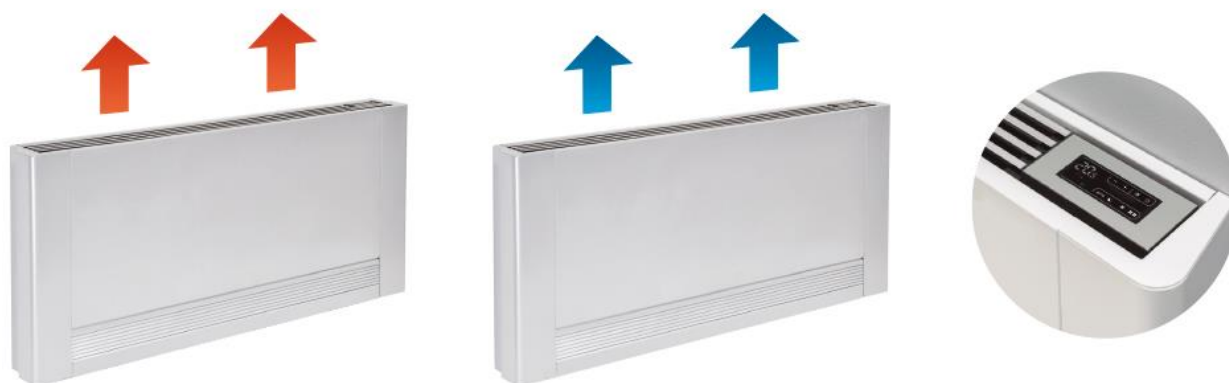
Tablica 3.25. Tehničke karakteristike odabranog spremnika [13]

Karakteristike
- S jednim izmjenjivačem
- S montiranim pokazivačem temperature
- S otvorima TS1, TS2, TS3 za ugradnju temperaturnih osjetnika kotlovske vode
- Mogućnost instaliranja elektrogrijača
- Dvije prirubnice
- Zaštita unutarnje površine spremnika od korozije magnezijском anodom
- Vanjski termoindikator
- Sigurnosni ventil
- Vanjski plastični poklopac
- Pristup unutrašnjosti preko prirubnice koja se lako skida
- Recirkulacija
Tehnički podaci
- Visina: 2061 mm
- Promjer: 1200 mm
- Nazivna zapremnina: 1500 l
- Stvarna zapremnina: 1455 l
- Težina: 382 kg
- Izolacija: 100 mm
- Zapremnina izmjenjivača topline: 31,4 l
- Maksimalna radna temperatura: 95 °C
- Maksimalna radna temperatura izmjenjivača topline: 110 °C
- Radni tlak spremnika vode: 8 bar
- Radni tlak izmjenjivača topline: 6 bar



### 3.5. Ventilokonvektori

Kao što je već ranije navedeno, za hlađenje će se koristiti ventilokonvektori. Odabrani su na temelju proračuna toplinskog opterećenja za svaku prostoriju. Odabrani su ventilokonvektori proizvođača Panasonic, iz linije pametnih ventilokonvektora koji su prikazani na *Slici 3.12*. Izabrani su ventilokonvektori od tri različita rashladna učina: 0,3 kW, 1 kW i 1,8 kW. Neke od prednosti ovih ventilokonvektora su kompaktnost, funkcija odvlaživanja, četiri načina rada (automatski, tihi, noćni i maksimalna brzina ventilacije) te termostat s dodirnim zaslonom. Popis odabranih ventilokonvektora, kao i njihovih specifikacija, prikazan je u *Tablici 3.26*.



*Slika 3.12. Panasonic pametni ventilokonvektori*

*Tablica 3.26. Tehničke specifikacije odabranih ventilokonvektora*

Naziv	Učin hlađenja, kW	Protok zraka, m <sup>3</sup> /min	Dimenzije, V x Š x D, mm	Masa, kg	Broj komada
PAW-AAIR-200-2	0,3	2,7	735 x 579 x 129	17	7
PAW-AAIR-700-2	1	5,3	935 x 579 x 129	20	21
PAW-AAIR-1100-2	1,8	9,6	1335 x 579 x 129	26	14

### 3.6. Klima uređaji

Za rješenje hlađenja kod etažnog sustava odabrana je izvedba s klima uređajima. Ovisno o toplinskom opterećenju, odabrali smo različite unutarnje i vanjske jedinice proizvođača Panasonic tipova CS-MTZ16ZKE, CS-TZ20ZKEW, CSTZ25ZKEW, CS-TZ42ZKEW, CS-TZ60ZKEW, CU-2Z50TBE i CU-3Z52TBE. Neke od karakteristika ovih modela klima uređaja su:

1. tehnologija Nanoe™ obogaćena s hidroksilnim radikalima
2. daljinski upravljač za jednostavnu upotrebu
3. ugrađeni Wi-Fi za trenutno povezivanje.

Na *Slici 3.13.* je prikazana unutarnja i vanjska jedinica, dok su tehničke specifikacije prikazane u *Tablicama 3.27.* i *3.28.*



*Slika 3.13. Unutarnja i vanjska jedinica odabranog Panasonic klima uređaja*

Tablica 3.27. Tehnički podaci odabranih unutarnjih jedinica

NOVO Iznimno kompaktna zidna jedinica TZ	Unutarnja jedinica	Nazivni kapacitet		Spoj unutarnja/vanjska mm'	Dimenzije / neto težina mm / kg	Promjer cijevi Tekućina/plin Inči (mm)
		Hlađenje	Grijanje			
		kW	kW			
1,6 kW	CS-MTZ16ZKE	1,60	2,60	4 x 1,5	290 x 779 x 209 / 8	1/4 (6,35) / 3/8 (9,52)
2,0 kW	CS-TZ20ZKEW	2,00	3,20	4 x 1,5	290 x 779 x 209 / 8	1/4 (6,35) / 3/8 (9,52)
2,5 kW	CS-TZ25ZKEW	2,50	3,60	4 x 1,5	290 x 779 x 209 / 8	1/4 (6,35) / 3/8 (9,52)
3,5 kW <sup>1)</sup>	CS-TZ35ZKEW	3,50	4,50	4 x 1,5	290 x 779 x 209 / 8	1/4 (6,35) / 3/8 (9,52)
4,2 kW	CS-TZ42ZKEW	4,20	5,60	4 x 1,5	290 x 779 x 209 / 8	1/4 (6,35) / 1/2 (12,70)
5,0 kW	CS-TZ50ZKEW	5,00	6,80	4 x 2,5	290 x 779 x 209 / 8	1/4 (6,35) / 1/2 (12,70)
6,0 kW	CS-TZ60ZKEW	6,00	8,50	4 x 2,5	295 x 1040 x 244 / 12	1/4 (6,35) / 1/2 (12,70)
7,1 kW	CS-TZ71ZKEW	7,10	8,70	4 x 2,5	295 x 1040 x 244 / 13	1/4 (6,35) / 5/8 (15,88)

Tablica 3.28. Tehnički podaci odabranih vanjskih jedinica

Vanjska jedinica		Nazivni kapacitet		SEER A+++ do D	SCOP A+++ do D	Dimenzije <sup>1)</sup> mm	Težina kg
		Hlađenje	Grijanje				
		kW	kW				
3,2-6,0 kW	CU-2Z35TBE	3,50	4,20	8,50 A+++	4,60 A++	619 x 824 x 299	39
3,2-6,0 kW	CU-2Z41TBE	4,10	4,60	8,50 A+++	4,60 A++	619 x 824 x 299	39
3,2-7,7 kW	CU-2Z50TBE	5,00	5,60	8,50 A+++	4,60 A++	619 x 824 x 299	39
4,5-9,5 kW	CU-3Z52TBE	5,20	6,80	8,50 A+++	4,20 A+	795 x 875 x 320	71
4,5-11,2 kW	CU-3Z68TBE	6,80	8,50	8,00 A++	4,20 A+	795 x 875 x 320	71
4,5-11,5 kW	CU-4Z68TBE	6,80	8,50	8,00 A++	4,20 A+	795 x 875 x 320	72
4,5-14,7 kW	CU-4Z80TBE	8,00	9,40	7,90 A++	4,70 A++	999 x 940 x 340	80
4,5-18,3 kW	CU-5Z90TBE	9,00	10,40	8,50 A+++	4,68 A++	999 x 940 x 340	81

### 3.7. Tehno-ekonomska analiza centralnog i etažnog sustava

Kako bismo odabrali optimalan sustav za stambenu zgradu, potrebno je provesti tehno-ekonomsku analizu koja će nam dati detaljne rezultate. Etažni termotehnički sustav je praktičniji zbog jednostavnosti održavanja, no cilj ovog projekta je napraviti ekonomski najpovoljniji sustav. Proračun godišnje potrošnje energije za grijanje i hlađenje proveli smo u programskom paketu *KI Expert Plus* koji svoj proračun temelji na normi HRN EN ISO 13790. Ovim proračun ćemo doći do podataka koji su nam relevantni za projektiranje fotonaponskog sustava, koji nam je bitan radi povećanja razine energetske samodostatnosti stambene zgrade. Ekonomsku analizu smo proveli na način da smo prikupili cijene svih uređaja oba termotehnička sustava te potom izračunali ukupne investicijske troškove.

#### 3.7.1. Proračun godišnje energetske potrošnje

Za provedbu proračuna energetske potrošnje, u programskom paketu *KI Expert Plus* potrebno je definirati meteorološke uvjete za promatranu lokaciju, dimenzije objekta, građevne dijelove te sve otvore na objektu (prozori i vrata) kao i njihovu zaštitu protiv sunčeva zračenja. Nakon provedbe proračuna potrebne energije zgrade, program automatski generira energetski certifikat zgrade koji je prikazan na *Slici 3.14*. Energetski certifikat je dokument koji predoduje energetska svojstva zgrade, a radnje koje pomoću kojih određujemo energetski razred uključuju: energetski pregled zgrade, potrebne proračune za referentne klimatske podatke za iskazivanje specifične godišnje potrebne toplinske energije za grijanje, specifične godišnje potrebne toplinske energije za hlađenje, specifične godišnje isporučene energije, specifične godišnje primarne energije i specifične godišnje emisije CO<sub>2</sub>. U *Tablici 3.29* su prikazane granice energetskih razreda na temelju kojih se određuje energetska učinkovitost tako da je A+, energetski najučinkovitiji objekt, dok je G, najmanje energetski učinkovit objekt.  $Q''_{H,nd}$  predstavlja specifičnu godišnju potrebnu energiju za grijanje u kWh/(m<sup>2</sup>a).

Tablica 3.29. Klasifikacija energetske razreda

Energetski razred	$Q''_{H,nd}$ , kWh/(m <sup>2</sup> a)
A+	≤ 15
A	≤ 25
B	≤ 50
C	≤ 100
D	≤ 150
E	≤ 200
F	≤ 250
G	≥ 250

## ENERGETSKI CERTIFIKAT ZGRADE

prema Pravilniku o energetskom pregledu zgrade i energetskom certificiranju (NN 88/17, 90/20, 1/21, 45/21)

### Stambena zgrada


*Naziv zgrade*

### Stambeni dio


*Naziv samostalne uporabne cjeline zgrade*

**Rijeka**

*Ulica i kućni broj*      *Poštanski broj*      *Mjesto*



PODACI O ZGRADI	<input checked="" type="checkbox"/> nova <input type="checkbox"/> postojeća <input type="checkbox"/> rekonstrukcija		
Vrsta zgrade (prema Pravilniku)	Višestambene zgrade		
Vrsta zgrade prema složenosti tehničkih sustava	Zgrada s jednostavnim tehničkim sustavom		
Vlasnik / investitor			
k.č.br.		k.o.	
Ploština korisne površine grijanog dijela zgrade $A_k$ [m <sup>2</sup> ]	680,20	Godina izgradnje / rekonstrukcije	0
Građevinska (bruto) površina zgrade [m <sup>2</sup> ]	2715,56	Mjerodavna meteorološka postaja	Rijeka
Faktor oblika $f_o$ [m <sup>-1</sup> ]	0,88	Referentna klima	Primorska

ENERGETSKI RAZREDI ZGRADE	Specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje $Q''_{H,nd}$ [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	Specifična godišnja primarna energija $E_{prim}$ [kWh/(m <sup>2</sup> a)]
	<div style="background-color: #2e7d32; color: white; padding: 5px; display: inline-block;">B 25,07</div>	<div style="background-color: #2e7d32; color: white; padding: 5px; display: inline-block;">A+ 41,65</div>

Slika 3.14. Energetski certifikat zgrade

Nakon definiranja svih fizikalnih parametara zgrade, potrebno je definirati termotehničke sustave. Posebno smo definirali etažni, a posebno centralni. Program nam potom računa vrijednosti  $E_{prim}$  (godišnja primarna energija u kWh),  $E_{del}$  (godišnja isporučena energija u kWh) te godišnju emisiju CO<sub>2</sub> u kg. Usporedba ovih čimbenika je prikazana u *Tablici 3.30*.

*Tablica 3.30. Usporedba godišnje energetske potrošnje te emisije CO<sub>2</sub>*

Centralno			Etažno		
$E_{del}$ , kWh	$E_{prim}$ , kWh	CO <sub>2</sub> , kg	$E_{del}$ , kWh	$E_{prim}$ , kWh	CO <sub>2</sub> , kg
17290,36	27906,63	4059,95	26307,04	42169,03	4404,74

Iz tablice je vidljivo kako etažni termotehnički sustav iziskuje veće energetske troškove, točnije 52 % za isporučenu energiju i primarnu energiju te 9 % veću emisiju CO<sub>2</sub>.

### 3.3.2. Ekonomska analiza sustava

Za provedbu ekonomske analize sustava, bilo je potrebno prikupiti cijene svih uređaja kod oba sustava. Za izradu termotehničkog sustava odabrani su uređaji proizvođača Panasonic te su cijene svih uređaja navedene s PDV-om. U oba slučaja koristimo podno grijanje te ukupna cijena podnog grijanja za 672,1 m<sup>2</sup> iznosi 33.605 €, međutim, pošto bi u slučaju etažnog sustava svaki stan koristio zasebnu dizalicu topline, tako se cijena sustava razlikuje upravo zbog dizalica topline kao što je prikazano u *Tablici 3.31*. Kao što je ranije navedeno, za etažni sustav hlađenja smo odabrali multi split klima uređaje, dok smo za centralni sustav odabrali ventilokonvektore te je prikaz troškova za oba slučaja prikazan u *Tablicama 3.32. i 3.33.*

Tablica 3.31. Usporedba cijena dizalica topline kod etažnog i centralnog sustava

Etažni sustav grijanja			
	Dizalica topline	Cijena po jedinici	Ukupno
Stan 1 (4 komada)	KIT-ADC09L3E5	10.398 €	41.592 €
Stan 2 (3 komada)	KIT-ADC09L3E5	10.398 €	31.194 €
Stan 3 (1 komad)	KIT-ADC09L3E5	10.398 €	10.398 €
Klub stanara	KIT-ADC09L3E5	10.398 €	10.398 €
Igraonica	KIT-ADC09L3E5	10.398 €	10.398 €
<b>Ukupni troškovi</b>			<b>103.980 €</b>
Centralni sustav grijanja			
Svi stanovi	U-065CW	18.144 €	18.144 €
<b>Ukupni troškovi</b>			<b>18.144 €</b>

Tablica 3.32. Ukupna cijena klima uređaja

Učin	Komada po stanu	Cijena po jedinici	Ukupna cijena
Stan 1 (ukupno 4 stana)			
1,6 kW	2	298 €	596 €
2 kW	1	302 €	302 €
5,2 kW	1	2.004 €	2.004 €
Stan 2 (ukupno 3 stana)			
1,6 kW	3	298 €	894 €
2,5 kW	1	330 €	330 €
8 kW	1	3.063 €	3.063 €
Stan 3 (ukupno 1 stan)			
1,6 kW	2	298 €	596 €
2 kW	1	302 €	302 €
5,2 kW	1	2.004 €	2.004 €
Klub stanara			
4,2 kW	1	499 €	499 €
5 kW	1	1.636 €	1.636 €
Igraonica			
5 kW	1	562 €	562 €
5 kW	1	1.636 €	1.636 €
<b>Ukupni troškovi</b>			<b>31.704 €</b>

Tablica 3.33. Ukupna cijena ventilokonvektora

Učin	Komada po stanu	Cijena po jedinici	Ukupna cijena
Stan 1 (ukupno 4 stana)			
0,3 kW	1	967 €	967 €
1 kW	2	1.054 €	2.108 €
1,8 kW	1	1.486 €	1.486 €
Stan 2 (ukupno 3 stana)			
0,3 kW	1	967 €	967 €
1 kW	4	1.054 €	4.216 €
1,8 kW	1	1.486 €	1.486 €
Stan 3 (ukupno 1 stan)			
1 kW	1	1.054 €	1.054 €
1,8 kW	2	1.486 €	2.972 €
Klub stanara			
1,8 kW	2	1.486 €	2.972 €
Igraonica			
1,8 kW	3	1.486 €	4.458 €
<b>Ukupni troškovi</b>			<b>49.707 €</b>

Kako bismo dobili kompletan uvid u troškove svakog sustava, potrebno je unijeti i cijene spremnika PTV-a te njegovog elektrogrijača kod centralnog sustava te je potom moguće napraviti potpunu usporedbu troškova koja je prikazana u *Tablici 3.34*.

Tablica 3.34. Ukupni troškovi uređaja sustava

Centralni sustav	
Uređaj	Cijena
Podno grijanje	33.605 €
Dizalica topline	18.144 €
Ventilokonvektori	49.707 €
Spremnik PTV	2.340 €
Elektrogrijač spremnika	537 €
<b>Ukupni troškovi</b>	<b>104.333 €</b>
Etažni sustav	
Uređaj	Cijena
Podno grijanje	33.605 €
Dizalice topline	103.980 €
Klima uređaji	31.704 €
<b>Ukupni troškovi</b>	<b>169.289 €</b>

Na temelju provedene tehno-ekonomske analize, odabran je centralni sustav.



## 4. ENERGETSKA SAMODOSTATNOST

Cilj ovog diplomskog rada je također odabir električnih generatora s ciljem postizanja što više razine samodostatnosti. Kako bismo pravilno mogli dimenzionirati sustav generiranja električne energije, prvo je potrebno izračunati sve troškove električne energije. Za generaciju električne energiju su odabrani fotonaponski moduli, a ideja samog sustava se temelji na skladištenju električne energije u baterije kada nema dovoljno sunčevog zračenja za generaciju energije.

### 4.1. Godišnji troškovi električne energije

Dio proračuna potrošnje električne energije napravljen je prethodno u programskom paketu *KI Expert Plus*, u kojem smo došli do podatka da zgrada godišnje troši 17290,36 kWh za napajanje generatora toplinske energije. Na ove troškove, potrebno je dodati energiju koja je potrebna za napajanje kućanskih aparata te za napajanje električnih vozila. Podaci dnevne potrošnje električnih uređaja su prikazani u *Tablici 4.1.*

*Tablica 4.1. Dnevna potrošnja električne energije kućanskih aparata [14]*

AC:	Trošila 230 V, 50 Hz	Snaga (W)	Vrijeme uključenosti trošila u danu (h)	Koeficijent: od maksimalne do srednje snage	Potrebna energija (Wh)
1	Perilica suđa	1200	3	0,7	2520
1	Kuhinjska napa	150	1	1	150
1	Hladnjak	100	24	0,1	240
1	Aparat za kavu	750	0,5	0,2	75
1	Radio	40	1	1	40
1	TV	70	1	1	70
1	Perilica rublja	1700	2	0,2	680
1	Led rasvjeta 230V	500	4	1	2000
1	Ostalo na 230 VAC	200	5	1	1000
Maksimalna snaga (W)		4710	Ukupna energija (Wh):		6775

Nakon izračuna dnevne potrošnje električne energije za jedan stan, dolazimo do godišnje potrošnje energije za jedan stan koja iznosi 2472,86 kWh. Množenjem s osam stanova, dolazimo do konačne vrijednosti od 19783 kWh. Za izračun troškova napajanja električnih vozila, računali smo da se u zgradi nalazi 1,5 automobil po stanu, odnosno, dvanaest automobila na cijelu zgradu. Podatke o potrošnji smo uzeli na temelju Renault Zoe R135 Z.E. 50 Intens, koja iznosi 19 kWh/100 km. Vozači osobnih automobila, godišnje prijeđu 12000 kilometara, stoga potrošnja za napajanje svih vozila iznosi 27360 kWh. [15] Zbroj svih troškova potrošnje električne energije prikazan je u *Tablici 4.2.*

*Tablica 4.2. Godišnja potrošnja električne energije*

Potrošnja	Iznos, kWh
Potrošnja energije termotehničkog sustava	17290,36
Kućanski aparati	19783
Napajanje vozila	27360
<b>Ukupna godišnja električna potrošnja</b>	<b>64433,36</b>

## 4.2. Proračun fotonaponske elektrane

Svi bitni meteorološki podaci su prikupljeni sa stranica DMHZ-a za godinu 2022. Temperatura zraka, dozračena sunčeva energija na vodoravnu plohu te efektivni sati sijanja sunca dnevno prikazani su u *Tablicama 4.3., 4.4. i 4.5.*

*Tablica 4.3. Prosječna mjesečna temperatura zraka [16]*

Mjesec	Temperatura, °C
I	5,8
II	6,3
III	9
IV	12,8
V	17,2
VI	21
VII	23,6
VIII	23,4
IX	19,2
X	14,6
XI	10,3
XII	7

*Tablica 4.4. Prosječna mjesečna dozračena energija [16]*

Mjesec	Dozračena energija, kWh/m <sup>2</sup> d
I	1,29
II	2,23
III	3,23
IV	4,55
V	5,61
VI	6,12
VII	6,32
VIII	5,23
IX	4,00
X	2,72
XI	1,44
XII	1,09

Tablica 4.5. Efektivni sati sijanja sunca dnevno [16]

Mjesec	Efektivni sati sijanja sunca dnevno, h
I	3,4
II	4,3
III	4,8
IV	5,9
V	7,4
VI	8,4
VII	9,5
VIII	8,7
IX	7
X	5,8
XI	3,4
XII	3,1

Odlučivši iskoristiti više energije tijekom zimskog perioda godine, bitno je definirati optimalni nagib modula u odnosu na vodoravnu ravninu. Unijevši sve bitne meteorološke podatke, izračunali smo dozračenu energiju na površinu kolektora te odredili nagib kolektora  $35^\circ$  kako bismo dobili optimalnu dnevnu gustoću energije ukupnog zračenja. Ukupnu energiju zračenja Sunca računamo prema formuli (4.1):

$$G_0 = G_I + G_D \quad (4.1)$$

Gustoća ekstraterestičkoga zračenja na zamišljenu plohu okomito na sunčeve zrake iznosi:

$$G_{LE} = G_S \cdot \left( 1 + 0,033 \cdot \cos \frac{360n}{365} \right) \quad (4.2)$$

Gustoća jakosti ekstraterestičkoga zračenja na zamišljenu vodoravnu plohu iznosi:

$$G_{0E} = G_{LE} \cdot \cos \alpha \quad (4.3)$$

$$\cos \alpha = \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega + \sin \delta \cdot \sin \varphi \quad (4.4)$$

$$\delta = 23,45 \cdot \sin \left( 360 \cdot \frac{284 + n}{365} \right) \quad (4.5)$$

Faktor  $K_t$  računamo na sljedeći način:

$$K_t = \frac{G_0}{G_{0E}} \quad (4.6)$$

Dok faktor  $K_d$  dobivamo:

$$K_d = \frac{G_D}{G_0} \quad (4.7)$$

Raspršeno zračenje na vodoravnu plohu iznosi:

$$G_D = K_d \cdot G_0 \quad (4.8)$$

Izravno zračenje na vodoravnu plohu iznosi:

$$G_I = G_0 - G_D \quad (4.9)$$

Omjer gustoća izravna Sunčeva zračenja na proizvoljno orijentiranu i na vodoravnu plohu iznosi:

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \alpha}$$

$$= \frac{\sin \delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \beta - \sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \beta \cdot \cos \omega}{\cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega + \sin \delta \cdot \sin \varphi} \quad (4.10)$$

$$+ \frac{\cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega}{\cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega + \sin \delta \cdot \sin \varphi}$$

Dnevna gustoća energije ukupnoga zračenja na proizvoljno postavljenu plohu određuje se prema izrazu:

$$G = G_I \cdot R_b + G_D \cdot \frac{1 + \cos \beta}{2} + G_{or} \cdot \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad (4.11)$$

Tablica 4.6. Dozračena energija na površini kolektora

Mjesec	$G_0$ kWh/m <sup>2</sup> d	$G_{0e}$ kWh/m <sup>2</sup> d	$Kt$	$Kd$	$G_D$ kWh/m <sup>2</sup> d	$G_1$ kWh/m <sup>2</sup> d	$Rb$	$G$ kWh/m <sup>2</sup> d
I	1,29	3,331	0,387	0,775	1,000	0,291	2,233	1,582
II	2,23	4,773	0,468	0,643	1,435	0,797	1,785	2,768
III	3,23	6,914	0,468	0,643	2,079	1,156	1,455	3,631
IV	4,55	9,187	0,495	0,598	2,720	1,826	1,232	4,807
V	5,61	10,865	0,516	0,563	3,160	2,450	1,091	5,648
VI	6,12	11,580	0,529	0,543	3,325	2,796	1,028	6,009
VII	6,32	11,204	0,564	0,485	3,066	3,251	1,057	6,341
VIII	5,23	9,792	0,534	0,534	2,792	2,441	1,173	5,497
IX	4,00	7,676	0,521	0,555	2,222	1,778	1,363	4,518
X	2,72	5,397	0,503	0,585	1,588	1,127	1,658	3,362
XI	1,44	3,647	0,394	0,765	1,097	0,338	2,095	1,732
XII	1,09	2,908	0,376	0,793	0,867	0,226	2,449	1,362

Gdje je:

$G_{LE}$  – gustoća ekstraterestičkoga zračenja na zamišljenu plohu okomito na sunčeve zrake, W/m<sup>2</sup>

$G_S$  - srednja gustoća ozračenja plohe okomite na zračenje pri srednjoj udaljenosti Zemlje od Sunca te iznosi 1367 W/m<sup>2</sup>

$G_0$  – ukupna (globalna) energija zračenja Sunca na Zemljinoj površini, W/m<sup>2</sup>

$G_{0E}$  – gustoća jakosti ekstraterestičkoga zračenja na zamišljenu vodoravnu plohu, W/m<sup>2</sup>

$\alpha$  – kutna zenitna udaljenost, °

$\beta$  – kut nagiba plohe prema vodoravnoj ravnini, °

$\delta$  – kutna Sunčeva deklinacija, °

$\varphi$  – zemljopisna širina lokacije, °

$\theta$  – upadni kut sunčeva zračenja na proizvoljnu plohu, °

$\omega$  – satni kut Sunca, °

$\gamma$  – odklon plohe od smjera juga, °

$Kt$  – indeks propusnosti, čistoće atmosfere

$Kd$  – udio raspršena zračenja na vodoravnu plohu na površini Zemlje u odnosu na ukupno zračenje

$G_D$  – raspršeno zračenje na vodoravnu plohu na površini Zemlje, Wh/m<sup>2</sup>

$G_I$  – izravno zračenje na vodoravnu plohu na površini Zemlje, Wh/m<sup>2</sup>

$G_{0r}$  – reflektirano ukupno zračenje, Wh/m<sup>2</sup>

$R_b$  – omjer gustoća izravna Sunčeva zračenja na proizvoljno orijentiranu i na vodoravnu plohu

$G$  – dnevna gustoća energije ukupnoga zračenja na proizvoljno postavljenu plohu, Wh/m<sup>2</sup>.

Za proračun kolektorskog polja koristili smo online aplikaciju *Sunny Design* [17], preko koje smo dobili sve potrebne podatke kao što su model fotonaponskog modula, broj modula, model invertera, model punionice električnih vozila te financijska isplativost projekta. Za model fotonaponskog modula izabran je Solvis SV72-370E koji je prikazan na *Slici 4.1.*, dok su tehnički podaci modula prikazani u *Tablici 4.7.* Generacija električne energije tijekom mjeseci prikazana je na *Slici 4.2.*



*Slika 4.1. Fotonaponski panel Solvis SV72-370E [18]*

Tablica 4.7. Tehnički podaci fotonaponskog panela Solvis SV72-370E [18]

Electrical parameters at Standard Test Conditions (STC)						OPERATING CONDITIONS			
MODEL		SV72-350 E	SV72-355 E	SV72-360 E	SV72-365 E	SV72-370 E	Temperature range	[°C]	-40 to +85
Peak power $P_{MPP}$	[W]	350	355	360	365	370	Maximum system voltage	[V]	1000
Peak power tolerance	[W]	-0/+4,9					Max. series fuse rating		15A
Short circuit current $I_{SC}$	[A]	9,69	9,74	9,73	9,75	9,78	Limiting reverse current		15A
Open circuit voltage $V_{OC}$	[V]	46,73	47,52	48,17	48,24	48,39	Maximum surface load capacity		5400 Pa (Snow load)
Rated current $I_{MPP}$	[A]	9,16	9,21	9,13	9,20	9,30	Resistance against hail		Max. diameter of 25 mm with impact speed 23 m/s
Rated voltage $V_{MPP}$	[V]	38,43	38,76	39,63	39,69	39,82			
Current and voltage tolerance	[%]	± 3							
Module efficiency	[%]	18,04	18,30	18,55	18,81	19,07			

STC: 1000W/m<sup>2</sup> irradiance, 25 °C cell temperature, AM1, 5 g spectrum according to EN 60904-3  
Average relative efficiency reduction of 3,4 % at 200 W/m<sup>2</sup> according to EN 60904-1

Electrical parameters at Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)						THERMAL CHARACTERISTICS			
MODEL		SV72-350 E	SV72-355 E	SV72-360 E	SV72-370 E	SV72-375 E	Temperature coefficient of $P_{MPP}$	[%/K]	-0,42
Peak power $P_{MPP}$	[W]	256,2	259,8	263,3	265,8	269,5	Temperature coefficient of $I_{SC}$	[%/K]	0,05
Peak power tolerance	[W]	-0/+4,9					Temperature coefficient of $V_{OC}$	[%/K]	-0,33
Short circuit current $I_{SC}$	[A]	7,78	7,82	7,81	7,83	7,85			
Open circuit voltage $V_{OC}$	[V]	43,0	43,7	44,3	44,4	44,5			
Rated current $I_{MPP}$	[A]	7,34	7,38	7,31	7,36	7,45			
Rated voltage $V_{MPP}$	[V]	34,9	35,2	36,0	36,1	36,2			

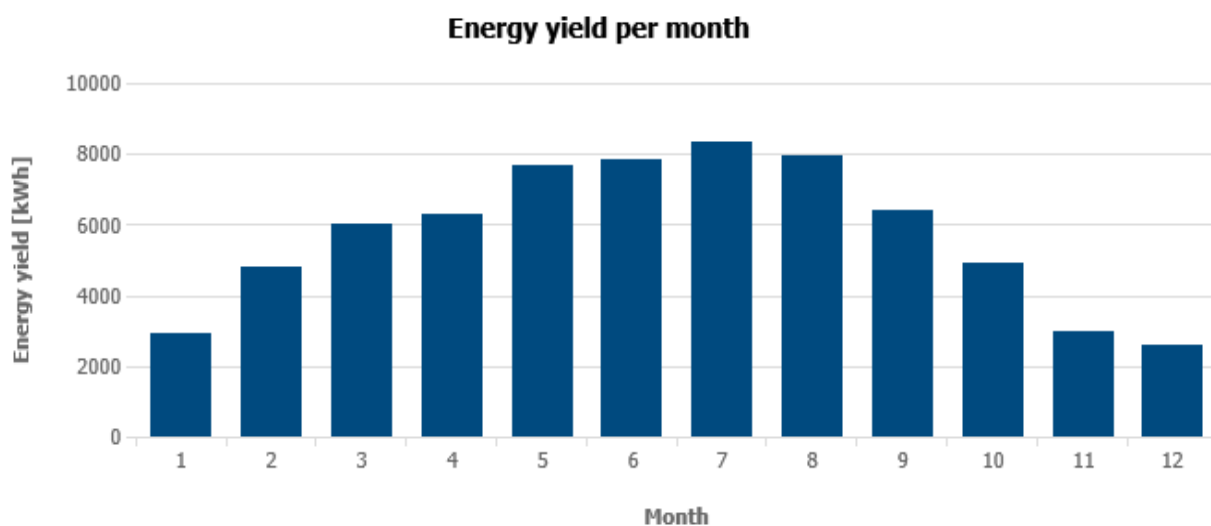
NOCT: module operating parameters at 800 W/m<sup>2</sup> irradiance, 20 °C ambient temperature, 1 m/s wind speed

MECHANICAL DATA	
Dimensions (H x W x D)	[mm] 1956 x 992 x 40
Weight	[kg] 22,5
Solar cells	72 cells, monocrystalline Si (PERC), 156 x 156 mm +/- 1mm
Cells encapsulation	Ethylene vinyl acetate (EVA)
Front	Tempered solar glass, 3,2 mm
Back	Composite polyester Film
Frame	Anodized aluminium frame with twin-wall profile and drainage holes
Junction box	IP67 with 3 Bypass diodes,
Cable and connectors	Solar cable 4 mm <sup>2</sup> , length 1200 mm

I-V CURVES OF PV MODULE(350W)

P-V CURVES OF PV MODULE(350W)





*Slika 4.2. Generacija električne energije po mjesecima [17]*

Nakon odabira tipa modula, programski paket *Sunny Design* nam automatski računa broj modula koji iznosi 140 te generiranu proizvedenu godišnju energiju koja iznosi 68498 kWh. Zatim odabiremo fotonaponske invertore čiji su tehnički podaci prikazani u *Tablicama 4.8. i 4.9.*

Tablica 4.8. Tehnički podaci fotonaponskog invertera STP 50-40/41 [17]

**1 x SMA STP 50-40/41 (CORE1) (PV system section 1)**

Peak power:	39.96 kWp
Total number of PV modules:	108
Number of PV inverters:	1
Max. DC power (cos $\varphi = 1$ ):	51.00 kW
Max. AC active power (cos $\varphi = 1$ ):	50.00 kW
Grid voltage:	230V (230V / 400V)
Nominal power ratio:	128 %
Dimensioning factor:	79.9 %
Displacement power factor cos $\varphi$ :	1
Full load hours:	1053.5 h



**PV design data**

**Input A: PV array 1**

54 x Solvis d.o.o. SV72-370E (05/2019), Azimuth angle: 0 °, Tilt angle: 35 °, Mounting type: Ground mount

**Input B: PV array 1**

36 x Solvis d.o.o. SV72-370E (05/2019), Azimuth angle: 0 °, Tilt angle: 35 °, Mounting type: Ground mount


**Input C: PV array 1**

18 x Solvis d.o.o. SV72-370E (05/2019), Azimuth angle: 0 °, Tilt angle: 35 °, Mounting type: Ground mount

	Input A:	Input B:	Input C:
Number of strings:	3	2	1
PV modules:	18	18	18
Peak power (input):	19.98 kWp	13.32 kWp	6.66 kWp
Inverter min. DC voltage (Grid voltage 230 V):	150 V	150 V	150 V
PV typical voltage:	✓ 671 V	✓ 671 V	✓ 671 V
Min. PV voltage:	633 V	633 V	633 V
Max. DC voltage (PV module):	1000 V	1000 V	1000 V
Max. PV voltage	✓ 955 V	✓ 955 V	✓ 955 V
Inverter max. operating input current per MPPT:	20 A	20 A	20 A
Max. MPP current of PV array:	ⓘ 27.9 A	✓ 18.6 A	✓ 9.3 A
Inverter max. input short-circuit current per MPPT:	30 A	30 A	30 A
PV max. circuit current	✓ 29.3 A	✓ 19.6 A	✓ 9.8 A

Tablica 4.9. Tehnički podaci fotonaponskog invertera STP 15-50 [17]

1 x SMA STP 15-50 (PV system section 2)	
Peak power:	11.84 kWp
Total number of PV modules:	32
Number of PV inverters:	1
Max. DC power (cos $\varphi$ = 1):	15.31 kW
Max. AC active power (cos $\varphi$ = 1):	15.00 kW
Grid voltage:	230V (230V / 400V)
Nominal power ratio:	129 %
Dimensioning factor:	78.9 %
Displacement power factor cos $\varphi$ :	1
Full load hours:	1054.9 h



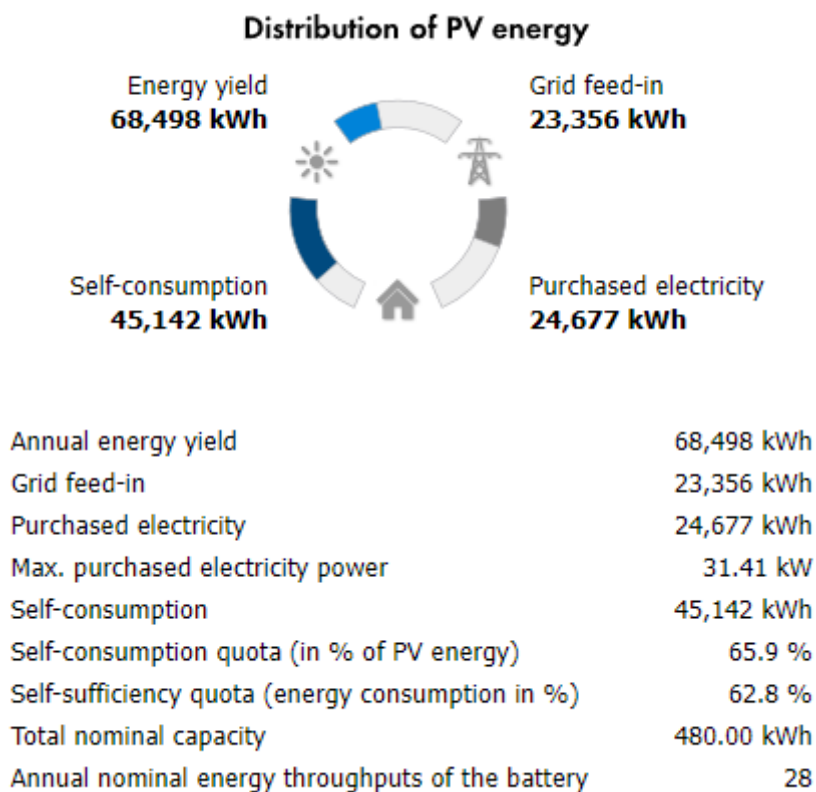
PV design data			
Input A: PV array 1			
32 x Solvis d.o.o. SV72-370E (05/2019), Azimuth angle: 0 °, Tilt angle: 35 °, Mounting type: Ground mount			
	Input A:	Input B:	Input C:
Number of strings:	2		
PV modules:	16		
Peak power (input):	11.84 kWp	---	---
Inverter min. DC voltage (Grid voltage 230 V):	150 V	150 V	150 V
PV typical voltage:	✓ 596 V	---	---
Min. PV voltage:	563 V	---	---
Max. DC voltage (PV module):	1000 V	1000 V	1000 V
Max. PV voltage	✓ 849 V	---	---
Inverter max. operating input current per MPPT:	24 A	24 A	24 A
Max. MPP current of PV array:	✓ 18.6 A	---	---
Inverter max. input short-circuit current per MPPT:	37.5 A	37.5 A	37.5 A
PV max. circuit current	✓ 19.6 A	---	---

PV/Inverter compatible	
You get this inverter including SMA ShadeFix. SMA ShadeFix is a patented inverter software that automatically optimizes the yield of PV systems in any situation. Even under shading conditions.	

Za skladištenje energije potrebno je odabrati bateriju te regulator punjenja baterije. Odabrali smo bateriju Wallbox LiFePO4 200Ah 48V10kWh LionCell, kapaciteta 10 kWh. 48 komada baterija stane u 3 baterijska ormarića, time dobivamo ukupni kapacitet baterijskog sustava od 480 kWh, što je dosta za napajanje zgrade 19 dana samo iz baterijskog sustava. Implementacijom baterijskog sustava dobili smo postotak samodostatnosti od 61,9 %, što je optimalno s obzirom na visoku cijenu sustava za pohranu energije. Svi detalji oko proizvodnje energije sustava su prikazani na Slici 4.3.

Za regulator punjenja baterije je odabran SMA Sunny Island SI 8.0 H-13 koji je prikazan na *Slici 4.4.*, dok je za napajanje električnih vozila odabran punjač SMA EV Charger 22 snage 22 kW, koji je prikazan na *Slici 4.5.*



*Slika 4.3. Proizvodnja i korištenje energije fotonaponskog sustava*



*Slika 4.4. Regulator punjenja baterije SMA Sunny Island SI 8.0 H-13 [17]*



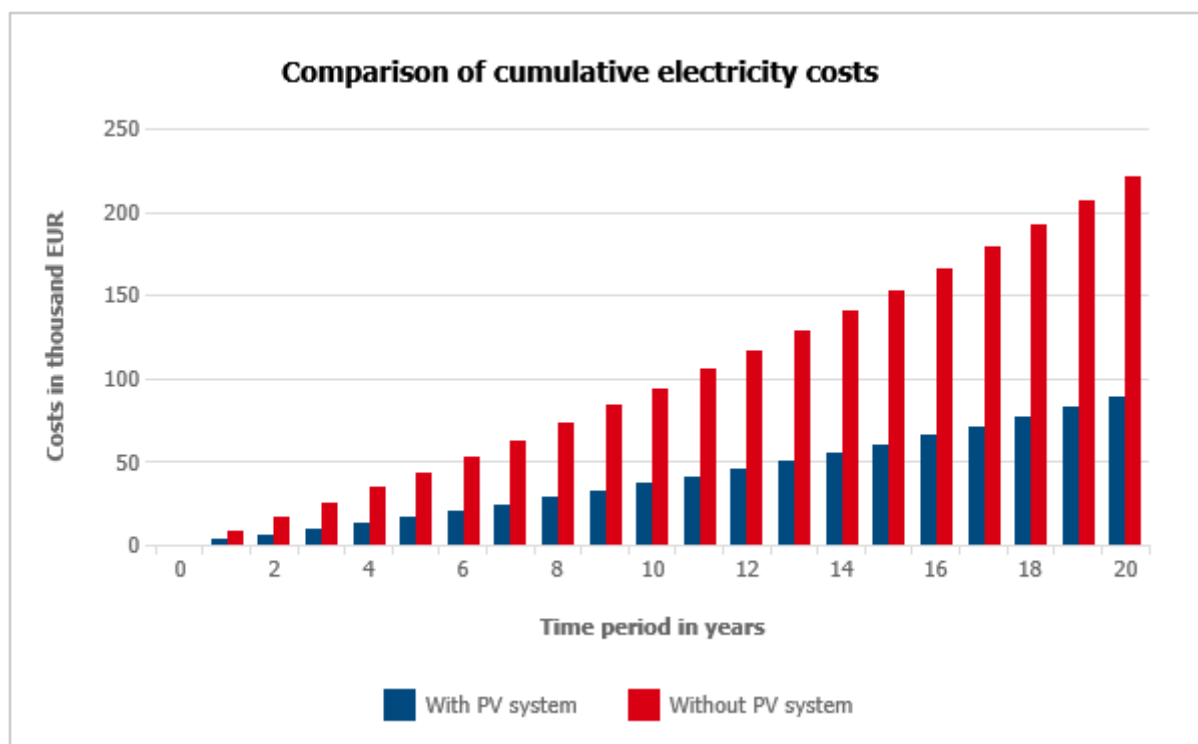
*Slika 4.5. Punjač za električna vozila SMA EV Charger 22 [17]*

#### 4.2.1. Troškovi i uštede

Ukoliko uzmemo u obzir da su u stambenoj zgradi bijeli tarifni modeli, te da je korištenje dnevne tarife 80 %, odnosno, noćne 20 %, dolazimo do jedinične cijene električne energije od 0,12 €/kWh. Godišnji troškovi električne energije bez fotonaponskog sustava iznose 8.193 €, dok s fotonaponskim sustavom iznose 3.124 €, što rezultira uštedom od 5.070 €. Usporedba kumulativnih troškova električne energije za slučaj bez fotonaponskog sustava, i za slučaj s fotonaponskim sustavom prikazana je na *Slici 4.6.*, dok su investicijski troškovi prikazani u *Tablici 4.10.* Da je ovaj sustav ekološki prihvatljiv, kazuje nam činjenica da ćemo implementacijom istog u atmosferu emitirati 306 t manje CO<sub>2</sub>.

Tablica 4.10. Investicijski troškovi sustava

	Specific costs	Number	Total
PV system	450.00 EUR/kWp	× 51.80 kWp	23,310.00 EUR
Storage system	294.50 EUR/kWh	× 480.00 kWh	141,360.00 EUR
Other costs	EUR		---
<b>Total investment</b>			<b>164,670.00 EUR</b>



Slika 4.6. Usporedba kumulativnih troškova električne energije kroz dvadeset godina [17]

### 4.3. Pametni uređaji

Kako bismo zgradu učinili „pametnom“, potrebno je i ugraditi pametne uređaje. Kao što je već ranije navedeno, ovi uređaji će također dati doprinos razini samodostatnosti zgrade, zbog smanjenja energetske troškova. U ovom projektu, uređaji predviđeni za ugradnju su:

1. pametna rasvjeta – svjetla koja se mogu kontrolirati putem pametnog telefona ili glasovnih asistenata, prikazano na *Slici 4.7.*
2. pametni termostati – uređaji koji automatski prilagođavaju temperaturu u domu prema postavkama ili navikama korisnika zgrade
3. pametne utičnice – omogućuju daljinsko upravljanje električnim uređajima putem pametnog telefona
4. pametne kamere – nadzorni sustav koji javlja korisniku prisustvo uljeza putem pametnog telefona te samoinicijativno pozivaju sigurnosne službe
5. pametni senzori – senzori za praćenje okoline, senzori za detekciju dima, poplava i pokreta
6. pametni zatvarači prozora i vrata – uređaji koji omogućuju daljinsko otvaranje i zatvaranje prozora i vrata.



*Slika 4.7. Sučelje aplikacije za pametnu rasvjetu*

## 5. ZAKLJUČAK

Zadatak ovog rada je bio pronaći najbolja rješenja za sustave grijanja, hlađenja i proizvodnje potrošne tople vode pametne stambene zgrade na području Rijeke te projektirati sustav za napajanje električnom energijom iz obnovljivih izvora. Energetsku samodostatnost nismo pokrili u potpunosti zbog ekonomske neisplativosti, stoga je cilj bio postići što višu razinu samodostatnosti, a da sustav bude optimalne isplativosti.

Početni problem projektiranja sustava je bio odrediti toplinske gubitke i toplinsko opterećenje, koji je napravljen pomoću programskog paketa *IntegraCAD*. Za sustav potrošne tople vode pratili smo Viessmannovu uputu za projektiranje spremnika PTV-a. Potom je bilo potrebno provesti tehnokoekonomsku analizu etažnog i centralnog sustava, zbog odabira energetski i ekonomski optimalnog sustava. Ekonomsku analizu smo proveli na temelju podataka iz kataloga proizvođača, dok smo energetsku analizu napravili pomoću programskog paketa *KI Expert Plus*. Na kraju tehnokoekonomske analize, odabiremo odgovarajuću opremu za termotehnički sustav. Razinu energetske samodostatnosti smo ostvarili implementacijom fotonaponskog sustava te sustava pohrane energije. Potreban broj te model fotonaponskih modula određen je preko online aplikacije *Sunny Design*, kao i model fotonaponskih invertera te baterijskog invertera.

Kao energetski i ekonomski optimalan sustav određen je centralni sustav s fotonaponskom elektranom te sustavom pohranom energije. Investicijski troškovi za navedeni sustav iznose 269.003 €, dok za etažni sustav iznose 333.959 €, što je povećanje za 24,15 %. Radi visokih investicijskih cijena sustava za skladištenje električne energije nije moguće zgradu učiniti potpuno samodostatnom, međutim, možemo povećati razinu samodostatnosti putem energetskih zajednica čime bismo u mjesecima deficitne generacije električne energije samo samoopskrbu, istu „posuđivali“ od sugrađana, dok bi u mjesecima suficitne generacije električne energiju, istu „vraćali“ sugrađanima.

Ova inovativna rješenja u području zgradarstva možda još nisu sadašnjost, ali su sigurno bliska budućnost. Kako tehnologija napreduje, tako će i realizacija pametnih stambenih zgrada biti sve realnija. Trenutni nedostatak ovakve gradnje jesu visoki investicijski troškovi, dok su prednosti udobnost, jednostavnost, energetska učinkovitost te smanjenje ekološkog otiska.



## LITERATURA

- [1] S Interneta, <https://baustela.hr/odrziva-gradnja/intervju-strucnjakinja-za-pametne-zgrade-o-buducnosti-zgradarstva-i-utjecaju-umjetne-inteligencije/>, 04.07.2023.
- [2] Kaniz, F.T.: „A Survey on Novel Services in Smart Home“, diplomski rad, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, 2016.
- [3] De Souza, H.B.: „Intelligent decision-making for smart home energy management“, doktorska disertacija, Escola Politécnica da Universidade, São Paulo, 2015.
- [4] Serrenho, T.; Bertoldi, P.: „Smart home and appliances: State of the art“, JRC technical reports, Luksemburg, 2019.
- [5] Wolf, I.: „Materijali s predavanja iz kolegija Tehnika klimatizacije i automatska regulacija“, Tehnički fakultet, Rijeka, 2022.
- [6] Wolf, I.: „Materijali s predavanja iz kolegija Obnovljivi izvori energije“, Tehnički fakultet, Rijeka, 2021.
- [7] <http://localimpactdesign.ca/passive-house/>, s Interneta, 20.08.2023.
- [8] <https://nasuncanojstrani.hr/gradanska-energija/energetske-zajednice/>, s Interneta, 03.09.2023.
- [9] <https://www.consilium.europa.eu/hr/policies/green-deal/>, s Interneta, 03.09.2023.
- [10] Kostur, L.: „Analiza grijanja stambenog objekta podnim grijanjem“, završni rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2018.
- [11] [https://www.panasonicproclub.com/HR\\_hr/](https://www.panasonicproclub.com/HR_hr/), s Interneta, 04.11.2023.
- [12] Viessmann: Uputa za projektiranje spremnika PTV-a
- [13] <https://www.bosch.hr/>, s Interneta, 04.11.2023.
- [14] <https://www.schrack.hr/>, s Interneta, 04.11.2023.
- [15] <https://revijahak.hr/>, s Interneta, 04.11.2023.
- [16] <https://meteo.hr/>, s Interneta, 04.11.2023.
- [17] <https://www.sunnydesignweb.com>, s Interneta, 04.11.2023.
- [18] <https://solvis.hr>, s Interneta, 04.11.2023.
- [19] Veršić, Z.: „Smjernice za zgrade gotovo nulte energije“, Arhitektonski fakultet, Zagreb, 2020.

## POPIS SLIKA

Slika 2.1. Primjer energetske zajednice.....	3
Slika 2.2. Promjene u sektoru zgradarstva.....	6
Slika 2.3. Spremnost članica EU na implementaciju pametnih kuća.....	7
Slika 2.4. Evolucija elektroenergetskih mreža.....	8
Slika 2.5. Shema pametne kuće.....	10
Slika 2.6. Utjecaj orijentacije na potrošnju energije za grijanje prostora.....	11
Slika 2.7. Primjeri različitih geometrija zgrade i pripadajućih faktora oblika.....	12
Slika 2.8. Sedam koraka za izvedbu G0EZ.....	13
Slika 2.9. Specifična godišnja potrošnja energije za različite stambene objekte.....	15
Slika 2.10. Uređaji pametne kuće.....	16
Slika 2.11. Arhitektura pametne kuće.....	17
Slika 2.12. Sastav središnje upravljačke jedinice.....	18
Slika 3.1. Tlocrt suterena.....	21
Slika 3.2. Tlocrt prizemlja.....	21
Slika 3.3. Tlocrt kata.....	22
Slika 3.4. Usporedba distribucije topline za različita ogrjevna tijela.....	34
Slika 3.5. Instalacija podnog grijanja s razvodnim ormarićem.....	35
Slika 3.6. Nacrti dizalice topline.....	39
Slika 3.7. Shema dizalice topline.....	39
Slika 3.8. Dijagram izlazne temperature vode u odnosu na vanjski zrak kod grijanja.....	40
Slika 3.9. Dijagram izlazne temperature vode u odnosu na vanjski zrak kod hlađenja.....	40
Slika 3.10. Unutarnja i vanjska jedinica dizalice topline Panasonic Aquarea KIT-ADC09L3E5...42	
Slika 3.11. Spremnik Bosch AH 1500 UNO Acu Heat.....	47

Slika 3.12. Panasonic pametni ventilokonvektori.....	49
Slika 3.13. Unutarnja i vanjska jedinica odabranog Panasonic klima uređaja.....	50
Slika 3.14. Energetski certifikat zgrade.....	53
Slika 4.1. Fotonaponski panel Solvis SV72-370E.....	63
Slika 4.2. Generacija električne energije po mjesecima.....	65
Slika 4.3. Proizvodnja i korištenje energije fotonaponskog sustava.....	68
Slika 4.4. Regulator punjenja baterije SMA Sunny Island SI 8.0 H-13.....	68
Slika 4.5. Punjač za električna vozila SMA EV Charger 22.....	69
Slika 4.6. Usporedba kumulativnih troškova električne energije kroz dvadeset godina.....	70
Slika 4.7. Sučelje aplikacije za pametnu rasvjetu.....	71

## POPIS TABLICA

Tablica 2.1. Najveće dopuštene vrijednosti za nove zgrade i G0EZ.....	14
Tablica 1.2. Energetski razredi za različite objekte.....	14
Tablica 3.1. Ukupni koeficijent prolaza topline vanjskih zidova.....	24
Tablica 3.2. Ukupni koeficijent prolaza topline zidova prema negrijanom stubištu.....	24
Tablica 3.3. Ukupni koeficijent prolaza topline zidova između stanova.....	24
Tablica 3.4. Ukupni koeficijent prolaza topline poda na tlu.....	25
Tablica 3.5. Ukupni koeficijent prolaza topline međukatne konstrukcije.....	25
Tablica 3.6. Ukupni koeficijent prolaza topline stropa iznad negrijanog podruma.....	25
Tablica 3.7. Ukupni koeficijent prolaza topline krova.....	26
Tablica 3.8. Projektne temperature prostorija.....	27
Tablica 3.9. Ukupni toplinski gubici u prizemlju.....	27
Tablica 3.10. Ukupni toplinski gubici prvog kata.....	28
Tablica 3.11. Ukupni toplinski gubici drugog kata.....	29
Tablica 3.12. Prikaz dnevnih temperatura za 23. srpnja.....	31
Tablica 3.13. Ukupno toplinsko opterećenje u prizemlju.....	32
Tablica 3.14. Ukupno toplinsko opterećenje na 1. katu.....	32
Tablica 3.15. Ukupno toplinsko opterećenje na 2. katu.....	33
Tablica 3.16. Gustoća polaganja cijevi u 1. skupini stanova.....	36
Tablica 3.17. Gustoća polaganja cijevi u 2. skupini stanova.....	36
Tablica 3.18. Gustoća polaganja cijevi u 3. skupini stanova.....	37
Tablica 3.19. Gustoća polaganja cijevi u prizemlju.....	37
Tablica 3.20. Tehnički podaci dizalice topline.....	41

Tablica 3.21. Prvi dio tehničkih specifikacija dizalice topline Panasonic Aquarea KIT-ADC09L3E5.....	43
Tablica 3.22. Drugi dio tehničkih specifikacija dizalice topline Panasonic Aquarea KIT-ADC09L3E5.....	44
Tablica 3.23. Potrošnja topline po trošilima.....	45
Tablica 3.24. Parametri proračuna za volumen spremnika PTV-a.....	47
Tablica 3.25. Tehničke karakteristike odabranog spremnika.....	48
Tablica 3.26. Tehničke specifikacije odabranih ventilokonvektora.....	49
Tablica 3.27. Tehnički podaci odabranih unutarnjih jedinica.....	51
Tablica 3.28. Tehnički podaci odabranih vanjskih jedinica.....	51
Tablica 3.29. Klasifikacija energetske razreda.....	53
Tablica 3.30. Usporedba godišnje energetske potrošnje te emisije CO <sub>2</sub> .....	54
Tablica 3.31. Usporedba cijena dizalica topline kod etažnog i centralnog sustava.....	55
Tablica 3.32. Ukupna cijena klima uređaja.....	55
Tablica 3.33. Ukupna cijena ventilokonvektora.....	56
Tablica 3.34. Ukupni troškovi uređaja sustava.....	56
Tablica 4.1. Dnevna potrošnja električne energije kućanskih aparata.....	57
Tablica 4.2. Godišnja potrošnja električne energije.....	58
Tablica 4.3. Prosječna mjesečna temperatura zraka.....	59
Tablica 4.4. Prosječna mjesečna dozračena energija.....	59
Tablica 4.5. Efektivni sati sijanja sunca dnevno.....	60
Tablica 4.6. Dozračena energija na površini kolektora.....	62
Tablica 4.7. Tehnički podaci fotonaponskog panela Solvis SV72-370E.....	64
Tablica 4.8. Tehnički podaci fotonaponskog invertera STP 50-40/41.....	66
Tablica 4.9. Tehnički podaci fotonaponskog invertera STP 15-50.....	67
Tablica 4.10. Investicijski troškovi sustava.....	70

## SAŽETAK

U diplomskom radu „Pametna energetska samodostatna stambena zgrada“ utvrđeno je rješenje sustava grijanja, hlađenja, pripreme potrošne vode te napajanje i pohrana sustava električnom energijom u svrhu povećanja razine samodostatnosti zgrade. U tehno-ekonomskoj analizi sustava uspoređeni su etažni i centralni sustav na način da su se uzimale u obzir cijene uređaja u oba slučaja te potrošnja godišnje energije koja smo izračunali u programskom paketu KI Expert Plus. Na temelju ove analize, odabrani su svi elementi termotehničkog sustava. Nakon izračuna godišnje potrošnje električne energije potrebne za napajanje kućanskih uređaja te električnih vozila, dimenzioniran je fotonaponski sustav putem online aplikacije *Sunny Design*, a zatim i definiran stupanj samodostatnosti.

Ključne riječi: pametna zgrada, obnovljivi izvori energije, energetska zajednica, energetska samodostatnost, grijanje, hlađenje, tehno-ekonomska analiza

## ABSTRACT

In the thesis "Smart energy self-sufficient residential building" the solution of the heating, cooling, domestic hot water, supply and storage of electricity system was determined in order to increase the level of self-sufficiency of the building. In the techno-economic analysis of the system, the flat and central system were compared in such a way that we took into consideration the prices of the devices in both cases and the annual energy consumption, which we calculated in the *KI Expert Plus* software package. Based on this analysis, all elements of the thermo technical system were selected. After calculating the annual consumption of electricity needed to power household appliances and electric vehicles, the photovoltaic system was dimensioned using the *Sunny Design* online application, afterwards the degree of self-sufficiency was defined.

Keywords: smart building, renewable energy sources, energy community, energy self-sufficiency, heating, cooling, techno-economic analysis

## **POPIS PRILOGA**

- Prilog I**      Troškovnik
- Prilog II**     Funkcionalna shema spajanja sustava
- Prilog III**    Situacijski nacrt
- Prilog IV**    Dispozicija elemenata fotonaponskog sustava
- Prilog V**     Shema spajanja fotonaponskog sustava



## **Prilog I - Troškovnik**

## 1. Dizalica topline Panasonic U-065CW

Maksimalni učin hlađenja: 47,1 kW

Maksimalni učin grijanja: 40,9 kW

Dimenzije vanjske jedinice: 2180x1160x1986

Masa: 515 kg

Rashladno sredstvo: R410A

COP hlađenje: 3,04

COP grijanje: 3,17

Korak opterećenja: 0/50/100 %

Broj izmjenjivača topline: 1

Tip izmjenjivača: pločasti

Ukupan protok fluida kod hlađenja: 8201 l/h

Ukupan protok fluida kod grijanja: 7134 l/h

Pad tlaka kod hlađenja: 28,4 kPa

Pad tlaka kod grijanja: 22 kPa

Broj ventilatora: 1

Tip ventilatora: aksijalni

Brzina okretaja: 13 Hz

Ukupni protok zraka: 22500 m<sup>3</sup>/h

Buka uređaja pri radu: 80 dB

Količina: 1

## 2. Podno grijanje

2.1. Henco PE-Xc cijev za podno grijanje 16x2,0mm

Cijev za grijanje/hlađenje prema DIN EN ISO 15875-2 od 60% umreženog polietilena s EVOH slojem zaštite od difuzije kisika ispitana prema DIN 4726. Umreženje polietilena izvodi se gađanjem elektrona u strukturne mreže.

Tehničke karakteristike:

- klasa primjene 4, prema DIN EN ISO 15875-2: 10 bar
- klasa primjene 5, prema DIN EN ISO 15875-2: 8 bar
- Max. umreženost polietilena: 60%
- Max. radna temperatura: 90°C
- Max. kratkotrajna temperatura: 100°C

Količina: 2488,9 m

2.2. HENCO UFH-MDK Kompaktni kompozitni višeslojni razdjelnik s indikatorom protoka za 6 krugova

Kompozitni razdjelnik podnog grijanja za stambene i javne građevine. Razdjelnik podnog grijanja dolazi u setu sa nosačim podesive visine od 200-240 mm, termometrima na razdjelniku i sabirniku, indikatorima (mjeračima) protoka i spojevima za montažu termopogona za svaki krug podnog grijanja.

Tehničke karakteristike:

Medij: voda/glikol -

Max. koncentracija glikola: 45% -

Radna temperatura medija: 0-60°C -

Max. temperatura medija: 90°C na 3 bar -

Radni tlak : 0,2-6 bar

Max. ispitni tlak s vodom (24h < 30°C): 10 bar

Max. ispitni tlak s inertnim plinom (24h < 30°C): 10 bar

Max. protok na razdjelniku: 3,5 m<sup>3</sup>/h

Indikator (mjerač) protoka: 0-5 L/min

Polaz (Kv): 0,98 -

Povrat (Kv): 1,56 -

Dimenzija priključnih ventila: 1" -

Eurokonus priključci: 3/4"

Udaljenost od centra do centra izlaz: 50 mm

Priključak termopogon: M30x1,5 mm

Materijal razdjelnika: kompaktni višeslojni kompozit

Dimenzije (VxŠxD): 335x418x99 mm

Količina: 10

### 3. Ventilokonvektori

Visoki kapacitet grijanja

4 načina rada (automatski, tihi, noćni i maksimalna brzina ventilacije)

Kompaktan (dubina 12,9 cm)

Moguće funkcije hlađenja i odvlaživanja

Uključen je trosmjerni ventil

Termostat s dodirnim zaslonom

#### 3.1. PAW-AAIR-200-2

Učin hlađenja: 0,3 kW

Protok zraka: 2,7 m<sup>3</sup>/min

Dimenzije: 735x579x129

Masa: 17 kg

Količina: 7

#### 3.2. PAW-AAIR-700-2

Učin hlađenja: 1 kW

Protok zraka: 5,3 m<sup>3</sup>/min

Dimenzije: 935x579x129

Masa: 20 kg

Količina: 21

### 3.3. PAW-AAIR-1100-2

Učin hlađenja: 1,8 kW

Protok zraka: 9,6 m<sup>3</sup>/min

Dimenzije: 1335x579x129

Masa: 26 kg

Količina: 14

## 4. Spremnik PTV Bosch AH 1500 UNO Acu Heat

Monovalentan

S montiranim pokazivačem temperature

S otvorima TS1, TS2, TS3 za ugradnju temperaturnih osjetnika kotlovske vode

Mogućnost instaliranja elektrogrijača

Dvije prirubnice

Zaštita unutarnje površine spremnika od korozije magnezijском anodom

Vanjski termoindikator

Sigurnosni ventil

Vanjski plastični poklopac

Pristup unutrašnjosti preko prirubnice koja se lako skida

Recirkulacija

Visina: 2061 mm

Promjer: 1200 mm

Nazivna zapremnina: 1500 l

Stvarna zapremnina: 1455 l

Masa: 382 kg

Izolacija: 100 mm

Zapremnina izmjenjivača topline: 31,4 l

Maksimalna radna temperatura: 95 °C

Maksimalna radna temperatura izmjenjivača topline: 110 °C

Radni tlak spremnika vode: 8 bar

Radni tlak izmjenjivača topline: 6 bar

Količina: 1

#### 5. Fotonaponski panel Solvis SV72-370E

Vršna snaga: 265,8 W

Temperaturni režim rada: -40 do 85 °C

Maksimalni napon sistema: 1000 V

Tip ćelije: monokristalni silicij, 156 x 156 mm +/- 1 mm

Okvir: anodizirani aluminij

Iskoristivost: 19,07 %

Dimenzije: 1956x992x40

Masa: 22 kg

Količina: 140

#### 6. Fotonaponski inverter STP 50-40/41

Vršna snaga: 39,96 kWp

Broj priključenih panela: 108

Maksimalna snaga istosmjerne struje: 51 kW

Maksimalna aktivna snaga izmjenične struje: 50 kW

Napon mreže: 230 V

Nominalni omjer snage: 128 %

Sati punog opterećenja: 1053,5 h

Količina: 1

#### 7. Fotonaponski inverter STP 15-50

Vršna snaga: 11,84 kWp

Broj priključenih panela: 32

Maksimalna snaga istosmjerne struje: 15,31 kW

Maksimalna aktivna snaga izmjenične struje: 15 kW

Napon mreže: 230 V

Nominalni omjer snage: 129 %

Sati punog opterećenja: 1054,9 h

Količina: 1

#### 8. Baterijski inverter SMA Sunny Island SI 8.0 H-13

Napon mreže: 230 V

Maksimalna izmjenična isporučena snaga: 11500 W

Raspon napona izmjenične struje: 202 do 253 V

Raspon frekvencije: 45 do 65 Hz

Snaga: 6000 W

Snaga izmjenične struje pri 25 °C za 30 min / 5 min / 3 s: 8000 W/9100 W/11000 W

Raspon napona istosmjerne struje: 41 do 63 V

Tip baterije: Litij-ionska

Maksimalna iskoristivost: 95,8 %

Dimenzije: 467x612x242

Masa: 63 kg

Temperaturni režim rada: -25 do 60 °C

#### 9. Baterija Wallbox LiFePO4 200Ah 48V10kWh LionCell

Model: LC10000

Napon: 48 V

Kapacitet: 200 Ah

Kapacitet skladištenja energije: 10 kWh

Naponski režim rada: 42 do 54 Vdc

Maksimalna snaga: 10240 W

Rok trajanja (25 °C): 10 god.

Životni ciklus: 6000 punjenja

Temperaturni režim rada: -20 do 60 °C

Dimenzije: 480x670x180

Količina: 48

#### 10. Punjač električnih vozila SMA EV Charger 22

Snaga punjenja: 1,3 do 22 kW

Nominalni napon: 400 V

Nominalna frekvencija: 50 Hz

Priključak na vozila: priključak tipa 2

Temperaturni režim rada: -25 do 40 °C



Raspon nadmorske visine: 0 do 2000 m

Dimenzije: 460x357x122

Masa: 8 kg

Integrirana duljina kabla: 5 m

11. Elektrogrijač 6/4", za spremnik PTV Bosch AH 1500 UNO Acu Heat

Sadrži termostat

Snaga: 6 kW

Napon: 440 V